

# GEOTECNOLOGIAS PARA ESTIMATIVAS DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA NOS BIOMAS DO BRASIL

Antônio Heriberto de Castro Teixeira <sup>1</sup>; Janice Freitas Leivas <sup>2</sup>; Celina Maki Takemura <sup>2</sup>; Inajá Francisco de Souza <sup>1</sup>; Ana Flávia Maria Santos Azevedo <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Professor. São Cristóvão, Sergipe. Universidade Federal de Sergipe; <sup>2</sup>Pesquisador. Campinas, São Paulo. Embrapa Territorial; <sup>3</sup>Discente. São Cristóvão, Sergipe. Universidade Federal de Sergipe

## RESUMO

O modelo da eficiência do uso da radiação (EUR) e o algoritmo SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*) foram aplicados em conjunto para a estimativa da produção de biomassa (BIO) nos biomas brasileiros. O produto reflectância MODIS MOD13Q1 foi usado com grades de dados climáticos do ano de 2016 para demonstrar a viabilidade do monitoramento da dinâmica da BIO ao longo do ano na Amazônia (AM), Caatinga (CT), Cerrado (CE), Pantanal (PT), Floresta Atlântica (FA) e Pampa (PP). Significantes variações espaciais e temporais nas taxas da BIO foram verificadas devidas às variações na umidade na zona das raízes das plantas, representada pela fração evapotranspirativa ( $ET_f$ ), e variações da radiação fotossinteticamente ativa absorvida ( $RAF_{abs}$ ). Entretanto, para alguns biomas, BIO foi mais relacionada com os valores de  $ET_f$  (CT, CE, PT e PP), enquanto para outros BIO se relacionou mais com a  $RAF_{abs}$  (AM e FA). A modelagem em larga escala mostrou viabilidade para a estimativa da BIO, abrindo caminho para monitoramento das condições da vegetação em períodos específicos ao longo do ano, usando imagens e dados climáticos, com grande potencial para suporte às políticas públicas ao manejo e conservação dos recursos naturais e com possibilidade de replicação dos métodos em outros países.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fração evapotranspirativa; radiação fotossinteticamente ativa; balanço de carbono;

## INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e de uso da terra afetam o balanço de carbono (Ceschia et al., 2010; Zhao e Running, 2010). A compreensão das respostas da vegetação a essas alterações é crítica para a restauração ecológica e para o acesso a esses balanços (Yang et al., 2016; Zhang e Zhang, 2019). Os biomas brasileiros apresentam uma grande diversidade de espécies naturais (Lewinsohn e Prado, 2005), as quais sofrem com diversos impactos ambientais, como desflorestamento, queimadas e poluições do ar, da água e do solo. Em adição, em várias áreas ocorrem rápidas substituições das espécies naturais pela agricultura intensiva (Teixeira et al., 2020). Esses problemas demandam estudos em larga escala para dar suporte à sustentabilidade do consumo dos recursos naturais (Mariano et al., 2018).

A modelagem da produção de biomassa (BIO) com uso de geotecnologias em agroecossistemas mistos é um meio eficiente para dar suporte ao manejo racional dos recursos naturais. A substituição da vegetação natural por culturas agrícolas pode produzir consumidores de carbono, afetando a BIO (Ceschia et al., 2010), enquanto a escassez hídrica aumenta a mortalidade das plantas e provoca mudança na composição das espécies (Zhao e Running, 2010). Quantificar esses efeitos e monitorar a dinâmica da BIO ao longo do ano é essencial para restauração ecológica e ao acesso da dimensão dos impactos ambientais (Yang et al., 2016; Zhang e Zhang, 2019; Teixeira et al., 2021).

O modelo da eficiência do uso da radiação (Monteith, 1977), baseado na radiação fotossinteticamente ativa absorvida, pode ser usado dentro de algoritmos com parâmetros obtidos por sensoriamento remoto e dados climáticos, para estimativa da BIO em largas escalas (Bastiaanssen e Ali, 2003; Teixeira et al., 2020, 2021; Zhao et al., 2005). Para inserção do efeito da umidade na zona das raízes na BIO, a fração evapotranspirativa, i. e., a razão das evapotranspirações atual ( $ET_a$ ) e de referência ( $ET_0$ ) pode ser usada através do modelo SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*), elaborado por Teixeira (2010) (Teixeira et al., 2020, 2021).

Objetivando o monitoramento da BIO, testamos o uso de imagens de satélites em conjunto com dados climáticos de 2016 aplicando o modelo EUR e o algoritmo SAFER. As razões de usar dados para o ano de 2016 são duas: os ecossistemas brasileiros estavam recuperando de uma seca prolongada em várias regiões de 2012 a 2015 (Mariano et al., 2018; Rebello et al., 2020), e a disponibilidade dos dados climáticos cobrindo todo o país durante esse ano.

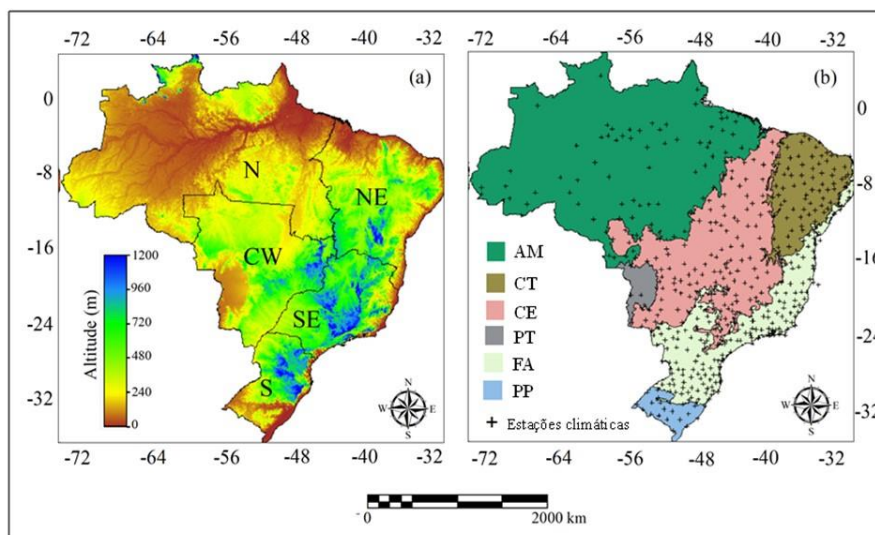
## OBJETIVOS

Monitoramento da produção de biomassa (BIO) com o uso de imagens de satélites em conjunto com dados climáticos aplicando o modelo da Eficiência do Uso da Radiação (EUR) e o algoritmo Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving (SAFER)

## MATERIAL E MÉTODOS

### Biomass e dados climáticos

A Figura 1 apresenta a localização das 491 estações climáticas usadas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), destacando-se as regiões geográficas brasileiras com altitudes, e biomas classificados de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).



**Figura 1:** Regiões geográficas brasileiras, altitudes, biomas e estações climáticas usadas com parâmetros obtidos por sensoriamento remoto.

Regiões geográficas: N - Norte; NE - Nordeste, CW - Centro Oeste; SE - Sudeste; S - Sul.

Biomass: AM - Amazônia; CT - Caatinga; CE - Cerrado; PT - Pantanal; FA - Floresta Atlântica; PP - Pampa.

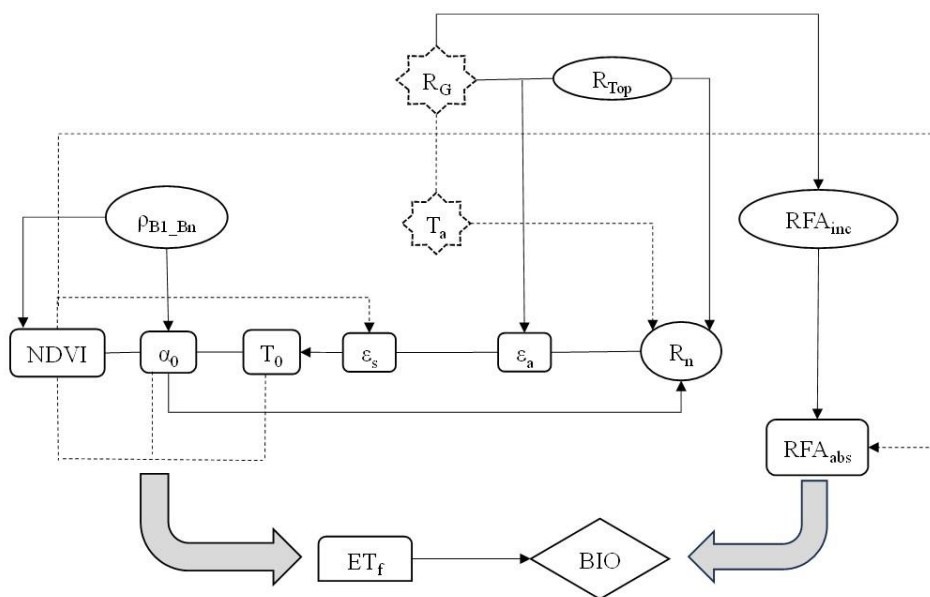
A Amazônia (AM) tem clima tropical de floresta chuvoso com elevados valores de temperatura do ar (Casagrande et al., 2021); A Caatinga (CT) e o Cerrado (CE) enfrentam secas frequentes e suas espécies naturais desenvolvem resiliência com o aumento da aridez (Azevedo et al., 2020; Santos et al., 2014); O Pantanal é a maior zona úmida tropical do mundo, com duas estações bem definidas: uma chuvosa no verão e outra seca no inverno (Marengo et al., 2021); a Floresta Atlântica (FA) tem

clima tropical úmido, mas com microclimas contrastando com áreas antropizadas (Ribeiro et al., 2009); e PAMPA (PP) tem clima temperado com baixa temperatura do ar (Rubert et al., 2018).

Os dados climáticos de entrada para a modelagem da BIO foram a radiação solar global incidente ( $R_G$ ) e a temperatura do ar ( $T_a$ ), cobrindo todo o país, possibilitando a interpolação pelo método "movimento da média", no que resultou em pixels com a resolução das imagens de satélite. Esses dados foram usados em conjunto com o produto reflectância MOD13Q1, com resoluções temporal de 16 dias e espacial de 250 m, fornecendo 23 imagens compostas livres de nuvens ao longo do ano (Teixeira et al. 2020, 2021).

### Modelagem da produção de biomassa

A Figura 2 mostra o fluxograma para a modelagem da BIO com aplicação do modelo EUR e do algoritmo SAFER.



**Figura 2:** Fluxograma para obtenção da produção de biomassa (BIO) com aplicação conjunta do modelo EUR e do algoritmo SAFER, usando imagens MODIS e grades de radiação solar global incidente ( $R_G$ ) e temperatura média do ar ( $T_a$ ).

As equações e coeficientes de regressão das equações envolvidas na Figura 2 foram previamente obtidos na região Nordeste do Brasil com medições simultâneas em campo e por satélite (Teixeira et al., 2013), sendo no trabalho atual aplicado um coeficiente de calibração considerando a demanda atmosférica de outras regiões.

O NDVI foi calculado como:

$$NDVI = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

onde  $\rho_1$  e  $\rho_2$  são as reflectâncias nas bandas 1 (vermelho) e 2 (infravermelho próximo) provenientes do sensor MODIS.

O  $\alpha_0$  foi obtido como:

$$\alpha_0 = a + b\rho_1 + c\rho_2$$

onde a, b e c são coeficientes de regressão 0,08, 0,41, e 0,14.

O saldo de radiação ( $R_n$ ) foi estimado pela equação de Slob:

$$R_n = (1 - \alpha_0)R_G - a_L\tau_{sw}$$

onde  $\tau_{sw}$  é a transmissividade atmosférica para comprimento de ondas curtas considerada como a razão entre  $R_G$  e a radiação incidente no topo da atmosfera ( $R_{TOP}$ ) sendo  $a_L$  um coeficiente de regressão em função de  $T_a$ .

A emissividade atmosférica ( $\varepsilon_A$ ) foi calculada por:

$$\varepsilon_A = a_A (\ln \tau_{sw})^{b_A}$$

onde  $a_A$  e  $b_A$  são os coeficientes de regressão 0,94 e 0,11, respectivamente.

A emissividade da superfície foi estimada como:

$$\varepsilon_0 = a_0 \ln NDVI + b_0$$

onde  $a_0$  e  $b_0$  são os coeficientes de regressão 0,06 e 1,00, respectivamente.

Pelo método residual  $T_0$  foi estimada pela lei de Stefan-Boltzmann:

$$T_0 = \frac{\sqrt[4]{R_G(1 - \alpha_0) + \sigma \varepsilon_a T_a^4 - R_n}}{\sigma \varepsilon_0}$$

onde é  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$  é a constante de Stefan-Boltzmann.

Para inserção das condições de umidade na zona das raízes no cálculo da BIO, a fração evapotranspirativa ( $ET_f$ ), i.e., a razão da evapotranspiração atual (ET) para a de referência ( $ET_0$ ), foi modelada:

$$ET_f = \exp \left[ a_{sf} + b_{sf} \left( \frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] \left( \frac{ET_{ano}}{5} \right)$$

onde  $a_{sf}$  e  $b_{sf}$  são os coeficientes de regressão 1,80 e -0,008, respectivamente. Introduzimos a fração ( $ET0\_ano/5$ ) como um fator de correção para considerar demandas atmosféricas distintas da região de modelagem original do SAFER, onde o denominador 5  $mm\ d^{-1}$  é a média diária da evapotranspiração de referência na escala anual na região Nordeste do Brasil, onde o modelo foi elaborado (Teixeira, 2010).

Para estimativa da radiação fotossinteticamente ativa incidente ( $RFA_{inc}$ ), esta foi considerada como uma fração de  $R_G$ :

$$RFA_{inc} = a_R R_G$$

onde o coeficiente de regressão  $a_R$  usado foi de 0,44.

Os valores da radiação fotossinteticamente ativa absorvida ( $RFA_{abs}$ ) foram calculados como:

$$RAF_{abs} = f_{RAF} RAF_{inc}$$

em que o fator  $f_{RAF}$  foi estimado do NDVI:

$$f_{RAF} = a_F NDVI + b_F$$

onde  $a_F$  e  $b_F$  são coeficientes de regressão considerados como 1,257 e -0,161, respectivamente (Bastiaanssen e Ali, 2003).

A BIO foi então quantificada como:

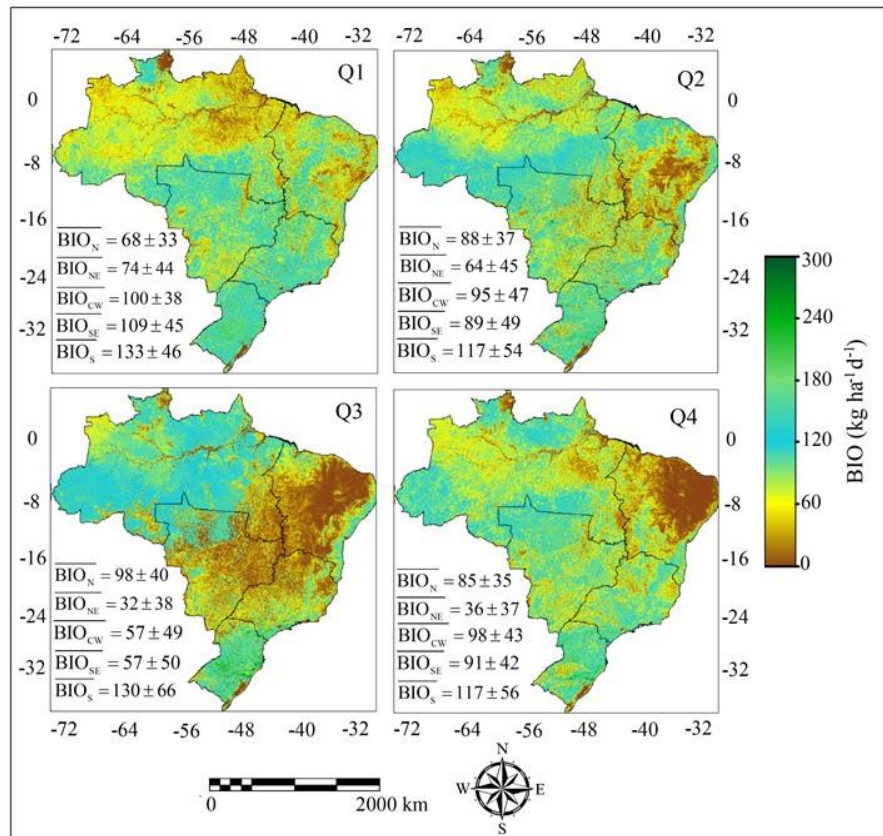
$$BIO = \varepsilon_{max} ET_f PAR_{abs} 0,864$$

onde  $\varepsilon_{max}$  é eficiência máxima de uso da luz, a qual para a maioria das plantas C3 no Brasil foi assumida como 2,45  $g\ MJ^{-1}$ , e 0,864 é um fator de conversão.

Análises de variância (ANOVA) foram conduzidas através de comparações emparelhadas aplicando-se o teste post-hoc *de Tukey-HSD* para determinar se houve diferenças entre os biomas ao nível de 5% nas escalas trimestrais e anuais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta as distribuições espaciais dos valores médios diários da BIO na escala trimestral (T), com os valores médios dos pixels e desvios padrões (DP), para cada região geográfica brasileira ao longo de 2016.



**Figura 3.** Distribuições espaciais dos valores médios diários da produção de biomassa (BIO) para cada região geográfica brasileira, com a média dos pixels e desvios padrões (DP) em 2016. As barras significam a BIO média para a região.

Trimestres (T): T1 - janeiro a março, T2 - abril a junho, T3 - julho a setembro, e T4 - outubro a dezembro.

Regiões geográficas: Norte - N, Nordeste - NE, Centro oeste - CW, Sudeste - SE, e Sul - S.

Fortes variações espaciais e temporais nos valores da BIO entre os trimestres e as regiões geográficas são evidentes com os menores para o Nordeste (NE) no terceiro trimestre (T3), onde o bioma Caatinga (CT) está concentrado, enquanto os maiores são para o Sul (S), única região em que o bioma Pampa (PP) está presente.

Considerando todas as regiões, de acordo com os valores de desvio padrão (DP), as maiores variações espaciais a BIO ocorrem em T3 (julho a setembro), com destaque para NE, como consequência das espécies heterogêneas do bioma Caatinga (CT), onde representou 119% da média dos pixels, enquanto as menores aconteceram em T1 (janeiro a março) em S, com maior homogeneidade das espécies do bioma Pampa (PP), quando DP foi apenas 35% da média

Cruzando as Figuras 1b e 3, a Tabela 1 mostra os valores médios trimestrais e anuais da BIO, juntamente com os desvios padrões (DP) para cada bioma brasileiro durante o ano de 2016 em conjunto com o teste post-hoc *de Tukey-HSD*.

**Tabela 1.** Valores médios trimestrais e anuais da produção de biomassa (BIO) com desvios padrões (DP) para os biomas brasileiros durante o ano de 2016, com o teste post-hoc *de Tukey-HSD*.

<b>Trimestre<sup>1/</sup> Bioma<sup>2</sup></b>	<b>T1 (kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)</b>	<b>T2 (kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)</b>	<b>T3 (kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)</b>	<b>T4 (kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)</b>	<b>Ano (kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)</b>
<b>AM</b>	72 ± 35a	93 ± 38b	101 ± 39b	89 ± 37b	89 ± 30b
<b>CT</b>	73 ± 42a	54 ± 43a	18 ± 28a	19 ± 28a	41 ± 25a
<b>CE</b>	96 ± 44b	78 ± 46a	37 ± 37a	79 ± 42b	72 ± 34b
<b>PT</b>	80 ± 38a	91 ± 37a	60 ± 36b	85 ± 42b	79 ± 35b
<b>FA</b>	114 ± 48c	104 ± 52b	95 ± 65b	104 ± 51b	104 ± 46b
<b>PP</b>	119 ± 52c	101 ± 57b	115 ± 67c	91 ± 55b	107 ± 50c
<b>Média</b>	92 ± 43	87 ± 46	71 ± 45	78 ± 43	82 ± 37

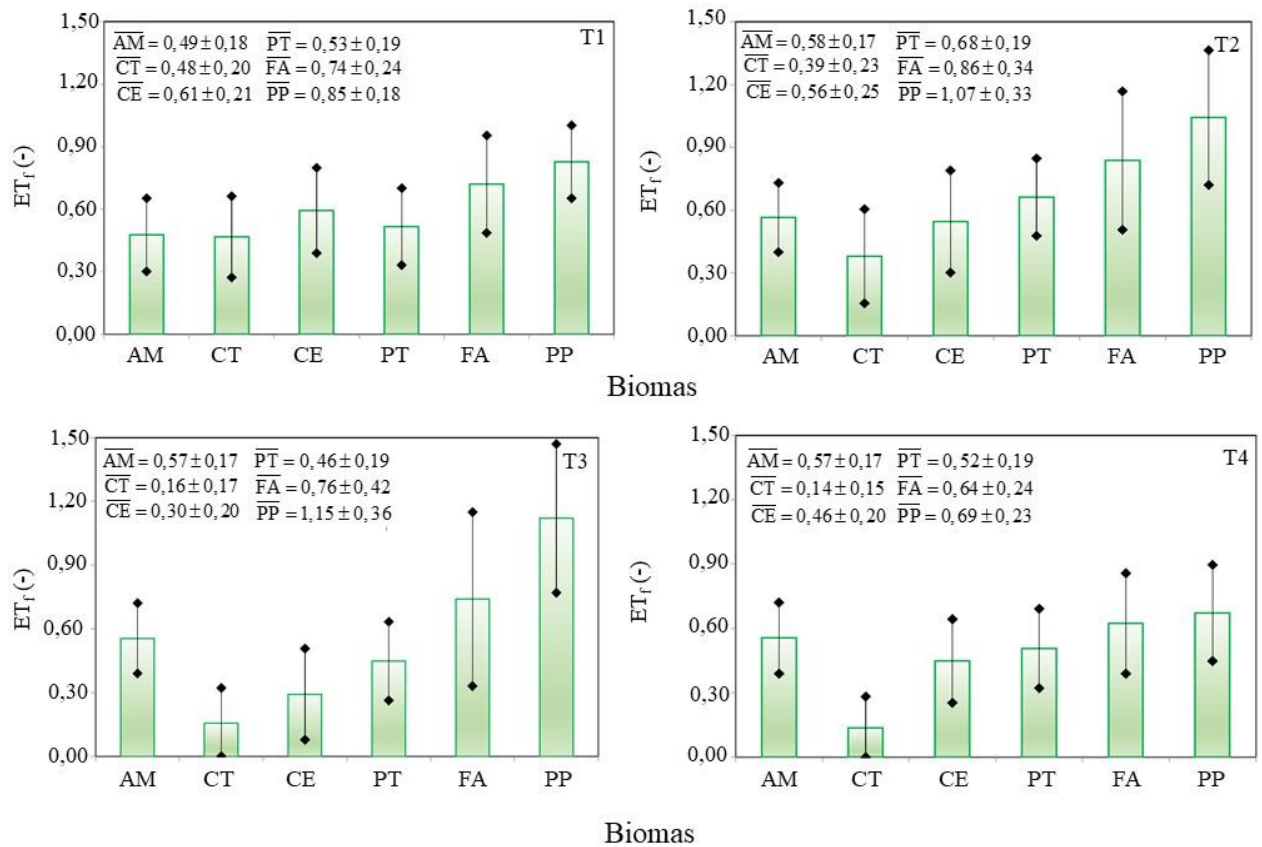
<sup>1</sup>Trimestres: T1 - janeiro a março, T2 - abril a junho, T3 - julho a setembro, T4 - outubro a dezembro.

<sup>2</sup>Biomas: AM - Amazônia, CT - Caatinga, CE - Cerrado, PT - Pantanal, FA -Floresta Atlântica, PP - Pampa.

Os valores da BIO com a mesma letra em cada coluna indicam ausência de diferenças significativas entre eles a 5% (comparações emparelhadas usando o teste post-hoc Tukey-HSD para cada trimestre e para todo o ano).

De acordo com o teste post-hoc de Tukey-HSD, ocorreram diferenças significativas nas taxas da BIO, principalmente comparando os biomas Floresta Atlântica (FA) e Pampa (PP) durante T1 (janeiro a março) e com o bioma Caatinga (CT) em T3 (julho a setembro). Entretanto, ocorreram ausências de diferenças significativas para Amazônia (AM) de janeiro a março (T1), Cerrado (CE), de abril a setembro (T2 a T3), e Pantanal (PT) de janeiro a junho (T1 a T2), quando comparados ao bioma Caatinga (CT).

Para inferir o efeito das condições da umidade na zona das raízes nas taxas da BIO (Eq. 11), a Figura 4 mostra os valores médios dos pixels da fração evapotranspirativa ( $ET_f$ ), com seus desvios padrões (DP) para cada bioma brasileiro.



**Figura 4.** Valores médios para a fração evapotranspirativa ( $ET_f$ ) na escala trimestral, com os seus desvios padrões (DP), durante o ano de 2016. As barras significam os valores médios dos pixels para cada bioma.

Trimestres: T1 - janeiro a março, T2 - abril a junho, T3 - julho a setembro, e T4 - outubro a dezembro.

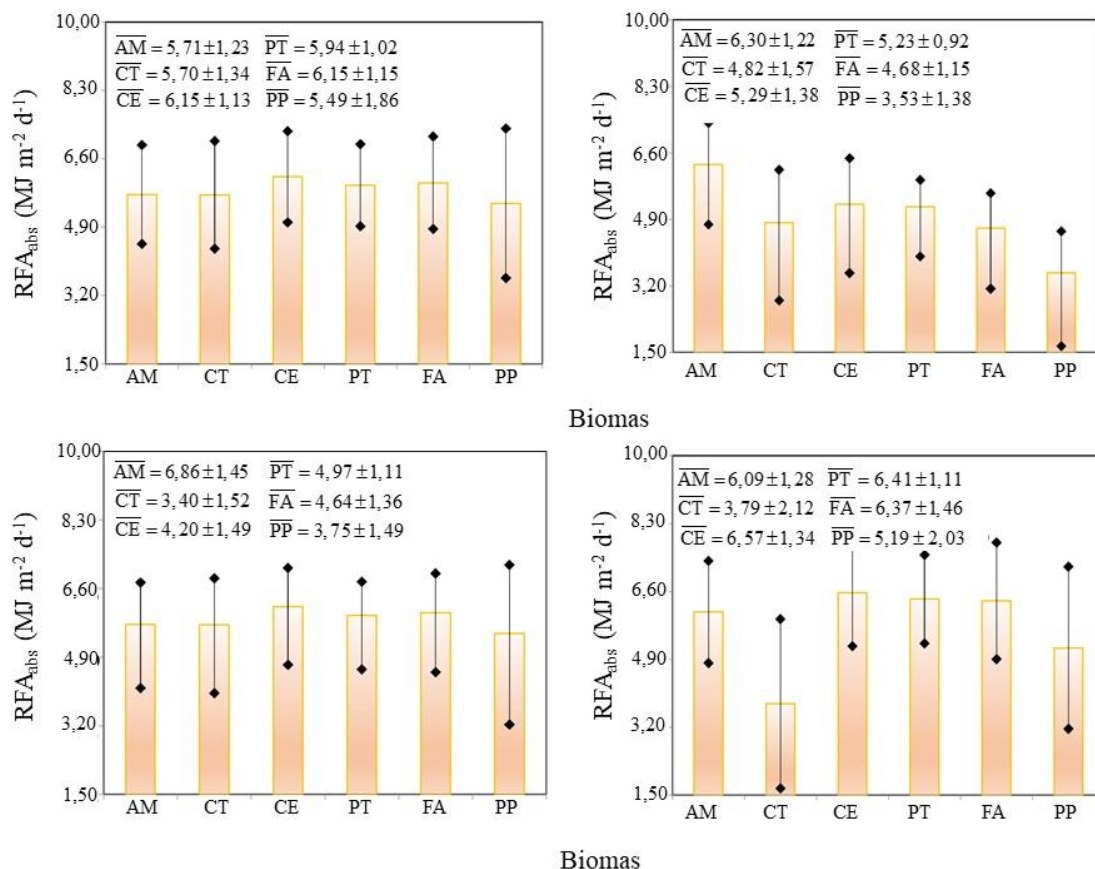
Biomias: Amazônia - AM, Caatinga - CT, Cerrado - CE, Pantanal - PT, Floresta Atlântica - FA, e Pampa - PP.

As médias dos valores de  $ET_f$  ficaram entre 0,14 na Caatinga (CT), de outubro a dezembro (T4), condições mais secas, e 1,15 no Pampa (PP), de abril a setembro (T3), condições mais úmidas, com as respectivas médias anuais de 0,29 e 0,94. Em concordância com os resultados do trabalho corrente, Teixeira et al (2017) reportaram valores médios de  $ET_f$  entre 0,04 e 0,34 para o bioma Caatinga (CT), aplicando o SAFER com imagens Landsat 8, enquanto Rubert et al. (2018) encontraram pequenas diferenças entre  $ET_a$  e  $ET_0$ , originando valores elevados de  $ET_f$ , em ecossistemas do bioma Pampa (PP), através de medições de balanço de energia em campo entre 2014 e 2016.

Em pastagens na Flórida (USA) Summer e Jacobs (2005) reportaram valores de  $ET_f$  entre 0,47 e 0,92 sob condições de irrigação, enquanto em estepes desérticas na Mongólia, China, Zhang et al. (2012) encontraram uma faixa de 0,16 a 0,75. Esses valores são similares aos que ocorreram em várias situações na Figura 4, na qual os valores menores foram detectados para os biomas Caatinga (CT) e Cerrado (CE), e os maiores foram para Pampa (PP) e Floresta Atlântica (FA). De acordo com Zhou e Zhou (2009), as variáveis climáticas que mais afetam os valores de  $ET_f$  são a temperatura e umidade do ar, e a energia disponível. Entretanto, esses valores também dependem da abertura dos estômatos e da adaptação das espécies às condições de escassez hídrica (Mata-González et al., 2005), aspecto mais visível nos biomas Caatinga (CT) e Cerrado (CE) que no Pampa (PP) e Floresta Atlântica (FA) na Figura 4.



Além da  $ET_f$ , as taxas da BIO também são afetadas pela radiação fotossinteticamente ativa absorvida ( $RFA_{abs}$ ). A Figura 5 apresenta as médias de  $RFA_{abs}$  na escala trimestral, juntamente com os desvios padrões (DP), para cada bioma brasileiro.



**Figura 5.** Valores médios para a radiação fotossinteticamente absorvida ( $RFA_{abs}$ ) na escala trimestral, com os seus desvios padrões (DP), durante o ano de 2016. As barras significam os valores médios dos pixels para cada bioma.

Trimestres: T1 - janeiro a março, T2 - abril a junho, T3 - julho a setembro, e T4 - outubro a dezembro.

Biomias: Amazônia - AM, Caatinga - CT, Cerrado - CE, Pantanal - PT, Floresta Atlântica - FA, e Pampa - PP.

Da Tabela 1, para o bioma Amazônia (AM), os valores máximos da BIO ocorreram em T3 (julho a setembro), quando a média dos pixels foram acima de  $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , devido aos altos valores de  $ET_f$  (média de  $0,57$ , Fig. 4), sob sua maior taxa de  $RFA_{abs}$  (em torno de  $6,86 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , Fig. 5). Os valores mínimos ocorreram em T1 (janeiro a março), quando a média foi abaixo de  $75 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , com os menores valores de ambos  $ET_f$  (em torno de  $0,49$ , Fig. 4) e  $RFA_{abs}$  (média de  $5,71 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , Fig. 5). Considerando a escala anual a média da BIO para AM foi de  $32,6 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . De acordo com Vieira et al. (2003), BIO em AM pode variar entre as regiões devido às diferenças nos fatores edáficos, climáticos e de uso da terra, sendo de maior influência para a BIO, as propriedades espectrais e as idades das espécies florestais. Na Amazônia Central, com medições em campo de balaço de energia entre 2008 e 2011, em florestas primárias e secundárias, von Randow et al. (2020) reportaram taxas médias da BIO entre  $162$  e  $156 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , respectivamente, valores ligeiramente maiores que os encontrados para a média anual na Tabela 1.

Na Caatinga (CT), os valores médios mais elevados da BIO (Tabela 1), acima de  $70 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , aconteceram no período chuvoso em T1 (janeiro a março), quando ocorreram os valores mais altos

de ambos  $ET_f$  (média de 0,48, Fig. 4) e  $RFA_{abs}$  (em torno de 5,70 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, Fig. 5). Entretanto, fora do período chuvoso, de T3 a T4 (julho a dezembro), os valores médios da BIO caíram abaixo de 20 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, sob suas mais baixas médias de ambos  $ET_f$ , com média de 0,14 (Fig. 4) e  $RFA_{abs}$  em torno de 3,40 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (Fig. 5) em T4 (outubro a dezembro). A média anual da BIO em CT foi de apenas 15,0 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, a mais baixa entre os biomas. Através de medições de balanço de energia em CT de 2014 a 2015, Silva et al. (2017) reportaram que as espécies desse bioma agem como fontes de carbono para a atmosfera durante os períodos mais secos resultando em menores taxas da BIO, e como consumidoras de carbono nos períodos mais úmidos, aumentando a BIO. Pereira et al. (2020) confirmam que BIO em CT decresce sob condições de estresse hídrico, resultando em rápidas mudanças nas dinâmicas do carbono, devido aos efeitos na fenologia, condutância dos estômatos e fotossíntese. Esses estudos prévios estão de acordo com os resultados para CT na Tabela 1.

Seguindo a Tabela 1, as maiores taxas da BIO no Cerrado (CE), com médias acima de 95 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, foram detectadas em T1 (janeiro a março), sob a maior média de 0,61 para  $ET_f$  (Fig. 4) em conjunto com elevada  $RFA_{abs}$  (média de 6,15 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, Fig. 5). Os menores valores da BIO em CE aconteceram em T3 (julho a setembro), quando a média dos pixels caiu abaixo de 40 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, sob seus menores valores de ambos,  $ET_f$  (média de 0,30, Fig. 4) e  $RFA_{abs}$  (média dos pixels de 4,20 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, Fig. 5). A média anual da BIO de 26,5 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em CE foi a segunda menor depois do bioma CT. O comportamento da BIO para CE descrito na Tabela 1, corrobora com Arantes et al. (2016), que, usando o índice de vegetação do produto MODIS MOD13Q1, reportaram que o desenvolvimento da vegetação chegou a um máximo de janeiro a março (T1), decrescendo até a metade dos valores de agosto a setembro (T3). Decréscimo nas taxas da BIO em T3 (julho a setembro) no estudo corrente também está de acordo com Santos et al. (2021), que reportaram uma redução nos valores da BIO em CE após reduções nas condições de umidade nas raízes das plantas.

As taxas máximas da BIO no bioma Pantanal (PT) (Tabela 1), acima de 90 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, ocorreram em T2 (abril a junho), sob elevada média de  $ET_f$  de 0,68 (Fig. 4), juntamente com alta média para  $RFA_{abs}$  de 5,23 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (Fig. 5). Os valores inferiores da BIO em PT, em torno de 60 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, aconteceram em T3 (julho a setembro), sob seus limites inferiores de ambos,  $ET_f$  (média de 0,46, Fig. 4) e  $RFA_{abs}$  (em torno de 4,97 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, Fig. 5). A média anual da BIO para PT foi de 28,9 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Pela Tabela 1 percebe-se que as diferenças nos valores da BIO entre os trimestres para esse bioma não foram tão grandes, o que está de acordo com Pozer e Nogueira (2004), que também reportaram ausência dessas diferenças entre os meses secos e úmidos, devido que em PT, as espécies terrestres são alternadas com as espécies aquáticas. Entretanto, de acordo com Sanches et al. (2014), os valores da BIO em PT são mais elevados sob condições boas de umidade na zona das raízes, quando os níveis de radiação solar também são altos, o que está em concordância com o período de janeiro a junho (T1 a T2) no estudo corrente.

Pela Tabela 1, percebe-se que no bioma Floresta Atlântica (FA), os valores da BIO foram mais constantes ao longo do ano, quando comparados com aqueles dos biomas prévios. As taxas superiores, acima de 110 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, foram detectadas em T1 (janeiro a março), sob os mais elevados valores de ambos,  $ET_f$  com média de 0,76 (Fig. 4) e  $RFA_{abs}$ , em torno de 6,15 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (Fig. 5). Os limites inferiores da BIO, mas ainda em torno de 95 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, aconteceram em T3 (julho a setembro), com alta média da  $ET_f$  de 0,76 (Fig. 4) e valores mínimos de  $RFA_{abs}$ , em torno de 4,64 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (Fig. 5). Na escala anual, a média da BIO para FA foi de 38,2 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, o segundo maior valor depois do bioma Pampa (PP). Rebello et al. (2020), usando imagens MODIS de 2012 a 2015 em FA, reportaram que a seca fortemente impactou as taxas da BIO, seguido de uma forte e rápida recuperação após as primeiras chuvas. Teixeira et al. (2020), aplicando o SAFER com imagens MODIS, encontraram valores médios da BIO variando de 47 a 93 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em FA dentro da bacia do Rio São Francisco, corroborando com as taxas do trabalho corrente, considerando os limites envolvidos pelas médias e desvios padrões (SD) da Tabela 1 para esse bioma.

Como para FA, o bioma Pampa (PP) também apresentou tendência regular nos valores da BIO ao longo do ano (Tabela 1), com média máxima acima de  $115 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  em T1 (janeiro a março), sob elevada  $ET_f$  média de 0,95 (Fig. 4) e a mais alta média de  $RAF_{\text{abs}}$  de  $5,49 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (Fig. 5). As taxas mínimas da BIO ocorreram em T4 (outubro a dezembro), mas com o valor médio dos pixels não caindo abaixo de  $90 \text{ kg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , ocasião em que a  $ET_f$  média atingiu seu menor valor de 0,69 (Fig. 4) sob uma alta  $RFA_{\text{abs}}$  média de  $5,19 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (Fig. 5). O bioma PP apresentou a maior média anual da BIO entre os biomas, com o valor de  $39,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  sendo 2,6 vezes daquela para CT. Usando medições por sensoriamento remoto de 2001 a 2011, Scotá e Fonseca (2015) também encontraram valores máximos da BIO em T1 (janeiro a março) para PP, entretanto os autores afirmam que as correlações da BIO com as condições climáticas devem ser consideradas para este bioma. De acordo com Rubert et al (2018), a diversidade das espécies em PP é o que determina a capacidade de crescimento da vegetação durante as estações do ano, mas esta é também afetada pela energia disponível, o que está em concordância com os elevados valores da BIO em T1 (janeiro a março) na Tabela 1 e Fig. 5 para esse bioma, com maiores valores da BIO e  $RFA_{\text{abs}}$ , respectivamente.

Considerando todos os biomas brasileiros, os trimestres com valores da BIO mais elevados foram de julho a setembro (T3) para Amazônia (AM); de janeiro a março (T1) para Caatinga (CT), Cerrado (CE), Floresta Atlântica (FA) e Pampa (PP); e de abril a junho (T2) para Pantanal (PT). As menores taxas da BIO aconteceram em T1 (janeiro a março) para AM, em T3 (julho a setembro) para CT, CE, FA e PT; e T4 (outubro a dezembro) para PP. De acordo com os valores de desvio padrão (DP), as maiores variações na BIO ocorreram em T3 (julho a setembro) para CT, quando SD foi 156% da média, enquanto as menores foram em T3 (julho a setembro) para AM, quando SD foi 39% da média.

Para alguns biomas, BIO foi mais fortemente correlacionado com  $ET_f$  (CE, CT, PT e PP), enquanto para outros a correlação da BIO foi mais forte com  $RFA_{\text{abs}}$  (AM e FA). Isto pode ser explicado pelo fato de que a umidade na zona das raízes promove um controle mais forte nas taxas da BIO, quando a água é escassa (baixa  $ET_f$ ), enquanto se  $ET_f$  é alta (bons níveis de umidade na zona das raízes), a BIO é mais afetada pela energia disponível (Seneviratne et al., 2010).

## CONCLUSÃO

Foi confirmada a viabilidade da aplicação conjunta do modelo EUR e o algoritmo SAFER com imagens MODIS e dados climáticos na determinação da dinâmica da produção de biomassa (BIO) em larga escala ao longo do ano nos biomas do Brasil.

Para os biomas Amazônia e Floresta Atlântica, as taxas da BIO são mais correlacionadas com os níveis de radiação fotossinteticamente ativa absorvida, enquanto para Caatinga, Cerrado, Pantanal e Pampa as tendências da BIO seguem mais o conteúdo de umidade na zona das raízes das plantas. Isso pode ser explicado pelo fato de que a umidade na zona das raízes promove um controle mais forte nas taxas da BIO, quando a água é escassa, caso contrário, a BIO é mais afetada pela energia disponível.

Embora os métodos sendo testados para apenas um ano nessa pesquisa, o sucesso do uso conjunto do produto reflectância MODIS MOD13Q1 com grades de dados climáticos para estimativa da BIO, apresentou potencial para implementação de um sistema operacional para monitoramento das condições da vegetação nos biomas brasileiros, com suficiente detalhes para suporte às políticas públicas no manejo racional dos recursos naturais, com possibilidade de replicações da metodologia em outros países.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro através da bolsa de produtividade ao primeiro autor, Processo 311532/2021-7.

## REFERÊNCIAS

- Arantes, A.E.; Ferreira, L.G.; Coe, M.T. The seasonal carbon and water balances of the Cerrado environment of Brazil: Past, present, and future influences of land cover and land use. **ISPRS Journal Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 117, p. 66-78, 2016.
- Azevedo, G.B. de; Rezende, A.V.; Azevedo, G.T.O.S.; Miguel, E.P.; Aquino, F.G.; Bruzinga, J.S.C.; Oliveira, L.S.C. de; Pereira, R.S.; Teodoro, P.E. Woody biomass accumulation in a Cerrado of Central Brazil monitored for 27 years after the implementation of silvicultural systems. **Forest Ecology and Management**, v. 455, 117718, 2020.
- Bastiaanssen, W.G.M.; Ali, S. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 94, p. 321-340, 2003.
- Casagrande, E.; Recanati, F.; Rulli, M.C.; Bevacqua, D.; Meli, P. Water balance partitioning for ecosystem service assessment. A case study in the Amazon. **Ecological Indicators**, v. 121, 107155, 2021.
- Ceschia, E.; Beziat, P.; Dejoux, J.F.; Aubinet, M.; Bernhofer, C.; Bodson, B.; Buchmann, N.; Carrara, A.; Cellier, P.; Di Tommasi, P.; Elbers, J.A.; Eugster, W.; Grünwald, T.; Jacobs, C.M.J.; Jans, W.W.P.; Jones, M.; Kutsch, W.; Lanigan, G.; Magliulo, E.; Marloie, O.; Moors, E.J.; Moureaux, C.; Olioso, A.; Osborne, B.; Sanz, M.J.; Saunders, M. Management effects on net ecosystem carbon and GHG budgets at European crop sites. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 139, p. 363-383, 2010.
- Lewinsohn, T.M.; Prado, P.I. How many species are there in Brazil? **Conservation Biology**, v. 19, p. 619-624, 2005.
- Marengo, J.A.; Cunha, A.P.; Cuartas, L.A.; Leal, K.R.D.; Broedel, E.; Seluchi, M.E.; Michelin, C.M.; Baião, C.F.P.; Ângulo, E.C.; Almeida, E.K.; Kazmierczak, M.L.; Mateus, N. P.A.; Silva, R.C.; Bender, F. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019-2020: Characterization, Causes, and Impacts. **Frontiers in Water**, v. 3, 639204, 2021.
- Mariano, D.A.; Santos, C.A.C. dos; Wardlowa, B.D.; Anderson, M.C.; Schiltmeyera, A.V.; Tadessea, T.; Svoboda, M.D. Use of remote sensing indicators to assess effects of drought and human induced land degradation on ecosystem health in Northeastern Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v; 213, p. 129-143, 2018.
- Mata-González, R.; McIendon, T.; Matin, D.W. The inappropriate use of crop transpiration coefficients ( $K_c$ ) to estimate evapotranspiration in arid ecosystems: A review. **Arid Land Research and Management**, v. 19, p. 285-295, 2005.
- Monteith, J.L. Climate and efficiency of crop production in Britain. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 281, p. 277-294, 1977.
- Pereira, M.P. S.; Mendes, K.R.; Justino, F.J.; Couto, F.; Silva, A.S. da, Silva, D.F. da, Malhado, A.C.M. Brazilian dry forest (Caatinga) response to multiple ENSO: the role of Atlantic and Pacific Ocean. **Science of the Total Environment**, v. 705, 135717, 2020.

- Pozer, C.G.; Nogueira, F. Flooded native pastures of the Northern region of the Pantanal of Mato Grosso: Biomass and primary productivity variations. **Brazilian Journal of Biology**, v. 64, p. 859-866, 2004.
- Rebello, V.P.A.; Getirana, A.; Filho, O.C.R.; Lakshmi, V. Spatiotemporal vegetation response to extreme droughts in eastern Brazil. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 18, 100294, 2020.
- Ribeiro, M.C.; Metzger, J.P.; Martensen, A.C.; Ponzoni, F.J.; Hirota, M.M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1141-1153, 2009.
- Rubert, G.C.; Roberti, D.R.; Pereira, L.S.; Quadros, F.L.F.; Velho, H.F. de C.; Moraes, O.L.L. de. Evapotranspiration of the Brazilian Pampa biome: seasonality and influential factors. **Water**, 1864, 2018.
- Sanches, L.; Silva, L.B. da; Lima, S.D. de; Pereira, O.A.; Carrilho, S.F.J.; Nogueira, J.S. Estoque de energia na biomassa e no ar do dossel de *Vochysia divergens*. Pohl. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 955-962. 2014.
- Santos, M.G.; Oliveira, M.T.; Figueiredo, K.V. Caatinga, the Brazilian dry tropical forest: can it tolerate climate changes? **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 26, p. 83-99, 2014.
- Santos, G.L. dos; Pereira, M.G.; Delgado, R.C.; Magistrali, I.C.; Silva, C.G. da; Oliveira, C.M.M. de; Laranjeira, J.P.B.; Silva, T.P. da. Degradation of the Brazilian Cerrado: Interactions with human disturbance and environmental variables. **Forest Ecology and Management**, v. 482, 118875, 2021.
- Scottá, F.C.; Fonseca, E.L. da. Multiscale trend analysis for Pampa grasslands using ground data and vegetation sensor imagery. **Sensors**, v. 15, p. 17666-17692, 2015.
- SENEVIRATNE, S.I.; CORTI, T.; DAVIN, E.L.; HIRSCHI, M.; JAEGER, E.B.; LEHNER, I.; ORLOWSKY, B.; TEULING, A.J. Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. **Earth Science Review**, v. 99, p. 125-161, 2010.
- Silva, P.F. da; Lima, J.R. de S.; Antonino, A.C.D.; Souza, R.; Souza, E.S. de; Silva, J.R.I.; Alves, E.M. Seasonal patterns of carbon dioxide, water, and energy fluxes over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 147, p. 71-82, 2017.
- Sumner, D.M.; Jacobs, J. Utility of penman-Monteith, Priestley-Taylor, reference evapotranspiration, and pan evaporation methods to estimate pasture evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, v. 308, p. 81-104, 2005.
- Teixeira, A.H. de C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated and natural vegetation in the São Francisco River basin (Brazil) using remote sensing and Penman-Monteith equation. **Remote Sensing**, v. 2, p. 1287-1319, 2010.
- TEIXEIRA, A. de C.; SCHERER-WARREN, M.; HERNANDEZ, F.B.T.; ANDRADE, R.G.; LEIVAS, J.F. Large-scale water productivity assessments with MODIS Images in a changing semi-arid environment: A Brazilian case study. **Remote Sensing**, v. 5, p. 5783-5804, 2013.
- Teixeira, A.H. de C, Leivas, J.F., Silva, G.B. Drought assessments by coupling Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer images and weather data: A case study in the Minas Gerais state, Brazil. In: Petropoulos, G.P. e Islam, T. (eds.), **Remote sensing of hydrometeorological hazards**. CRR Press, Boca Raton, Florida, 2017, p. 53-68.

Teixeira, A.H, de C; Takemura, C.M.; Leivas J.F.; Pacheco, E.P.; Silva, G.B.; Garçon, E.A.M. Water productivity monitoring by using geotechnological tools in contrasting social and environmental conditions: Applications in the São Francisco River basin, Brazil. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 18 p. 1- 9, 2020.

Teixeira, A.H, de C; Leivas J.F.; Pacheco, E.P.; Garçon, E.A.M.; Takemura, C.M. Biophysical characterization and monitoring large-Scale water and vegetation anomalies by remote sensing in the agricultural growing areas of the Brazilian semi-arid region. In: Pandey, P.C. e Sharma, L.K. (eds). **Advances in remote sensing for natural resource monitoring**. New Jersey: Wiley Online Library, 2021, p. 94-109.

Vieira, I.C.G.; Almeida, A.S. de; Davidson, E.A.; Stone, T.A.; Carvalho, C.J.R. de; Guerreiro, J.B. Classifying successional forests using Landsat spectral properties and ecological characteristics in eastern Amazônia. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, p. 470-481, 2003.

von Randow, R.C.S.; Tomasellac, J.; von Randow, C.; Araújo, A.C.; Manzie, A.O.; Hutjesf, R.; Kruijt, B. Evapotranspiration and gross primary productivity of secondary vegetation in Amazonia inferred by eddy covariance. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 294, 108141, 2020.

Yang, Y.; Guan H.; Batelaan, O.; McVicar, T.R.; Long, D.; Piao, S.; Liang, W.; Liu, B.; Jin, Z.; Simmons, C.T. Contrasting responses of water use efficiency to drought across global terrestrial ecosystems. **Scientific Reports**, v. 6, p. 1-8, 2016.

Zhang, F.; Zhou, G.; Wang, Y.; Yan, F.; Christer Nilsson, C. Evapotranspiration and crop coefficient for a temperate desert steppe ecosystem using eddy covariance in Inner Mongolia, China. **Hydrological Processes**, v. 26, p. 379-386, 2012.

Zhang, X.; Zhang, B. The responses of natural vegetation dynamics to drought during the growing season across China. **Journal of Hydrology**, v. 574, p. 706-714, 2019.

Zhao, M. Running, S.W. Drought-Induced Reduction in Global Terrestrial Net Primary Production from 2000 through 2009. **Science**, v. 329, p. 940-943, 2010.

Zhao, M., Heinsch, F.A., Nemani, R.R., Running, S.W. Improving of the MODIS terrestrial gross and net primary production global dataset. **Remote Sensing of Environment**, v. 95, p. 164-176, 2005.

Zhou, L.; Zhou, G. Measurement and modeling of evapotranspiration over a reed (*Phragmites australis*) marsh in Northeast China. **Journal of Hydrology**, 372, 41-47, 2009.

# ESTIMATIVA DE SAFRA DO ALGODOEIRO COM PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

**Amanda Fernandes Cândido**<sup>1</sup>; **Valéria Peixoto Borges**<sup>2</sup>; **Robson de Sousa Nascimento**<sup>2</sup>; **Leossávio César de Souza**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduada. 12 Rodovia, PB-079, Areia - PB, 58397-000. Universidade Federal da Paraíba, Campus II CCA;

<sup>2</sup>Docente. 12 Rodovia, PB-079, Areia - PB, 58397-000. Universidade Federal da Paraíba, Campus II CCA

## RESUMO

Neste trabalho objetivou-se apresentar e validar estimativas da produtividade do algodoeiro utilizando somente índices espectrais de vegetação, bem como avaliar a aplicabilidade e acurácia do Método de Monteith para obtenção de biomassa e produção, aplicando a evapotranspiração da cultura no fator de correção de umidade. Para tanto foram utilizados dados de produção do algodão cultivado no Cerrado da Bahia e imagens dos satélites Sentinel-2A e 2B processadas na plataforma Google Earth Engine para obtenção dos valores médios e máximos dos IVs: NDVI, SAVI e EVI; e produtos do Satélite Landsat 8 (NDVI e evapotranspiração) adquiridas no aplicativo GEEsebal. As estimativas foram avaliadas segundo os indicadores: Erro Absoluto Médio (EAM), Razão Média (RM); Raiz Quadrada do quadrado médio do erro (RQME) coeficientes de determinação ( $R^2$ ), coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) e índice de desempenho de Willmott ( $d$ ). Os modelos gerados a partir de índices de vegetação apresentaram desempenho mediano para estimar a produtividade, com médias entre produção estimada e medida estatisticamente iguais a 1%. Considerando todos os índices de desempenho, a melhor estimativa foi alcançada utilizando-se o EVI médio do ciclo da cultura. A pouca disponibilidade de imagens durante o ciclo da cultura comprometeu a estimativa da produtividade segundo o método de Monteith, ainda assim, apresentou boa correlação com a produtividade medida em campo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Índice de vegetação; Produtividade; Algodão;;

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil tem se mantido entre os cinco maiores produtores mundiais de algodão, além disso, permanece entre os líderes mundiais em exportação e consumo de algodão em pluma (ABRAPA, 2022). No cenário nacional, destacam-se os estados de Mato Grosso e da Bahia, que cultivaram mais de 88% da área de algodão na safra 2019/2020 (CONAB, 2021).

Considerando que as empresas produtoras de algodão são caracterizadas pela alta tecnificação das lavouras, o monitoramento das lavouras em escala espacial e temporal é fundamental para a previsão das safras e planejamento de toda cadeia produtiva. Nesse sentido ressalta-se a importância do sensoriamento remoto (SR), que possibilita o levantamento de informações da superfície a partir do uso de imagens de diversas plataformas, como satélites, aeronaves, veículos aéreos remotamente pilotados (VARPs), entre outros (BRANDÃO; ZONTA; SHIRATSUCHI, 2018).

Para as estimativas de safras associam-se as variáveis agrônomicas, como área foliar, vigor e desenvolvimento, que podem ser utilizadas como indicadores da colheita (AL-GAADI et al., 2016). Tais características são intrinsecamente correlacionadas com os índices espectrais de vegetação (IV), que consistem em um número que representa a biomassa ou vigor do vegetal, sendo obtido pela combinação de duas ou mais bandas espectrais (MESHESHA et al., 2020). Assim, a estimativa da produtividade das culturas pode ser obtida com relações empíricas entre a biomassa vegetal e índices espectrais de vegetação, que funcionam como um indicador da densidade e condição da vegetação, representando o vigor da cultura e a produção registrada em campo (MOSLEH et al., 2016; MESHESHA, 2020; SHAMMI; MENG, 2021).

Há metodologias para estimativa de biomassa e produção que consideram a produtividade primária líquida (PPL), a qual é a quantidade de carbono armazenada pelo vegetal, resultado do saldo entre a

assimilação de CO<sub>2</sub> pela fotossíntese e sua liberação, via respiração (HE et al., 2018; LIU et al., 2019), a exemplo do método de Monteith. Tais modelos apresentam implementação por vezes complexa, aplicando algoritmos para balanço de energia à superfície (GOBBO et al., 2019; YANG et al., 2021).

## OBJETIVOS

Neste trabalho, objetivou-se apresentar e validar estimativas da produtividade do algodoeiro utilizando somente índices espectrais de vegetação, bem como avaliar a aplicabilidade e acurácia do Método de Monteith para obtenção de biomassa e produção, aplicando a evapotranspiração da cultura no fator de correção de umidade.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada na Fazenda Porto Alegre (13°15'18" S, 43°25'05" W, 436 m) no município de Serra do Ramalho, região Oeste do Estado da Bahia. Foram aplicados nesse estudo dados de produção do algodoeiro de 20 parcelas produtoras, irrigadas em sistema de aspersão por pivô central, na safra 2020/21 (Figura 1). A área de cada pivô central variava de 66 a 90 ha. O clima da região de estudo é classificado como BShw, clima quente de caatinga com estação chuvosa no período de primavera-verão (SEI, 2021). As médias anuais de temperaturas máxima e mínima são 32,8°C e 20°C, respectivamente, a precipitação média anual é de 798 mm e a evapotranspiração potencial 2163 mm (INMET, 2021).

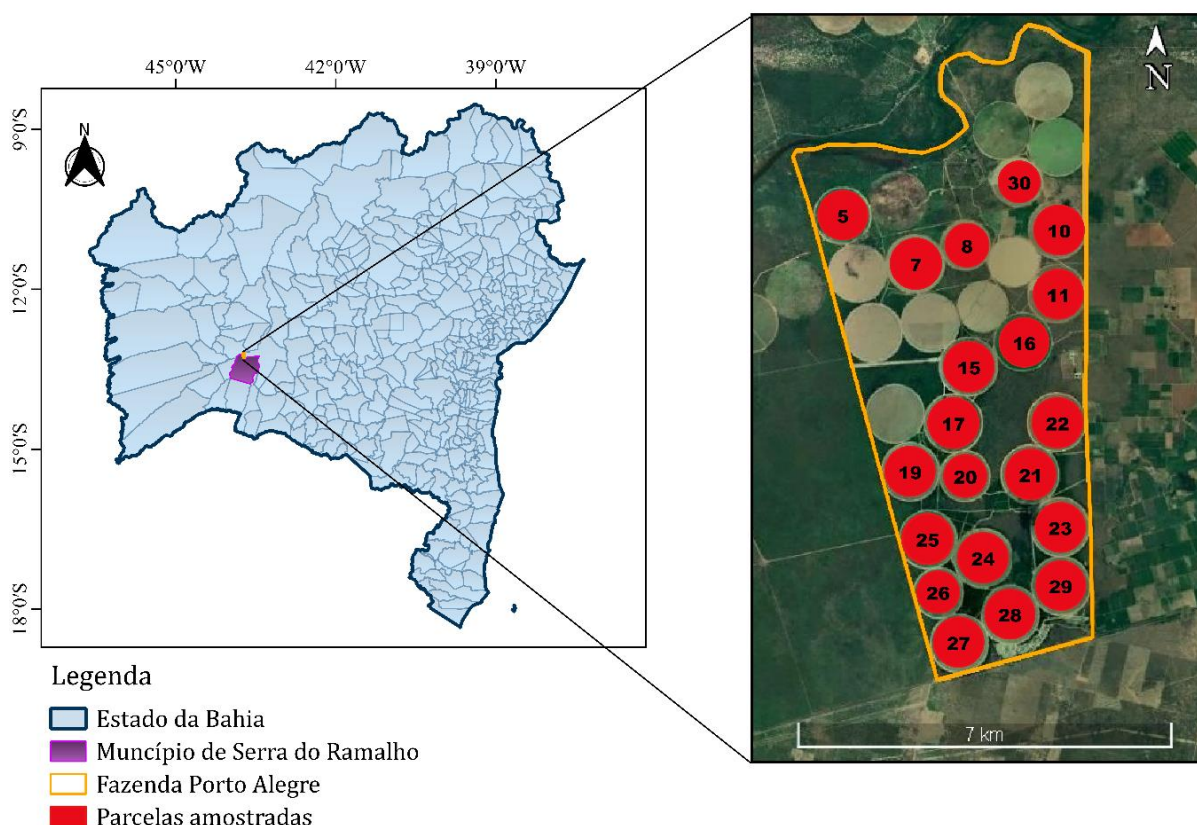


Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Elaborado pelo autor com imagens do Google Earth, 2023.

Duas metodologias para estimar a produtividade das culturas foram aplicadas e avaliadas: 1) Clássico Método de Monteith (1972) para determinar a Produção Primária Líquida (PPL) da vegetação, utilizando o NDVI, e a Evapotranspiração (ET) como produto de sensoriamento remoto e 2). Regressão para obter equação de estimativa da produtividade, a partir dos IVs.



Foram utilizados os produtos do satélite Landsat 8 para implementação no Modelo de PPL: NDVI e Evapotranspiração, gerados pelo aplicativo GEE Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) desenvolvido por Laipelt et al., (2021), disponível no endereço: <https://etbrasil.users.earthengine.app/view/geesebal>. Oito cenas, correspondentes ao período do ciclo das culturas (fevereiro a agosto), que apresentaram ausência de nuvens sobre a área de estudo, foram implementadas. Na plataforma de geoprocessamento QGIS, foram realizados os recortes das parcelas produtoras em arquivos individuais, para exportar os valores de NDVI e ET dos *pixels* para planilha eletrônica e modelar a PPL, segundo a equação 1 (BASTIAANSEN, ALI, 2003).

$$PPL = \varepsilon * f * RFA \text{ (Eq 1)}$$

Em que  $\varepsilon$  é o fator de correção para uso da luz, RFA é a radiação fotossinteticamente ativa (48% da radiação global) e  $f$  é a porção de RFA absorvida pela planta.  $f$  foi determinado a partir do NDVI da cultura (BASTIAANSEN, ALI, 2003);  $\varepsilon$  é uma correção para temperatura e umidade de  $\varepsilon^*$  que, por sua vez, representa a máxima conversão de luz em massa seca - 1,97 g MJ<sup>-1</sup> para o algodoeiro, conforme Gonias et al. (2012). Para essa correção, os valores médios de NDVI e ET foram utilizados conforme as metodologias de Patel et al. (2010) e Tao et al. (2005). Dados meteorológicos de radiação, temperatura, umidade e vento, medidos em estação meteorológica na área de estudo foram aplicados para calcular a RFA e a evapotranspiração de referência. Por fim, a produtividade do algodoeiro foi gerada como produto da PPL com o índice de colheita da cultura, tomando-se o valor de 0,3, um valor médio, considerando os encontrados na literatura que variaram de 0,2 a 0,41 (QUIAN et al., 2020; IQBAL; KHAN; CHATTHA, 2020).

A modelagem empírica da produtividade foi realizada com os IVs: NDVI, SAVI e EVI. Produtos dos satélites Sentinel-2A e 2B, foram processados na plataforma Google Earth Engine, para determinar dois valores de cada IV, em cada parcela produtora: o máximo - IV<sub>max</sub>, que corresponde à data de máximo acúmulo de biomassa da cultura, portanto representa a biomassa que foi convertida no produto final; e o médio - IV<sub>med</sub>, representando a média dos valores do IV no ciclo da cultura em cada parcela. Dados de produtividade de cada parcela produtiva - pivô, disponibilizados pela fazenda, foram aplicados em regressão com cada correspondente IV máximo e médio, a fim de gerar equação de estimativa da safra para cultura. Para gerar o modelo, foram aplicados 2/3 de dados de um total de 800 pixels de todos os pivôs cultivados, na época estudada. O modelo empírico de produção foi validado com o 1/3 de dados restantes. As estimativas (regressões e a modelagem com a radiação fotossinteticamente ativa - método de Monteith) foram comparadas com os dados de campo, por meio do Teste de Tukey e dos indicadores: coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>), coeficiente de correlação de Pearson (r); razão média (RM); erro absoluto médio (EAM); raiz quadrada do quadrado médio do erro, (RQME) e índice de desempenho de Willmott (d) (BORGES et al., 2010).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Modelagem da produtividade com IVs

A Figura 2 apresenta a relação entre os índices de vegetação NDVI, EVI e SAVI máximos e médios e a produtividade observada em campo. Observa-se que existe correlação positiva, pois ao passo que os valores representativos de IVs aumentaram, o resultado em produtividade também aumentou. Porém, o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), que determina a precisão da estimativa, foi baixo.

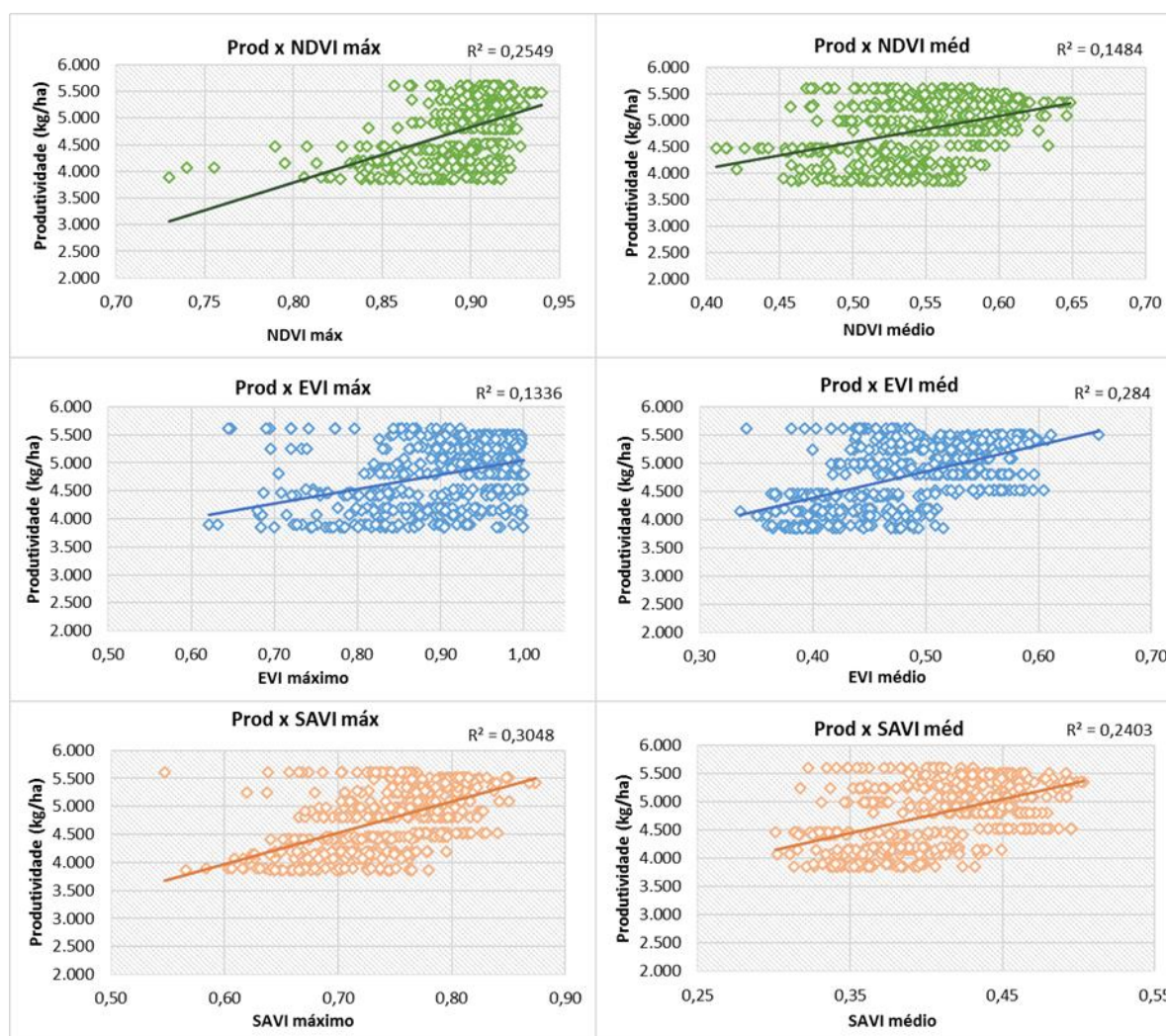


Figura 2. Relação entre os valores máximos e médios de NDVI, EVI e SAVI e a produtividade em kg/ha.

Na relação com os valores máximos, o SAVI foi o índice da estimativa com maior coeficiente de determinação, 0,3048. Já na relação com os valores médios, o EVI apresentou maior coeficiente,  $R^2 = 0,284$  (Figura 2). Através da regressão entre os IVs e a produtividade em quilogramas por hectares, foram gerados os modelos lineares com as equações apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Equações para estimativa de produtividade, em função dos índices espectrais de vegetação.

PN1	Produtividade = $10,438 * (\text{NDVI}_{\text{máx}}) - 4.560,6$
PN2	Produtividade = $4,955,6 * (\text{NDVI}_{\text{méd}}) + 2.108,9$
PE1	Produtividade = $2,551,7 * (\text{EVI}_{\text{máx}}) + 2.490$
PE2	Produtividade = $4,698 * (\text{EVI}_{\text{méd}}) + 2.5502,7$
PS1	Produtividade = $5,547,2 * (\text{SAVI}_{\text{máx}}) + 647,11$
PS2	Produtividade = $6,003,5 * (\text{SAVI}_{\text{méd}}) + 2.347,7$

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023. PN1 - Modelo estimado com o NDVI máximo; PN2 - modelo estimado com o NDVI médio; PE1 - modelo estimado com EVI máximo; PE2 - modelo estimado com EVI médio; PS1 - modelo estimado com SAVI máximo; PS2 - modelo estimado com SAVI médio.

Apesar do baixo  $R^2$  das regressões, as médias de produtividade observadas em campo e estimada pelos modelos apresentaram valores próximos e foram estatisticamente iguais, segundo o teste de Tukey a 1% de erro. A razão média mostrou que os modelos superestimaram o valor da produção em, no máximo, 5%.

Os modelos apresentaram correlação Pearson ( $r$ ) acima de 0,4, considerada mediana, segundo Dancy e Reidy (2006). A exceção foi PE1, com  $r = 0,2975$ . O índice de concordância de Willmott ( $d$ ) revelou desempenho mediano para PE2 (0,6329), PS1 (0,5849) e PN1 (0,5418). Para os demais observou-se um mau desempenho, tendo em vista que apresentaram valores de ( $d$ ) abaixo de 0,5, e que a concordância perfeita entre estimativas e dados observados é registrada com  $d$  igual a 1,0 (BORGES, et al., 2010). O erro absoluto médio para os modelos PN1, PN2, PE1 e PS2 esteve acima de 400 kg/ha, o que corresponde a cerca de 9% da produtividade média registrada em campo, que foi de 4.802,83 kg/ha.

A produtividade das lavouras avaliadas provavelmente foi influenciada por outros fatores, de forma que a biomassa vegetal não foi o único determinante. Apesar das condições de temperatura e radiação terem sido propícias, a situação nutricional das plantas ou a fitossanidade podem ter interferido na alocação da matéria seca em produto econômico (fibra) no estágio fenológico final. Oliveira (2019) observou que a correlação entre os dados espectrais e a produtividade é dependente da idade do algodoeiro e do seu estágio fenológico. De acordo com o autor, o início do florescimento da cultura se mostrou a fase menos indicada para se estimar a produtividade, apresentando os menores coeficientes de determinação. Jones et al. (2015) analisaram o efeito de diferentes solos, tipo de palhada e teor de umidade do solo no valor do NDVI e concluíram que a variação de todos esses fatores induziu em diferenças no valor do índice. As variações foram na ordem de 15 a 35% sobre o valor calculado do NDVI, segundo os autores essa diferença significa até 500 kg na estimativa da produtividade da cultura do milho. Já Gutierrez et al. (2012) demonstraram que o uso de IVs na estimativa da produtividade do algodoeiro pode ter restrições em algumas situações, principalmente quando há desequilíbrio entre o crescimento vegetativo e o reprodutivo.

Tabela 2. Índices estatísticos dos modelos de estimativa da produtividade do algodoeiro gerados com os índices NDVI, EVI e SAVI.

SAFRA 2020													
Indicadores	PN1		PN2		PE1		PE2		PS1		PS2		
	Est	Obs	Est	Obs	Est	Obs	Est	Obs	Est	Obs	Est	Obs	
Média (kg ha <sup>-1</sup> )	4.802,32	4.801,34	4.807,95	4.779,54	4.805,11	4.819,82	4.783,77	4.845,75	4.803,58	4.835,95	4.795,81	4.831,97	
Dp	273,15	558,21	228,69	545,29	191,70	549,86	303,41	55,14	302,02	562,91	252,59	549,34	
CV	6%	12%	5%	11%	4%	11%	6%	11%	6%	12%	5%	11%	
RM média	1,011		1,017		1,009		0,997		1,004		1,003		
EAM (kg ha <sup>-1</sup> )	411,83		419,86		443,76		386,70		398,93		430,46		
REQM (kg ha <sup>-1</sup> )	491,72		497,38		524,95		465,00		489,00		496,07		

d (Willmont)	0,5418	0,4514	0,3120	0,6329	0,5849	0,4926
cor. Pearson (r)	0,4706	0,4095	0,2975	0,5553	0,4974	0,4320
R <sup>2</sup>	0,2549	0,1484	0,1336	0,2840	0,3048	0,2403
p-valor Teste T	0,9742	0,3507	0,6473	0,0288	0,2793	0,2334

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023. Est - produtividade estimada, Obs - produtividade observada em campo, Dp - desvio padrão, CV - coeficiente de variação, RM - Razão Média, EAM - Erro Absoluto Médio, REQM - Raiz Quadrada do quadrado médio do erro, d (Willmont) - índice de concordância de Wilmott, r - coeficiente de correlação de Pearson, R<sup>2</sup> - coeficientes de determinação, PN1 - Modelo estimado com o NDVI máximo, PN2 - modelo estimado com o NDVI médio, PE1 - modelo estimado com EVI máximo, PE2 - modelo estimado com EVI médio, PS2 - modelo estimado com SAVI máximo, PS - modelo estimado com SAVI médio.

### Modelo de Monteith

Pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5% (Tabela 3), as médias da produtividade estimada e observada de cada pivô apresentaram diferença significativa, pois foram maiores que a diferença média significativa (414,26 kg/ha).

Tabela 3. Comparação das médias de produtividade estimada e observada pelo teste Tukey e indicadores estatísticos da estimativa.

Parcela	Produtividade (kg/ha)		Diferença absoluta
	Observada	Estimada	
Pivô 05	5.608,40	8.117,31	2.508,92
Pivô 07	4.409,12	6.510,96	2.101,83
Pivô 08	4.153,14	7.356,29	3.203,15
Pivô 10	3.857,00	6.593,13	2.736,13
Pivô 11	4.987,49	6.879,48	1.891,99
Pivô 15	4.071,07	5.690,44	1.619,37
Pivô 16	4.465,47	6.084,04	1.618,58
Pivô 17	3.894,22	7.214,07	3.319,85
Pivô 19	4.198,48	7.198,42	2.999,94
Pivô 20	5.479,06	7.734,28	2.255,22
Pivô 21	5.508,42	7.770,76	2.262,33
Pivô 22	5.418,78	7.844,41	2.425,63
Pivô 23	4.801,53	7.711,05	2.909,52

Pivô 24	5.285,28	7.571,84	2.286,56
Pivô 25	5.345,20	7.701,31	2.356,11
Pivô 26	4.911,48	7.297,22	2.385,73
Pivô 27	5.083,14	5.697,97	614,83
Pivô 28	4.522,52	6.903,16	2.380,65
Pivô 29	4.808,57	7.313,96	2.505,39
Pivô 30	5.248,15	7.511,03	2.262,88
Indicadores			
RM Média		1,497	
EAM (kg ha <sup>-1</sup> )		2.332,23	
REQM (kg ha <sup>-1</sup> )		2.405,92	
d (Willmont)		0,1298	
cor. Pearson (r)		0,5645	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023. RM - Razão Média, EAM - Erro Absoluto Médio, REQM - Raiz Quadrada do quadrado médio do erro, d (Willmont) - índice de concordância de Willmott, r - coeficiente de correlação de Pearson.

Da análise da Tabela 3, reconhece-se que a estimativa da biomassa pela PPL apresentou superestimativa de 50% em relação ao observado em campo, além de ter mau desempenho, segundo o índice de concordância de Willmont (d). A correlação ( $r = 0,5645$ ) entre estimativas e dados medidos foi mediana (Dancey e Reidy, 2006), sendo registrado erro absoluto médio de 2 toneladas/ha. Esses resultados podem ser atribuídos à extrapolação dos valores de biomassa calculados em escala diária dos índices, devido à baixa disponibilidade de imagens durante o ciclo da cultura. Como o Landsat 8 apresenta resolução temporal de 16 dias, nos meses em que apenas uma imagem estava livre de nuvens sobre a região estudada, foi necessário multiplicar o valor da biomassa por 30 dias. Desta forma, mudanças no ciclo da cultura não puderam ser identificadas, o que levou ao somatório da biomassa muito superior ao que pode ter sido registrado em campo.

He et al. (2018), usando um modelo de eficiência de uso de luz com dados de satélite, estimaram os rendimentos anuais de sete importantes culturas agrícolas em Montana, nos EUA, através da produtividade primária bruta (PPB). Os autores observaram que as estimativas capturaram os padrões característicos de produtividade de terras agrícolas e a correlação com a produtividade medida foi 0,42, informando que tal método é adequado para aplicações operacionais de monitoramento de culturas em escalas regionais. Apesar da superestimativa da produção gerada aqui pelo método de Monteith, observou-se pelo coeficiente de correlação que há uma relação definida entre biomassa acumulada e produção final e que o método pode ajudar a monitorar os cultivos e identificar falhas de crescimento das plantas, indicando locais com maior ou menor potencial de produção.

A distribuição espacial da produtividade dentro das parcelas produtoras é apresentada na Figura 3. Observa-se na maioria dos pivôs, áreas com diferenças bruscas no valor da produtividade, o que pode estar relacionado com a presença de sombra de nuvens nas imagens utilizadas para o mapeamento. O

mascaramento de nuvens foi eficiente para eliminar os pixels com nebulosidade, porém não excluiu aqueles em que há projeção da sua sombra, os quais apresentaram uma resposta do NDVI abaixo do real. Aboutalebi et al. (2019) avaliaram diferentes métodos para detectar sombra em imagens ópticas de alta resolução e o impacto dessas no cálculo de NDVI e evapotranspiração, e observaram que os *pixels* sombreados no dossel da videira levaram a diferenças significativas no NDVI e ET calculados nas áreas afetadas. Afirmaram ainda que ignorar o efeito das sombras sobre essas variáveis pode levar a resultados e conclusões tendenciosas.

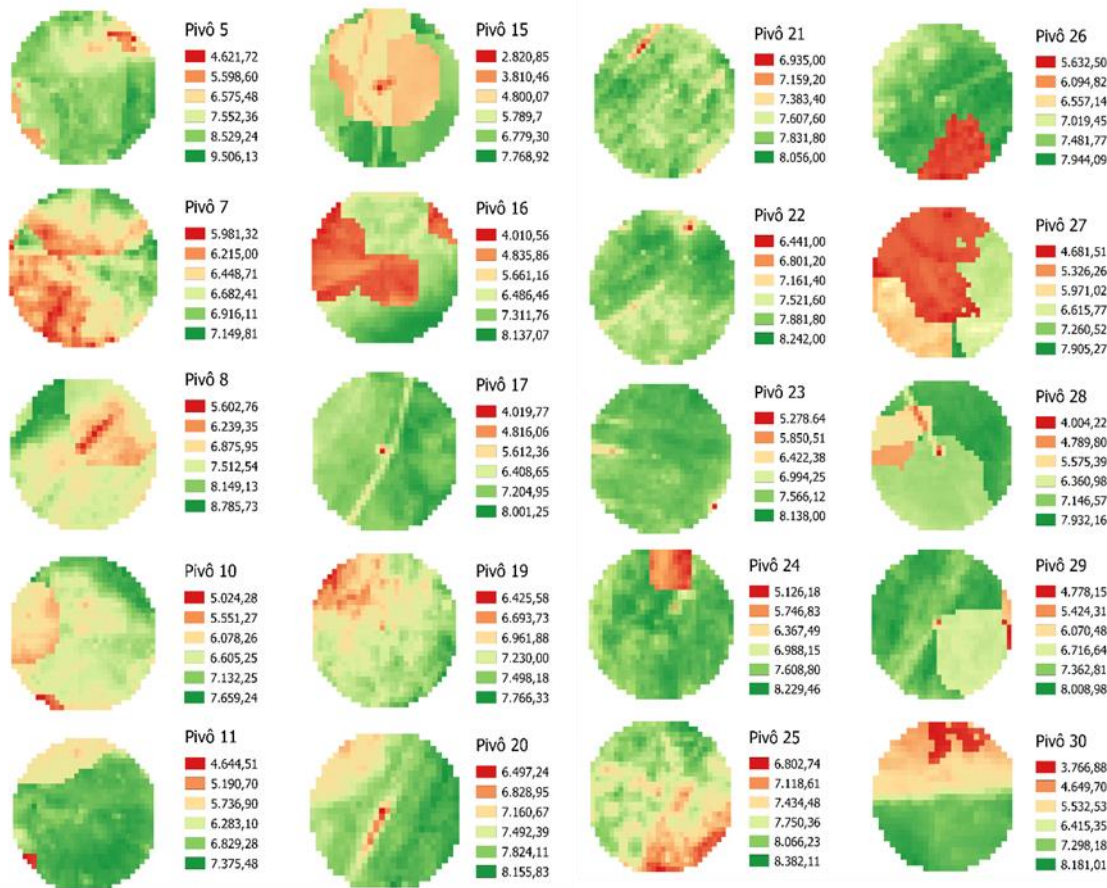


Figura 3. Mapeamento da produtividade em quilogramas por hectares nas parcelas estudadas.

Os pivôs 21, 22, e 23 não apresentaram uma possível interferência de sombras de nuvens, e dentro desses é possível observar a variabilidade na produtividade estimada para a cultura. O levantamento do índice de vegetação revela o acúmulo de biomassa diferenciado dentro do mesmo pivô, que por sua vez, pode refletir em produção heterogênea e abaixo do esperado. Esta variabilidade pode estar associada a uma série de fatores que interagem de forma complexa e condicionam a expressão da cultura, como a situação nutricional do solo e a fitossanidade (VIAN et al., 2016), como também desuniformidade na irrigação. Para o algodoeiro, a relação entre biomassa e produtividade é mais complexa em comparação com outras culturas, pois quando não existe equilíbrio entre o crescimento vegetativo e crescimento reprodutivo isso afeta significativamente a produção da cultura (GUTIERREZ et al., 2012).

## CONCLUSÃO

Os modelos gerados a partir de índices de vegetação apresentaram desempenho mediano para estimar a produtividade, com médias entre produção estimada e medida estatisticamente iguais a 1%.

Considerando todos os índices de desempenho, a melhor estimativa foi alcançada utilizando-se o EVI médio do ciclo da cultura.

A pouca disponibilidade de imagens durante o ciclo da cultura comprometeu a estimativa da produtividade segundo o método de Monteith; ainda assim, apresentou boa correlação com a produtividade medida em campo.

O sensoriamento remoto orbital mostrou-se mais uma vez capaz de identificar diferenças no desenvolvimento da cultura em campo, entretanto a resolução temporal e a ocorrência de sombreamento de nuvens foram fatores que prejudicaram sua aplicação.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos proprietários e ao gerente da Fazenda Porto Alegre pela disponibilização dos dados, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de iniciação científica da autora e à Universidade Federal da Paraíba.

## REFERÊNCIAS

ABOUTALEBI, M.; TORRES-RUA, A. F.; KUSTAS, W. P.; NIETO, H.; COOPMANS, C.; MCKEE, M. Assessment of different methods for shadow detection in high-resolution optical imagery and evaluation of shadow impact on calculation of NDVI, and evapotranspiration. **Irrigation Science**, 2019. 37:407-429. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00271-018-0613-9>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO (ABRAPA). **Algodão no Brasil**. Disponível em <<https://www.abrapa.com.br/Paginas/Dados/Algod%C3%A3o%20no%20Brasil.asp>>. Acesso em: 25 mai. 2023.

AL-GAADI, K. A.; HASSABALLA, A. A.; TOLA, E.; KAYAD, A. G.; MADUGUNDU, R.; ALBLEWI, B.; ASSIRI, F. Prediction of Potato Crop Yield Using Precision Agriculture Techniques. **PLOS ONE**, v. 11, n. 9, p. e0162219, 9 set. 2016. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0162219>>. Acesso em: 20 abr. 2023.

BASTIAANSSEN, W. G. M.; ALLI, S. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin Pakistan. **Agriculture**

**Ecosystems e Environment**, v 94, p. 321-340, 2003. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00034-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00034-8)>. Acesso em: 20 abr. 2023.

BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S.; COELHO FILHO, M. A.; SILVA, T. S. M.; PAMPONET, B. M. Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.74-80, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/jBFvhD6zLNKbDTPQ4wzJQ8N/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2023.

BRANDAO, Z. N.; ZONTA, J. H.; SHIRATSUCHI, L. S. Sensoriamento remoto na cultura do algodão. In: TULLIO, L. (Org.). Aplicações e princípios do sensoriamento remoto. Ponta Grossa: **Atena Ed.**, 2018. cap. 19, p. 209-224. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1107149?locale=en>>. Acesso em: 20 abr. 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 7, safra 2019/20, n. 12 décimo segundo levantamento, setembro. 2021. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/14173-12-levantamento-safra-2019-20>>. Acesso em: 20 mai. 2022.

DANCEY, C. P.; REIDY, J. Estatística sem matemática para psicologia: usando SPSS para Windows. Porto Alegre. **Artmed**. 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.15329/0104-5393.20190015>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

GOBBO, S.; LO PRESTI, S.; MARTELLO, M.; PANUNZI, L.; BERTI, A.; MORARI, F. Integrating SEBAL with in-Field Crop Water Status Measurement for Precision Irrigation Applications-A Case Study. **Remote Sensing**, v.11, n.17, p.2069, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs11172069>>. Acesso em: 02 abr. 2023.

GONIAS, E. D.; OOSTERHIUS, D. M.; BIBI, A. C.; ROBERTS, B. A. Radiation Use Efficiency of Cotton in Contrasting Environments. **American Journal of Plant**

**Sciences**, Vol. 3 No. 5, 2012, pp. 649-654. Disponível em: <<https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=19523>>. Acesso em: 10 mai. 2023.

GUTIERREZ, M.; NORTON, R.; THORP, K. R.; WANG, G. Association of spectral reflectance indices with plant growth and lint yield in upland cotton. **Crop Science**,

v.52, p. 849-857, 2012. Disponível em: <<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci2011.04.0222>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

HE, M.; KIMBALL, J. S.; MANETA, M. P.; MAXWELL, B. D.; MORENO, A.; BEGUERÍA, S.; WU, X. Regional Crop Gross Primary Productivity and Yield Estimation Using Fused Landsat-MODIS Data. **Remote Sensing**, v.10, p.372, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs10030372>>. Acesso em 20 de mai. 2023.

INMET. **Normais Climatológicas do Brasil**, 2021. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em 22 abr. 2022.

IQBAL, M.; KHAN, M. A.; CHATTHA, W. S. (2020). Developing short-season cotton genotypes with high harvest index might be an advantageous option under late duration plantings. **Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization**, (), 1-6. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/S1479262120000106>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

JONES, J. R., FLEMING, C. S., PAVULURI, K., ALLEY, M. M., REITER, M. S., THOMASON, W. E. Influence of soil, crop residue, and sensor orientations on NDVI readings. **Precision Agriculture**, 16(6), 690-704. 2015. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-015-9402-0>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

LAIPELT, L. et al. Long-term monitoring of evapotranspiration using the SEBAL algorithm and Google Earth Engine cloud computing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 178, 2021, p. 81-96, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.05.018>>. Acesso em: 20 abr. 2023.

LIU, H.; DAHLGREN, R. A.; LARSEN, R. E.; DEVINE, S. M.; ROCHE, L. M.; O' GEEN, A. T.; WONG, A. J. Y.; COVELLO, S.; JIN, Y. Estimating Rangeland Forage Production Using Remote Sensing Data from a Small Unmanned Aerial System (sUAS) and PlanetScope Satellite. **Remote**



**Sensing**, v.11, p.595, 2019. Disponível em <<https://doi.org/10.3390/rs11050595>>. Acesso em: 10 abr. 2023.

MESHESHA, D. T., AHMED, M M., ABDI, D. Y., HAREGEWEYN, N. Prediction of grass biomass from satellite imagery in Somali regional state, eastern **Ethiopia**. *Helyon*, v. 6, p. 5272, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05272>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

MONTEITH, J. L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 9, n. 3, p. 747-766, 1972. Disponível em <<https://doi.org/10.2307/2401901>>. Acesso em: 01 abr. 2023.

MOSLEH, M. K.; HASSAN, Q. K.; CHOWDHURY, E. H. Development of a remote sensing-based rice yield forecasting model. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 14, n. 3, p. 0907, 31 ago. 2016. Disponível em: <[https://www.ucalgary.ca/sites/default/files/teams/40/033.Mosleh\\_et\\_al\\_SJAR\\_16.pdf](https://www.ucalgary.ca/sites/default/files/teams/40/033.Mosleh_et_al_SJAR_16.pdf)>. Acesso em: 20 mai. 2023.

OLIVEIRA, R. F. Estimativa da produtividade do algodoeiro a partir de índices de vegetação derivados de imagens orbitais de alta resolução espacial. 2019. **Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)**. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual De Pesquisas Em Sensoriamento Remoto E Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/201710>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

PATEL, N. R.; DADHWAL, V. K.; SAHA, S. K.; GARG, A.; SHARMA, N. Evaluation of Modis data potential to infer water stress for wheat NPP estimation. **Topical Ecology**, v.51, p.93-105, 2010. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/202179470\\_Evaluation\\_of\\_MODIS\\_data\\_potential\\_to\\_infer\\_water\\_stress\\_for\\_wheat\\_NPP\\_estimation](https://www.researchgate.net/publication/202179470_Evaluation_of_MODIS_data_potential_to_infer_water_stress_for_wheat_NPP_estimation)>. Acesso em: 10 abr. 2023.

QUIAN, L.; CHEN, X.; WANG, X.; HUANG, S.; LUO, Y. The Effects of Flood, Drought, and Flood Followed by Drought on Yield in Cotton. **Agronomy** .2020, 10, 555. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/agronomy10040555>>. Acesso em: 18 abr. 2023.

SEI, 2021. **Tipologia Climática Koppen**. Disponível em: <[http://www.sei.ba.gov.br/site/geoambientais/mapas/pdf/tipologia\\_climatica\\_segundo\\_koppen\\_2014.pdf](http://www.sei.ba.gov.br/site/geoambientais/mapas/pdf/tipologia_climatica_segundo_koppen_2014.pdf)>. Acesso em: 10 mai. 2023.

SHAMMI, S. A.; MENG, Q. Use time series NDVI and EVI to develop dynamic crop growth metrics for yield modeling. **Ecological Indicators**, v. 121, p. 107124, 1 fev. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107124>>. Acesso em: 18 abr. 2023.

TAO, F.; YOKOZAWA, M.; ZHANG, Z.; XU, Y.; HAYASHI, Y. Remote sensing of crop production in China by production efficiency models: models comparisons, estimates and uncertainties. **Ecological Modelling**, v.183, p.385-396, 2005. Disponível em <[https://www.academia.edu/32479799/Remote\\_sensing\\_of\\_crop\\_production\\_in\\_China\\_by\\_production\\_efficiency\\_models\\_models\\_comparisons\\_estimates\\_and\\_uncertainties](https://www.academia.edu/32479799/Remote_sensing_of_crop_production_in_China_by_production_efficiency_models_models_comparisons_estimates_and_uncertainties)>. Acesso em: 20 abr. 2023.

VIAN, A. L.; SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; SIMON, D. H.; DAMIAN, J. M.; BREDEMEIER, C. Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.46, n.3, p.464-471, mar, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20150539>>. Acesso em: 20 abr. 2023.

YANG, Y.; ANDERSON, M. C.; GAO, F.; JOHNSON, D. M.; YANG, Yun.; SUN, L.; DULANEY, W.; HAIN, C. R.; OTKIN, J. A., PRUEGER, J.; MEYERS, T. P.; BERNACCHI, C. J.; MOORE, C. E. Phenological corrections to a field-scale, ETbased crop stress indicator: An application to yield forecasting across the U.S. Corn Belt. **Remote Sensing of Environment**, v. 257, p. 112337, 1 mai. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112337>>. Acesso em: 20 abr. 2023.

# **VARIABILIDADE DOS ASPECTOS FÍSICOS DO SOLO EM ÁREA DE PRODUÇÃO DE MILHO NO SEMIÁRIDO SERGIPANO**

**Alexandre Emanuel Santos Portela**<sup>1</sup>; **Bruno Silva dos Santos**<sup>3</sup>; **Lucas Raphael Almeida**<sup>1</sup>; **Adrielly de Andrade Menezes**<sup>1</sup>; **Matheus Santana Dantas dos Santos**<sup>1</sup>; **Ially Silva Santos**<sup>1</sup>; **Rafael Barros Santos**<sup>3</sup>; **Luana Paes Aragão**<sup>1</sup>; **Claudio Henrique Bomfim Carvalho**<sup>1</sup>; **José Jairo Florentino Cordeiro Junior**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bolsista. Av. Vinte e Seis de Setembro, Nossa Senhora da Glória/SE. Universidade Federal de Sergipe;

<sup>2</sup>Docente. Av. Vinte e Seis de Setembro, Nossa Senhora da Glória/SE. Universidade Federal de Sergipe;

<sup>3</sup>Engenheiro Agrônomo. Av. Vinte e Seis de Setembro, Nossa Senhora da Glória/SE. Universidade Federal de Sergipe

## **RESUMO**

A região semiárida do nordeste brasileiro é caracterizada por curtos períodos de chuva e de alta intensidade, o que contribui para a ocorrência de processos erosivos do solo. Seguindo nesse contexto, pode-se mapear zonas que necessitem de manejo específico que possibilitem a inserção de práticas conservacionistas. Este trabalho objetiva avaliar a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo em área de cultivo de milho. O experimento foi conduzido na fazenda experimental da Embrapa - Semiárido, no município de Nossa Senhora da Glória - SE, no ano agrícola 2022, onde a área de estudo é utilizada para o cultivo de milho. Foram coletadas 80 amostras de solo nas profundidades de 0 a 20 e de 20 a 40 cm, sendo elas do tipo deformada. Por fim, os dados foram submetidos a análise geoestatística, realizada pelo software QGIS versão 3.22.8 pelo método de krigagem, já a estatística descritiva foi feita pelo programa Microsoft Excel, onde possibilitaram analisar a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo. Observou-se que os coeficientes de variação de 12 a 64,09%, além disso, notou-se que frações mais finas do solo como argila e silte influenciaram na condutividade hidráulica da área de estudo. Os teores de areia e silte no solo possuem alto grau de dependência espacial com a profundidade do solo. A densidade do solo da área de estudo aumenta com o aumento da profundidade do solo. Portanto, é notável que mesmo em áreas pequenas existe significativa variabilidade espacial dos atributos físicos do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dependência espacial; Geoestatística; Krigagem;;

## **INTRODUÇÃO**

A região semiárida do Nordeste brasileiro, conta com uma variabilidade de condições edafoclimáticas, isso contribui para a formação de diversos tipos de solo (MEDEIROS SILVA et al., 2019). Seguindo nesse contexto, Montenegro et al. (2020) apontaram que os solos da região semiárida do Nordeste possuem fatores limitantes quanto a sua capacidade de armazenamento de água, como também alta suscetibilidade a erosão, isso porque em sua maioria são rasos, além disso a região possui regime pluviométrico irregular fazendo com que haja a ocorrência de chuvas de alta intensidade em curto período. O manejo inadequado dos solos da região semiárida, causa perdas na produção e desperdício dos recursos naturais, tal ação é responsável por comprometer as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (SANTOS et al., 2018).

Nos dias atuais, busca-se cada vez mais aumentar a produção de alimentos, energia, produtos derivados e não derivados da madeira, isso de acordo com o que os recursos naturais podem oferecer e suportar, com foco especial no solo e na água (ASSIS et al. 2019). Diante disso, é importante implementar técnicas que visem a conservação desses recursos, que viabilizem essa demanda sem gerar danos, assim, através do mapeamento dos atributos físicos do solo é possível zonear regiões sujeitas a processos erosivos, haja visto que possibilita adotar práticas de manejo conservacionista (ALVES et al. 2021).

Silva et al. (2010) ponderaram que a variabilidade espacial dos solos é resultado de processos pedogenéticos e que pode ser verificada por meio de resultados dos levantamentos e análises, como também por diferenças visualizadas nas plantas. Com isso, Almeida e Guimarães (2017), reforçaram

que o tipo de uso e manejo são causas adicionais de variabilidade, visto que o solo está naturalmente predisposto à variação de suas propriedades físico-químicas no espaço e no tempo, condicionado pela interação entre pedologia, topografia e clima (ARAÚJO et al. 2018).

Nesse sentido, a geoestatística possibilita avaliar a variabilidade espacial dos atributos do solo, observando variáveis regionalizadas que possibilitam definir a dependência espacial e o grau de correlação de cada variável em um determinado local (BRITO FILHO et al. 2018). As duas técnicas que são usadas com frequência na geoestatística é o semivariograma e a krigagem (SILVA et al. 2020) . Ferrari et al. (2018) acrescentam que análises espaciais do solo que representam seu comportamento são fundamentais para realizar ações de manejo.

De acordo com Lafeté et. al. (2022), a krigagem é o processo de interpolação mais difundido no país, sendo os métodos de krigagem simples e ordinária os mais utilizados. Ainda sobre o mesmo autor, a krigagem é um processo promissor para obtenção de um planejamento amostral eficiente com ênfase na análise textural dos solos, o que vem como ferramenta de auxílio da agricultura de precisão. As análises espaciais do solo são importantes para a adoção de ações de manejo (FERRARI et. at. 2018). Dessa forma, estudar os atributos físicos do solo da área estudada é importante, visto que possibilita analisar condições e adotar estratégias de manejo específico.

## **OBJETIVOS**

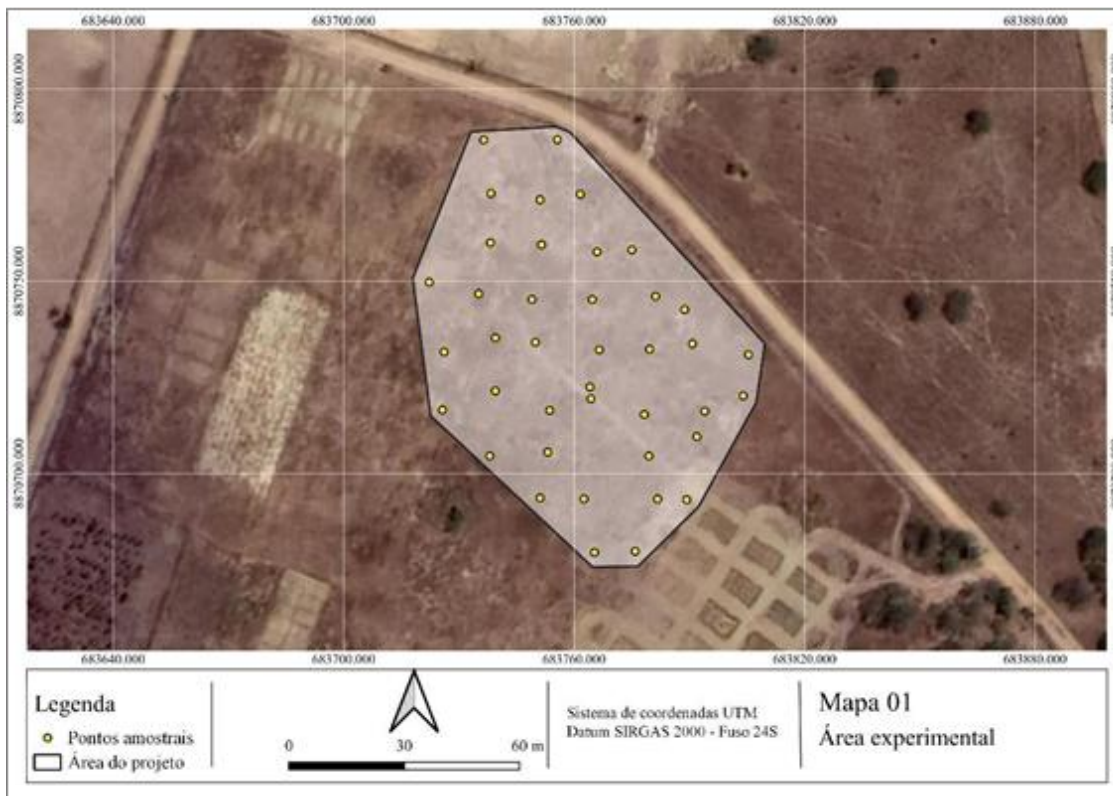
O presente trabalho teve por objetivos, avaliar e caracterizar a variabilidade da umidade do solo e de sua granulometria na área de cultivo de milho.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzindo na área da fazenda experimental da Embrapa - Semiárido, no município de Nossa Senhora da Glória - SE, no ano agrícola 2022. A área destinada para o projeto foi de 0,7 hectares (Figura 01). O clima predominante na região, segundo Köppen, é do tipo semiárido (As), com temperatura variando entre 23,0 e 26,2°C e média anual de 21,8°C. A precipitação média anual é de 829 mm, com o período chuvoso situado entre os meses de abril a julho (Alvares et al., 2013).

Foram coletadas amostras de solo deformadas no dia 15 de fevereiro de 2022. Foi utilizada uma malha amostral de 10 x 10 metros, na qual foram coletadas 40 amostras na profundidade de 0 a 20 cm e no mesmo ponto amostral, mais 40 amostras de 20 a 40 cm, totalizando 80 amostras. Os pontos amostrais foram demarcados com o uso do aplicativo para smartphone Amostra de Solo<sup>®</sup>.

Figura 01. Localização da área experimental na Embrapa Semiárido, no município de Nossa Senhora da Glóris-SE



Fonte: Autor (2022).

As amostras de solo foram levadas para o laboratório de análise de água e solo da UFS Campus do Sertão. No laboratório, as amostras de solo foram processadas para realização das análises de umidade do solo (U), densidade do solo (Ds) e os teores de areia, silte e argila, conforme metodologia da EMBRAPA (2017). A umidade do solo (U) foi mensurada pelo método gravimétrico, onde inicialmente foram pesadas subamostras de solo em cadinhos de alumínio para obtenção do peso úmido, em seguida foram submetidos a temperatura de 105 °C dentro da estufa, onde ficaram secando por 48 horas, após isso foi feita uma nova pesagem. Os valores de peso seco e úmido foram salvos em planilhas no Software Microsoft Excel e os resultados de umidade foram calculados através da fórmula:

$$CGA = \left( \frac{a - b}{b} \right) * 100$$

Em que:

CGA - conteúdo gravimétrico de água (umidade em base gravimétrica), em %;

a - massa da amostra úmida, em g;

b - massa da amostra seca a 105 °C até atingir peso constante, em g.

Após a obtenção da umidade, foi determinada a densidade do solo através do método do torrão parafinado em que foram utilizadas as equações a seguir (EMBRAPA 2011):

$$P_{tor} = \left( \frac{mtu}{1 + b} \right)$$

$$P_{parafina} = (mtp - mtor)$$

$$V_{parafina} = \frac{P_{parafina}}{0,9}$$

$$V_{tor} = ((Va - Vat) - V_{parafina})$$

$$Ds = \frac{P_{tor}}{V_{tor}}$$

Onde:

$P_{tor}$  - massa do torrão seco a 105°C, em kg;

$mtu$  - massa do torrão úmido, em kg;

$b$  - umidade da subamostra, em  $\text{kg kg}^{-1}$ ;

$P_{parafina}$  - massa da parafina, em kg;

$V_{parafina}$  - volume da parafina, em  $\text{dm}^3$ ;

$mtp$  - massa do torrão parafinado, em kg;

$mtor$  - massa do torrão seco ao ar, em kg;

$V_{tor}$  - volume do torrão, em  $\text{dm}^3$ ;

$V_a$  - volume total de água do béquer, em  $\text{dm}^3$ ;

$V_{at}$  - volume de água adicionado ao béquer com o torrão, em  $\text{dm}^3$ ;

$V_{parafina}$  - volume da parafina, em  $\text{dm}^3$ .

De posse dos dados, foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de probabilidade, para verificar a normalidade dos dados, calculado com auxílio do software Excel, por meio da equação:

$$D_{K-S} = \max_{1 \leq i \leq N} \left( F(Y_i) - \frac{i-1}{N}, \frac{i}{N} - F(Y_i) \right)$$

Em que:

$D$  - valor máximo da distribuição normal;

$F$  - dados estatísticos;

$F(Y_i)$  - é a distribuição cumulativa teórica da distribuição que está sendo testada.

A variação dos atributos do solo foi avaliada por meio do coeficiente de variação (CV), conforme os limites propostos por Warrick & Nielsen (1980), em que se admite baixa variabilidade ( $CV < 12\%$ ),

média (12% < CV < 24%) e alta (CV > 24%). A variabilidade espacial dos atributos físicos do solo foi determinada por meio da semivariância  $\gamma(h)$ , de acordo com a equação a seguir:

$$\gamma = \left( \frac{1}{2N(h)} \right) \sum [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

Em que:

$\gamma$  - é a semivariância experimental, obtida pelos valores amostrados;

$N(h)$  - é o número de pares de valores medidos;

$h$  - é a distância entre pontos amostrais;

$Z(x_i)$  e  $Z(x_i+h)$  - são os valores da  $i$ -ésima observação da variável regionalizada.

O grau de dependência espacial (GDE) será determinado conforme Cambardella et al. (1994), que sugerem que a relação entre a porcentagem do efeito pepita ( $C_0$ ) e o patamar ( $C_0 + C_1$ ) apresentem dependência forte (<25%), dependência moderada (entre 25 e 75%) e dependência fraca (>75%).

As análises geoestatísticas dos atributos do solo foram feitas no software Qgis Desktop 3.22.8, a interpolação dos dados pelo método de krigagem, para confecção dos mapas com uso da ferramenta Smart-map e a validação dos semivariogramas gerados através do software supracitado.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os atributos estudados foram submetidos ao teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, a 5 % de probabilidade, onde não foi observada significância em nenhum dos resultados.

A área de estudo apresenta valores médios de granulometria semelhantes nas duas profundidades estudadas, no entanto, não se pode levá-los em consideração para determinar a textura média do solo, isso pode ser observado nos resultados de desvio padrão que são elevados. Oliveira et. al. (2019) afirmam que o desvio padrão expressa o grau de dispersão de um conjunto de dados, em outras palavras, ele é um indicador de uniformidade, em que, quanto mais próximo de zero maior será a precisão, dessa forma como pode ser observado na Tabela 1, pode-se afirmar que não há uniformidade entre os valores de granulometria do solo, pois os valores estão muito distantes de 0.

Tabela 1. Relação aos atributos do solo Areia ( $g\ kg^{-1}$ ), Argila ( $g\ kg^{-1}$ ), Silte ( $g\ kg^{-1}$ ), Densidade do solo ( $kg\ dm^{-3}$ ) e Umidade do solo (%) em área de produção de milho no Semiárido Sergipano.

Estatística	Areia	Argila	Silte	Densidade do solo	Umidade do solo
Profundidade de 0 a 20 cm					
Média	522,98	275,1	171,92	1,61	3,34
Mediana	566,78	254,32	207,06	1,6	3,21
<sup>1</sup> DP	63,59	112,93	89,06	0,19	1,14
2CV	12	41	52	12	34

Curtose	0,56	-0,98	-1,41	8,47	3,48
3As	-0,93	0,38	-0,41	0,16	1,62
4KS	0,80	0,86	0,77	0,93	0,90
Profundidade de 20 a 40 cm					
Média	469,40	386,31	144,29	2	6,30
Mediana	501,24	386,31	150,52	1,92	4,41
<sup>1</sup> DP	106,41	154,17	92,47	0,57	3,41
2CV	22,67	39,91	64,09	28,66	54,21
Curtose	-0,04	-1,18	-1,67	29,34	-0,40
3As	-0,90	0,06	-0,13	0,16	0,93
<sup>4</sup> KS	0,88	0,85	0,77	0,79	0,85

<sup>1</sup>DP: Desvio padrão; <sup>2</sup>CV: Coeficiente de variação (%); 3As: assimetria; <sup>4</sup>KS: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, \* significativo a 5 % de probabilidade.

Diante dos resultados expostos na Tabela 1, observa-se que a quantidade de silte nas duas profundidades estudadas foi inferior as de areia e argila, o mesmo resultado foi observado por Chaves et al. (2021), onde foi observado a média da fração silte foi de 197,3 g kg<sup>-1</sup> em um Argissolo sob uma floresta de eucalipto. Diante dos resultados, pode-se afirmar que o solo da área varia de textura média a franco argilo arenoso.

O desvio padrão para os atributos granulométricos do solo foram altos e variaram de 63,59 a 154,17, no entanto para os atributos densidade e umidade foram baixos, o que significa que os valores observados nas amostras estão próximos. Além do desvio padrão, outro indicador de uniformidade dos dados é o coeficiente de variação (CV) dado em porcentagem (%), em que se pode observar maior precisão dos dados quando o resultado se aproxima de zero. Logo, a precisão de uma avaliação pode ser avaliada pelo CV e quanto menor, maior a homogeneidade dos dados (BANZATTO & KRONKA, 2006).

Soares et al. (2018) em seu trabalho sobre "Variabilidade espacial da estabilidade dos agregados e matéria orgânica do solo em terra preta arqueológica sob pastagem", utilizou o CV, afirmando que quanto maior o seu valor maior será a variação entre o atributo e a média. Como observado na Tabela 1, o coeficiente de variação de cada atributo estudado foi superior a 12%, sendo esse resultado observado para a fração de areia g kg<sup>-1</sup> e densidade do solo kg dm<sup>-3</sup> na profundidade de 0 a 20 cm. Em contrapartida, o maior CV foi de 64,09% para o atributo silte. Esses resultados se assimilam com os de Cornélio et al. (2021), que afirmaram que as variações do CV podem estar relacionadas com o tipo de manejo do solo da área, o solo do presente trabalho, foi submetido ao passar dos anos pelo preparo convencional do solo com uso de grade aradora e niveladora.

Os valores de assimetria de Person para os atributos estudados variaram de moderada a forte, em que Silva et al. (2015), consideraram que se  $0,15 < |A_s| < 1$ , a assimetria ( $A_s$ ) é considerada moderada, se  $|A_s| > 1$ , a assimetria é considerada forte.

Os resultados do coeficiente de curtose observados para os atributos estudados, demonstram o quanto os valores estão concentrados em uma curva de frequência. Quando o resultado é maior que 3 (SILVA



et al., 2015) essa curva é do tipo curva leptocúrtica em que os valores de distribuição apresentaram uma curva de frequências mais fechada que a da distribuição normal, sendo as variáveis de densidade e umidade na profundidade de 0 a 20 cm sendo deste tipo, além dessas, na profundidade de 20 a 40 cm para a variável densidade também foi observada o mesmo tipo de curva. Por sua vez, as demais variáveis apresentaram curva do tipo platicúrtica sendo que a distribuição apresentou uma curva de frequência mais aberta que a da distribuição normal, em que se admite um valor menor que 3, conforme afirmam os autores supracitados.

Os valores e modelos de semivariogramas e validação cruzada são apresentados na Tabela 2, que contém os modelos matemáticos que melhor explicam os resultados, para isso foram considerados os modelos que possuem maior  $r^2$ , que para o estudo variam de 0,11 a 0,96. O atributo silte possui  $r^2$  de valores muito próximos 0,92 e 0,91, respectivamente. Por outro lado, o maior  $r^2$  foi observado no atributo argila sendo ele 0,96, já o menor foi no atributo umidade com 0,11, ambos na profundidade de 0 a 20 cm.

Tabela 2. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais em relação aos valores de Areia ( $g\ kg^{-1}$ ), Argila ( $g\ kg^{-1}$ ), Silte ( $g\ kg^{-1}$ ), Densidade do solo ( $kg\ dm^{-3}$ ) e Umidade do solo (%).

Parâmetros	Areia	Argila	Silte	Densidade do solo	Umidade do solo
	Profundidade de 0 a 20 cm				
Modelo	Spherical	Gaussian	Gaussian	Linear	Linear
<sup>1</sup> (C0)	14,49	1,57	2,89	0,03	1,52
<sup>2</sup> (C0+C1)	43,89	128,87	81,53	0,04	1,4
<sup>3</sup> a (m)	25,25	31,14	33,78	53,46	39,9
<sup>4</sup> GDE	33,02	1,21	3,55	66,67	108,95
<sup>5</sup> r <sup>2</sup>	0,57	0,96	0,92	0,59	0,11
Profundidade de 20 a 40 cm					
Modelo	Gaussian	Linear to Sill	Linear to Sill	Linear to Sill	Spherical
<sup>1</sup> (C0)	0	76,88	0	0,11	8,86
<sup>2</sup> (C0+C1)	114,93	243,22	87,65	0,38	11,49
<sup>3</sup> a (m)	15,41	25,31	25,67	64,18	25,22
<sup>4</sup> GDE	0	31,61	0	28,04	77,09
<sup>5</sup> r <sup>2</sup>	0,45	0,81	0,91	0,93	0,34

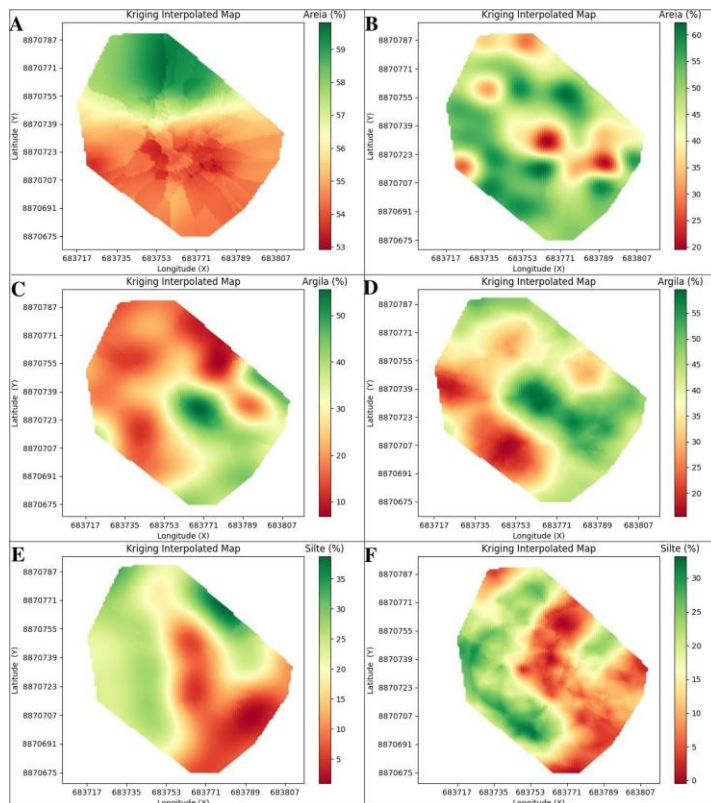
<sup>1</sup>(C0): efeito pepita; <sup>2</sup> (C0+C1): patamar; <sup>3</sup>a (m): alcance; <sup>4</sup>GDE: grau de dependência espacial; <sup>5</sup>r<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.

Observa-se que o grau de dependência espacial é heterogêneo, variando de forte a fraca. Diante do exposto na Tabela 2, verifica-se que o GDE é forte <25% para o atributo silte nas duas profundidades estudadas, já para o atributo umidade na profundidade de 0 a 20 cm, GDE foi fraco >75%, para tanto

é possível visualizar que a mais da metade dos atributos do solo possuem GDE moderada  $25 < GDE < 75\%$ .

Como observado na figura 2, nota-se a presença predominante da fração areia nas duas profundidades estudadas, esse mesmo resultado também foi observado por Alves et. al. (2021). Diante disso, é possível observar que mesmo essa fração sendo maior que as de argila e silte, ela diminui com o aumento da profundidade, sendo observado a elevação das frações de argila e silte.

Figura 2. Mapa interpolado de krigagem para granulometria (%) do solo. A, C e E referem-se aos atributos areia, argila e silte na profundidade de 0 a 20 cm. B, D e F referem-se aos atributos areia, argila e silte na profundidade de 20 a 40 cm.

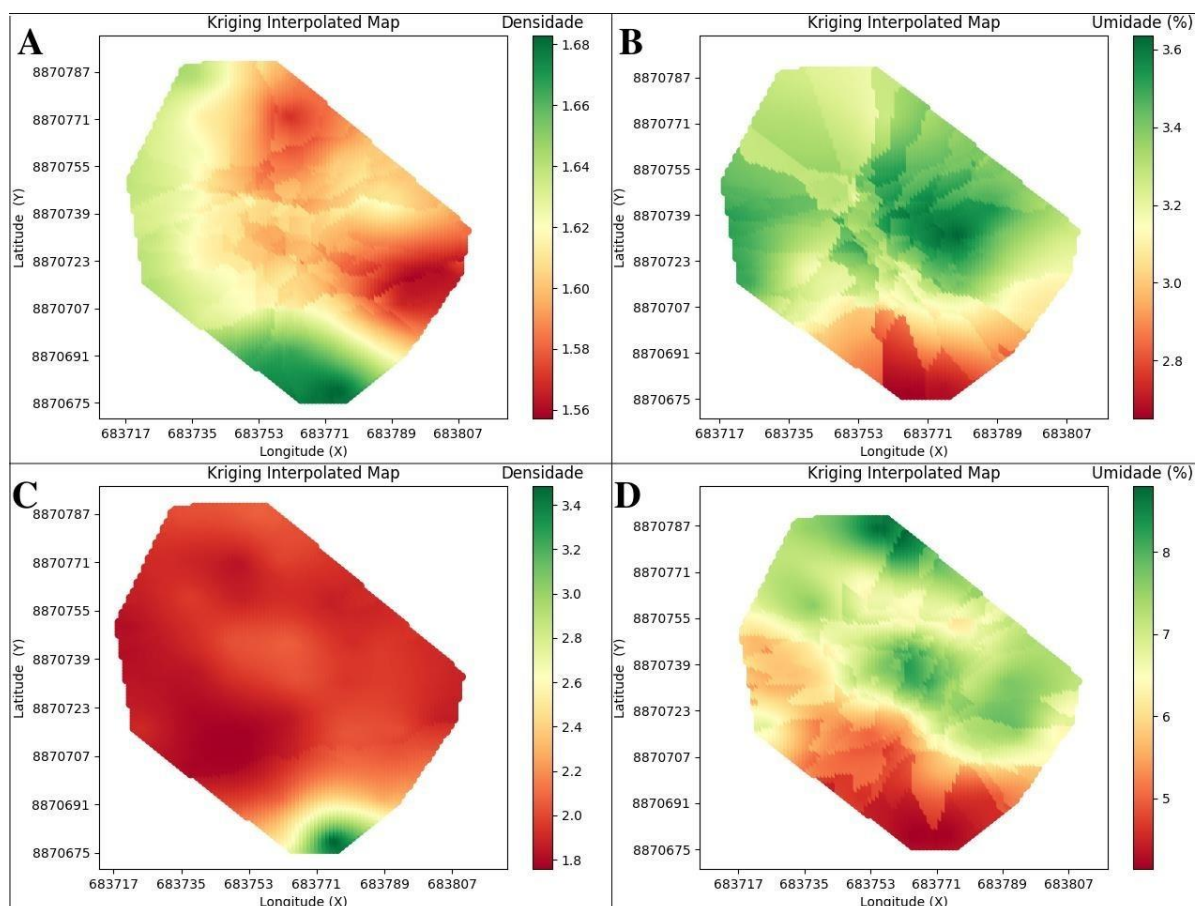


Por sua vez, ao comparar a Figura 2 e 3 é possível observar que existe uma relação entre a umidade e a densidade, sendo que quando a densidade é maior a umidade tende a ser menor.

Comparando a Figura 2A e C com a 3B e D, é possível observar que nas áreas onde foram observadas maiores concentrações de areia, a umidade caiu, Almeida Júnior et al. (2020) em seu estudo sobre "Taxa de infiltração de água no solo em diferentes usos do solo" observaram que em solos com característica arenosa a taxa de infiltração de água no solo é maior quando comparados a solos argilosos.

De acordo com a Figura 3A e C, observa-se que a densidade do solo é maior conforme a profundidade aumenta, resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2020) e Ferrari et. at. (2018), em que afirmaram que a densidade do solo aumenta de forma crescente, ao ponto que a profundidade aumenta do solo.

Figura 3. Mapa interpolado de krigagem para Densidade ( $\text{kg dm}^{-3}$ ) e Umidade (%) do solo, respectivamente. A e B para a profundidade de 0 a 20 cm. C e D para a profundidade de 20 a 40 cm.



Diante dos resultados obtidos nas duas profundidades, observa-se os teores de água no solo tendem a serem maiores no centro dos mapas Figura 3B e D. Desse modo, tal resultado condiz com o encontrado por Alves et al. (2021) e Santos et al. (2018), em que afirmaram que quanto maior a quantidade de silte menor será a condutividade hidráulica, esse efeito pode ser mais bem observado quando se compara as figuras 2E e F com as 3B e D.

## CONCLUSÃO

De acordo com os resultados encontrados, afirma-se que embora a área do experimento seja pequena, totalizando 0,7 hectares, existe a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo, tal conclusão é obtida através do uso de ferramentas de geostatística, utilizadas no presente trabalho.

O grau de dependência espacial foi heterogêneo, onde variou de forte a fraco nos atributos estudados, e foi constatada que mais da metade desses atributos possuem dependência espacial moderada.

A granulometria do solo influencia na condutividade hidráulica, sendo a fração argila responsável por esse evento.

## AGRADECIMENTOS

Embrapa Semiárido de Sergipe, UFS - Campus dos Sertão e Departamento de Engenharia Agrônoma do Sertão (DEAS).

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA JÚNIOR, M. C. D. et al. Taxa de infiltração de água no solo em diferentes usos do solo. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, Rio Verde, v. 26, n. 2, jun. 2020. Disponível em:

<https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/JBB/article/view/8288/16935>. Acesso em: 21 jan. 2015.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, São Paulo, SP, v. 22, n. 6, jan. 2013. Disponível em: [http://143.107.18.37/material/mftandra2/ACA0225/Alvares\\_et\\_al\\_Koppen\\_climate\\_classBrazil\\_Met eoZei\\_2014.pdf](http://143.107.18.37/material/mftandra2/ACA0225/Alvares_et_al_Koppen_climate_classBrazil_Met eoZei_2014.pdf) . Acesso em: 02 ago. 2023.

ARAÚJO, D. C. S. et al. Variabilidade espacial de atributos de solo em uma bacia experimental do Semiárido pernambucano, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, PB, v. 22, n. 1, nov. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/L95JGHHzbvGZQ66Qrkwdmfr/?format=pdf&lang=en> . Acesso em: 02 ago. 2023.

ASSIS, P. C. R. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *Agrarian*. Dourados, MS, v. 12, n. 43, abr. 2019. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/8520/5306> . Acesso em: 02 ago. 2023.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field?scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil science society of America journal*, v. 58, n. 5, set. 1994. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x> . Acesso em: 13 ago. 2023.

CHAVES, Estéfane et al. Propriedades físicas de um Argissolo após 17 anos de florestamento com *Eucalyptus* spp. *Research, Society and Development*. Arroio dos Ratos, RS, v. 10, n. 5, mai. 2021. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/253350/001153061.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 ago. 2023.

CORNÉLIO, V. L. et al. Métodos de posicionamento para a determinação da variabilidade espacial de atributos do solo. *Revista Brasileira Multidisciplinar*. Ceres, GO, v. 24, n. 3, set. 2021. Disponível em: <https://revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/943> . Acesso em: 13 ago. 2023.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2. Rio de Janeiro - Embrapa Solos, 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/990374/1/ManualdeMtodosdeAnilisedeSolo.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2023.

SILVA, J. L. C. et al. *Matemática: Estatística e Probabilidade*. 3ª Edição. Fortaleza - Ceará. EdUECE, 2015.

FERRARI, J.M.S. et al. Análise da variabilidade espacial da resistência à penetração do solo em diferentes profundidades. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*. Espírito Santo do Turvo, SP, v. 12, n. 2, jun. 2018. Disponível em: <http://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/661/371>. Acesso em: 13 ago. 2023.

INSTITUTO DE GEOGRAFIA DA UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Variabilidade espacial e análise multivariada dos atributos físicos do solo em uma microbacia do rio pandeiros. Montes Claros, mar. 2021. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/40190/38628> . Acesso em: 08 ago. 2023.

LAFETÁ, Bruno Oliveira Lafetá et al. Dependência espacial e krigagem para a estimativa textural de solos em São João Evangelista. *ForScience*. São João Evangelista, MG. v. 10, n. 1, jan./jun.

2022. Disponível em:

<http://www.forscience.ifmg.edu.br/forscience/index.php/forscience/article/view/1081/392>. Acesso em: 13 ago. 2023.

MARTINS, E. L. et al. Efeitos da variabilidade espacial da densidade do solo e fração grosseira na estimativa dos estoques de nutrientes em solo degradado. *Braz. J. of Develop.*, Curitiba, v. 5, n. 12, dez. 2019. Disponível em:

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/5241/4776>. Acesso em: 13 ago. 2023.

MEDEIROS SILVA, W. T. et al. Levantamento da textura do solo e da relação silte/argila em regiões semiáridas do Nordeste. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 14, n. 4, p. 266-272, 2019.

MONTENEGRO, A. A. A. et al. Impacto de métodos naturais para conservação de água e solo no semiárido brasileiro. *Fave. Sección ciencias agrarias, Pesqueira, PE*. v. 19, n. 2, fev. 2020.

Disponível em : <http://www.scielo.org.ar/pdf/fave/v19n2/1666-7719-fave-19-02-45.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2023.

OLIVEIRA, C. G. et al. Desvio padrão e imprecisão de leitura: Paquímetro. *Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - SERGIPE, Aracaju, SE*, v. 5, n. 3, out. 2019. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/7644/3636>. Acesso em: 13 ago. 2023.

SILVA, C. S. et al. Análise multivariada e geoestatística no estudo da distribuição espacial de atributos do solo e da vegetação. *Silvicultura e Manejo Florestal: Técnicas de Utilização e Conservação da Natureza*. Rio de Janeiro, 2020. P. 1-15. Disponível em:

<https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/201202646.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2023.

SILVA, J. L. C. et al. *Matemática: Estatística e Probabilidade*. 3ª Edição. Fortaleza - Ceará. EdUECE, 2015.

SILVA, L. I. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de terra preta de índio sob pastagem (*Brachiaria brizanta* sp. L.) em Novo Aripuanã, Amazonas, Brasil. *Research, Society and Development*, Novo Aripuanã, AM, v. 9, n. 9, ago. 2020. Disponível em:

<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/6794/6700>. Acesso em: 13 ago. 2023.

SILVA, S. A. et al. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo1. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, CE, v. 41, n. 1, jan/mar. 2010. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rca/a/bQ6PwXyBWdZVc3sWbJmdKTD/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13 ago. 2023.

SOARES, M. D. R. et al. Variabilidade espacial da estabilidade dos agregados e matéria orgânica do solo em terra preta arqueológica sob pastagem. *Gaia Scientia*, Manicoré, AM, v. 12, n. 2, jun. 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/gaia/article/view/34416/20286>.

Acesso em: 14 ago. 2023.

WARRICK, A. W. & NIELSEN, D.R. Variabilidade Espacial de Propriedades Físicas do Solo no Campo. In: Hillel, D., Ed., **Applications of Soil Physics**, Academic Press, Nova York. 1980.

## **identificação das zonas de conflito entre áreas de preservação e as atividades antrópicas da bacia hidrográfica do açude aroeiras-ce**

**Erika Roanna da Silva**<sup>1</sup>; **Aloys Edilon Epondina**<sup>2</sup>; **Eduardo Lima de Sousa Júnior**<sup>3</sup>; **Isabel Cristina da Silva Araújo**<sup>4</sup>; **Fernando Bezerra Lopes**<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Discente. Av. Humberto Monte, s/n - Pici, Fortaleza - CE, 60440-593. Universidade Federal do Ceará;

<sup>2</sup>Discente. Av. Humberto Monte, s/n - Pici, Fortaleza - CE, 60440-593. Universidade Federal do Ceará;

<sup>3</sup>Discente. Av. Humberto Monte, s/n - Pici, Fortaleza - CE, 60440-593. Universidade Federal do Ceará;

<sup>4</sup>Professora (orientadora). Av. Humberto Monte, s/n - Pici, Fortaleza - CE, 60440-593. Universidade Federal do Ceará;

<sup>5</sup>Professor. Av. Humberto Monte, s/n - Pici, Fortaleza - CE, 60440-593. Universidade Federal do Ceará

### **RESUMO**

As matas ciliares atuam como protetoras dos ecossistemas aquáticos, no entanto, essas áreas têm sido alvo de desmatamento que tem resultado em problemas como erosão das margens dos rios, assoreamento de corpos d'água, degradação da qualidade da água e perda de biodiversidade. Neste contexto, é necessário formular estratégias para o planejamento e gestão dessas áreas. O presente trabalho trata de um breve estudo espacial da bacia hidrográfica do açude Aroeiras, situada em Nova Russas, Ceará, onde a região tem sofrido diversos impactos devido suas atividades principais: a agricultura e a pecuária. O objetivo dessa pesquisa foi verificar os usos da bacia indicando as zonas de conflito entre as áreas de mata ciliar e as atividades antrópicas a partir da elaboração de mapas para instigar a adoção de medidas de gestão integrada sustentáveis. Para isso, foi utilizado o programa Quantum Gis 3.16.16 em todo o processo de tratamento de dados adquiridos nas plataformas gratuitas USGS, INPE, Map Biomas e TOPODATA. A elaboração dos mapas permitiu identificar os usos da região, bem como, vários pontos de degradação das matas ciliares em quase toda a extensão da bacia. A espacialização mostrou também que a densa Caatinga foi substituída pela Caatinga esparsa e humanizada, o que reduziu a cobertura vegetal e causou grande pressão sobre os recursos naturais da área. Com isso, concluiu-se que o sensoriamento remoto é eficiente no mapeamento de áreas ambientais auxiliando na verificação das problemáticas.

**PALAVRAS-CHAVE:** mata ciliar; geotecnia; degradação;;

### **INTRODUÇÃO**

No Nordeste, o bioma dominante é a caatinga, no entanto, Hajek et al., (2011) observaram que as alterações humanas estão acelerando o processo de redução contínua do bioma. Apesar do seu potencial e riqueza de biodiversidade, formando vários micro-habitat de característica heterogênea, a Caatinga apresenta um processo de descaracterização onde 70% foi modificada pela atividade humana (ARAÚJO, 2011). Somente entre 1985 e 2020, a Caatinga perdeu 6 milhões de hectares de vegetação nativa, sendo a maior parte devido à agricultura (Menezes et al., 2010).

A exploração predatória dos recursos naturais, a falta de práticas agrícolas adequadas, combinadas com as prolongadas condições de seca no semiárido, têm levado à degradação da vegetação, levando ao assoreamento de rios e reservatórios e à erosão do solo. As atividades antrópicas desordenadas têm comprometido a vida humana, a sustentabilidade do bioma Caatinga e agravado o processo de desertificação, principalmente em áreas onde as condições físicas do solo são desfavoráveis ??ao desenvolvimento agrícola colocando em risco áreas mais vulneráveis ??às atividades humanas (Sousa et al., 2007), como as matas ciliares que têm sido alvo de vários tipos de degradação. Por se tratar de um ambiente com maior umidade, a vegetação ciliar é frequentemente retirada para o estabelecimento da agricultura (Lacerda et al., 2007).

Neste contexto, a Bacia Hidrográfica de Aroeiras, situada em Nova Russas, interior do Ceará, está inserida 100% no bioma caatinga (IBGE, 2020) e tem sofrido diferentes impactos decorrentes do desenvolvimento de atividades que tem acelerado o processo da vegetação nativa, sobretudo, a mata

ciliar. Estratégias de planejamento e gestão de ecossistemas, como unidades de conservação, ganham, portanto, urgência.

O planejamento da conservação da biodiversidade usando técnicas geotécnicas pode esclarecer e destacar padrões espaciais para apoiar a tomada de decisões. Picuno et al., (2019) acrescentam que, do ponto de vista metodológico, a incorporação de ferramentas de sistemas de informações geográficas (GIS) é adequada e eficaz porque pode conter diversas informações sobre a dinâmica espacial e paisagística no espaço e no tempo.

## **OBJETIVOS**

Verificar os usos da bacia indicando as zonas de conflito entre as áreas de mata ciliar e as atividades antrópicas a partir da elaboração de mapas que instiguem a adoção de medidas de gestão integrada sustentáveis.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Para alcançar os objetivos propostos, buscou-se a utilização de uma metodologia capaz de atingir os resultados esperados. Para isto, os procedimentos metodológicos foram estruturados em duas etapas. Na primeira etapa foi feita uma revisão bibliográfica sobre os temas abordados no trabalho, além de uma revisão sobre as técnicas e os métodos que auxiliam no processo de análise do objeto de estudo em questão. Ainda nesta fase, foi realizada uma pesquisa para a obtenção de dados espaciais em formato shapefile, disponibilizados por órgãos como Map Biomas e IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), além de adquirir produtos de sensoriamento remoto selecionados para a elaboração do trabalho, disponibilizados em instituições como o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), onde foram adquiridos os dados do projeto TOPODATA e do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS - United States Geological Survey), que fornecem as imagens obtidas pelo satélite LANDSAT 8.

A área de estudo compreende uma região semi árida localizada ao centro-oeste do Estado do Ceará, no município de Nova Russas, Macrorregião do Sertão dos Inhamuns, com latitude 4° 42' 24" S e longitude 40° 33' 47" W. Esta possui uma área de 694 km<sup>2</sup> e a sua capacidade é de 2.036.800 m<sup>3</sup>, com altitudes médias de 240 m.

Figura 1: Localização geográfica da bacia hidrográfica do Açude Aroeiras-CE

Fonte: Autoria própria (2023)

Na região, ocorrem temperaturas que não se afastam muito da média anual de 27,5 °C. Segundo a classificação de Köppen (1931), o clima da região estudada é BSwH', clima quente e semiárido, caracterizado por um regime de precipitação com chuvas escassas e irregulares temporal e espacialmente, altas temperaturas e alto poder de evapotranspiração (FUNCEME, 2018).

A imagem utilizada neste trabalho foi referente à órbita/ponto 218/063, com data de 16 de dezembro de 2022. Na segunda etapa, os dados adquiridos foram armazenados e processados em Sistemas de Informações Geográficas (SIG 's), ferramenta utilizada para a elaboração dos mapas e para a construção de um banco de dados geográficos. Optou-se por utilizar o SIG Quantum Gis 3.16.16 para obter os Modelos Digitais de Elevação (MDE), geração das curvas de nível, da rede de drenagem e para elaboração dos produtos cartográficos, tais como mapa de localização, de altimetria, rede de drenagem e de cobertura do solo.

Para os mapas do artigo utilizou-se arquivos SRTM como Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizando a cena S05\_W041\_1arc\_v3. A rotina computacional utilizada neste trabalho foi de acordo com a proposta por Carvalho, Guimarães e Carvalho Júnior (2010) e Rech et al. (2011), utilizando itens da ferramenta GRASS do QGis 3.16.1 seguindo a ordem de:

- delimitação da bacia;
- delimitação da rede de drenagem da bacia com threshold tamanho 1000 ;
- recorte dos municípios da base do IBGE para indicar a localização da bacia;
- recorte dos usos da bacia a partir dos dados do Map Biomas (2022);
- aplicação de buffer distintos de acordo com o Código Florestal (Lei n. 12.651/2012) para identificar as Áreas de Proteção Ambiental das margens dos cursos d'água; e
- sobreposição das atividades antrópicas e as zonas de APP para mapeamento das zonas de conflito na bacia hidrográfica.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para abordar tópicos quanto à gestão de usos da bacia foi necessário a obtenção dos usos a partir de uma plataforma intermediária já citada anteriormente. Foi identificado a predominância da vegetação nativa e o uso excessivo da pecuária e agricultura.

Figura 2 : Uso e ocupação da bacia do açude Aroeiras

Fonte: Autoria própria (2023)

Foi identificado oito classes de uso do solo com a predominância da caatinga densa, com árvores baixas (até 8 metros de altura) como o xique-xique e a macambira; mata seca: com florestas de encostas e topes de serra; e arbustos de caules finos e tortuosos (Araújo Filho, 2011).

Através do mapa do uso e ocupação, foram identificadas áreas de urbanização. O município de Nova Russas e Tamboril, onde está inserida a bacia, somam cerca de 57 mil habitantes, segundo informações do IBGE (2022), onde ambos dependem em grande parte das atividades agrícolas, da pecuária e do extrativismo vegetal. Dessa forma, observamos no quadro 1 que os municípios apresentam uma intensa cultura de lavouras permanentes. Dentre elas, as culturas de castanha de caju e coco são responsáveis por ocupar a maior área.

Além das culturas permanentes, a produção de milho, de feijão e de mandioca são responsáveis pelos maiores valores em rendimentos médios. Já as atividades que envolvem a criação de rebanhos, os bois e as ovelhas apresentam os maiores valores representativos.

Quadro 1: Culturas permanentes e suas respectivas produções, áreas e rendimentos.

Culturas	Produção	Área (ha)	Rendimento Médio (mil reais)
Banana	64 ton.	8	28.000
Castanha de caju	50 ton.	190	45.000



Coco-da-baía	65 mil frutos	9	25.000
Laranja	24 ton.	3	12.000
Manga	48 ton.	4	12.000

Fonte: IBGE (2021)

A partir do conhecimento dos usos na bacia foram gerados mapas de identificação das áreas de preservação permanente e áreas degradadas. Foram identificadas 10 nascentes pertencentes à bacia hidrográfica Aroeiras. Amparado pelo Código Florestal (Lei n. 12.651/2012) todas as mesmas tiveram uma área de preservação permanente num raio de 50 metros. Quanto aos rios, foi determinada uma distância de 30 metros contados a partir da sua borda, definidas por Andrade e Romero (2005) como fundamentais para garantir a quantidade e qualidade da água em nossos rios, represas e lagos.

Ao conferir às áreas de preservação foi identificado as zonas de atrito, ou seja, as áreas que deveriam estar sobre proteção e preservação mas que em virtude das atividades e carência de fiscalização sofrem alterações bruscas.

Figura 3: Locais onde há conflito entre o uso destinado e o uso efetivamente feito

do solo.

Fonte: Autoria própria (2023)

As zonas de conflito são comuns em todo o entorno da bacia, devido a predominância dos diversos usos, como a urbanização, a monocultura e a pecuária em áreas às margens dos cursos d'água, sendo a remoção da vegetação natural das margens dos rios um dos principais fatores do enfraquecimento do solo, tornando-o mais suscetível à erosão. Isso leva ao assoreamento dos rios, afetando a qualidade da água e prejudicando a vida aquática. À medida que a vegetação desaparece, há cada vez menos filtros naturais para produtos químicos e poluentes gerados do uso e ocupação indevido em áreas de APP.

Figura 4: Zonas de atrito entre atividades antrópicas e as Áreas de Preservação Permanente da bacia hidrográfica do açude Aroeiras-CE

Fonte: Autoria própria (2023)

Favoravelmente, os recortes possibilitaram identificar áreas de zona urbana (figura 4) às margens de cursos principais da bacia, com muitas sessões de APP comprometidas, assim como, grandes áreas de solo exposto e áreas de monocultura, como mostram os mapas c e d da figura 4. Além disso, também foi possível visualizar pontos onde a drenagem teve seu volume drasticamente interferido pelo uso intensivo da água pelas atividades somadas às condições climáticas da área.

## CONCLUSÃO

Conclui-se neste trabalho que o uso e ocupação do solo na área de mata ciliar da bacia hidrográfica de Aroeiras apresenta irregularidades por diversas atividades praticadas em áreas de preservação. A área mostra uma redução da cobertura vegetal devido a substituição das áreas de caatinga densa por áreas de caatinga rala e antropizada, resultado dos efeitos da degradação da mata ciliar em quase toda bacia exercendo grande pressão sobre os recursos naturais nestas áreas.

Nesse sentido, o sensoriamento remoto tornou-se uma importante ferramenta utilizada no monitoramento de bacias hidrográficas. A técnica utilizada neste trabalho permite a identificação rápida e eficiente das condições ambientais de uma determinada unidade espacial territorial, permitindo a integração dos elementos que compõem a paisagem e identificando os usos potenciais dos recursos naturais existentes, garantindo a organização territorial adequada.

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Ceará (UFC), pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO FILHO, J. C. de. Relação solo e paisagem no bioma caatinga. In. Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada XIV, 2011. Dourados, MS. Anais... Dourados. Disponível em:<CoelhoXIVSBGFA1.pdf (embrapa.br)> Acesso em: 29 jul. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 2012 . Institui o Novo Código Florestal Brasileiro. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil03/leis/L4771.htm>>

IBGE. Contas dos ecossistemas: o uso da terra nos biomas brasileiros: 2000-2018 Rio de Janeiro: IBGE. 101 p. 2020. Disponível em:<[biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101753.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101753.pdf)> Acesso em: 29 jul. 2023.

LACERDA, A. V.; BARBOSA, F. M. VASCONCELOS, B. M. R. 2007. Estudo do componente arbustivo-arbóreo de matas ciliares na bacia do rio Taperoá, semi-árido paraibano: uma perspectiva para a sustentabilidade dos recursos naturais. *Oecologia Brasiliensis*, 11, 3, 331-340. <https://doi.org/10.4257/oeco.2007.1103.03>

MENEZES, M. O. T.; ARAÚJO, S.; ROMERO, E.; O sistema de conservação biológica do estado do ceará: diagnóstico e recomendações. *REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA*, Fortaleza, v. 5, n. 2, jun. 2010. ISSN 1982-5528. Disponível em: <<http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/71>>. Acesso em: 29 jul. 2023.

- PICUNO, P.; CILLIS, G.; STATUTO, D. Investigating the time evolution of a rural landscape: How historical maps may provide environmental information when processed using a GIS. *Ecological Engineering*. Volume 139. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.08.010>

ROMERO, Marta Adriana Bustos; ANDRADE, Liza Maria Souza de. A importância das áreas ambientalmente protegidas nas cidades. Anais do XI Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional (Anppur). Salvador: Anpur, 2005..Disponível em:<A importância das áreas ambientalmente protegidas nas cidades | Semantic Scholar > Acesso em: 29 jul. 2023.

SOUSA, R. F.; BARBOSA, M. P.; SILVA, M. J.; FERNANDES, M. F. Avaliação das classes de cobertura vegetal e do uso das terras do Sítio Agreste - Itaporanga PB. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 2007. Disponível em:<[biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101753.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101753.pdf)> Acesso em: 29 jul. 2023.

# RELAÇÃO ENTRE NDVI E A TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE TERRESTRE EM UMA BACIA EXPERIMENTAL NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

**Eduardo Lima de Sousa Júnior<sup>1</sup>; José Breno Carneiro Lima<sup>2</sup>; Erika Roanna da Silva<sup>3</sup>; Carlos Alexandre Gomes Costa<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Discente . Av. Humberto Monte, s/n - Pici, Fortaleza - CE, 60440-593. Universidade Federal do Ceará;

<sup>2</sup>Discente . Av. Humberto Monte, s/n - Pici, Fortaleza - CE, 60440-593. Universidade Federal do Ceará;

<sup>3</sup>Discente . Av. Humberto Monte, s/n - Pici, Fortaleza - CE, 60440-593. Universidade Federal do Ceará;

<sup>4</sup>Docente. Av. Humberto Monte, s/n - Pici, Fortaleza - CE, 60440-593. Universidade Federal do Ceará

## RESUMO

A aquisição da temperatura da superfície terrestre por meio do sensoriamento remoto perfaz uma importante ferramenta para o monitoramento e mapeamento das regiões áridas. Desta forma, este trabalho tem como objetivo avaliar a relação entre os valores de NDVI com a temperatura da superfície terrestre obtida por sensores orbitais na Bacia Experimental de Aiuaba, no Ceará. Esse trabalho foi desenvolvido com imagens de satélite, no período seco, disponibilizadas de forma gratuita. A análise estatística foi realizada com uso do software RStudio. Para gerar o NDVI e para o cálculo da temperatura foi utilizada imagem Landsat 8. Neste trabalho, verificou-se que índices aplicados para a Bacia Experimental de Aiuaba-CE, mostraram resultados influenciados pelo uso e ocupação, onde os valores foram condizentes com a realidade para o período avaliado. Entre os resultados foi observada uma melhor relação entre as variáveis para as amostras de agricultura e vegetação preservada. Destaca-se o sensoriamento remoto como importante ferramenta para o monitoramento de Unidades de Proteção Integral do bioma Caatinga.

**PALAVRAS-CHAVE:** Caatinga; Sensoriamento remoto; Banda termal;;

## INTRODUÇÃO

Diversos estudos com sensoriamento remoto têm sido realizados para identificar e monitorar a gestão das bacias hidrográficas no mundo. Segundo Ji *et al.* (2021) a degradação por atividades antrópicas aos recursos hídricos são uma ameaça à segurança ecológica de toda a bacia e estão se tornando cada vez mais proeminentes. Conforme Hussain (2014), à medida que a vegetação natural é removida, provoca o aumento da temperatura da superfície, que pode ser adquirida diretamente por medição direta ou por satélite.

Um dos primeiros produtos analíticos de sensoriamento remoto, é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI, que tem como objetivo melhorar a análise de informações sobre vegetação, e segundo Huang *et al.* (2021) o NDVI é o índice mais popular do mundo para avaliação de vegetação.

Em regiões do bioma Caatinga, como a Bacia Experimental de Aiuaba (BEA), a compreensão em escala local dos fenômenos que ocorrem na cobertura do solo são importantes devido à sua heterogeneidade, sazonalidades e às múltiplas ações humanas (Silva Filho *et al.* 2020). Neste ambiente, cresce a importância da representação temporal e espacial.

O bioma Caatinga segue em constante ameaça devido à exploração insustentável dos recursos naturais (ALVES, 2020). De acordo com previsões do PBMC (2013), o bioma caatinga se tornará cada vez mais seco, aumentando entre 3,5°C e 4,5 °C, como consequência teremos o agravamento do déficit hídrico regional, com redução de 40% e 50% das chuvas. Desta forma, é fundamental compreender a influência dos diferentes tipos de uso e ocupação do solo, representado pelo NDVI na variação termal a partir de dados remotos do satélite Landsat.

## OBJETIVOS

Avaliar a relação entre os valores de NDVI com as variações da temperatura da superfície terrestre na Bacia Experimental de Aiuaba, Ceará.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Bacia Experimental de Aiuaba (BEA, 12 km<sup>2</sup>), parte integrante da Estação Ecológica de Aiuaba, região do Estado do Ceará denominada Sertão dos Inhamuns (Figura 1), tendo como coordenadas geográficas 6° 34' 25" S e 40° 07' 25" W. De acordo com a Classificação de Köppen, o clima da bacia é Bsh (semiárido com baixa latitude e altitude) (RODRIGUES, 2019).

As imagens orbitais foram obtidas do satélite Landsat 8/OLI (*Operational Land Imager*) instrumento imageador do sensor TIRS e apresentam 30 m de resolução espacial, 16 dias de resolução temporal e são disponibilizadas gratuitamente pela *United States Geological Survey* - USGS. Neste estudo, foram utilizadas as bandas 4 e 5 para calcular o NDVI e a banda TIR 10 para estimar a temperatura da superfície. Optou-se por imagens sem presença de nuvens, utilizando imagens do período seco na região. O Processamento das Imagens e cálculo do *Difference Vegetation Index* - NDVI, *Land Surface Temperature* - LST, e análises estatísticas foram realizados utilizando o software livre RStudio. A Classificação de Uso e Cobertura do Solo foi realizada pelo Map Biomas, onde foram mapeadas 5 classes de cobertura e uso da terra, foram adotadas 3 amostras em diferentes classes para identificar uma relação existente entre o NDVI e o LST, para determinar o melhor ajuste de cada equação utilizou-se do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>).

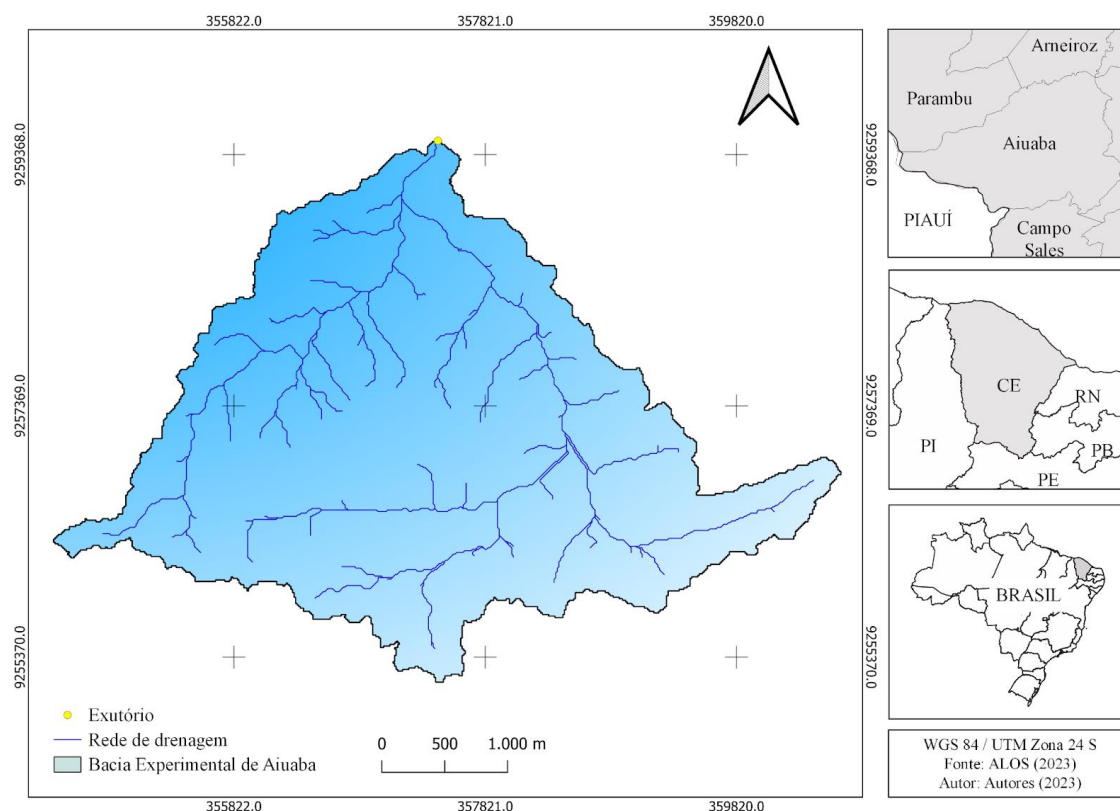


Figura 1. Mapa de localização da BEA, Ceará, Brasil.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Baseado na análise do NDVI da Bacia Experimental de Aiuaba do dia 30 de outubro de 2022 (Figura 2-A), foram observados baixos valores variando de mínimo de 0.1 máxima de 0.4. A partir da análise do NDVI foi possível identificar um comportamento típico da vegetação de caatinga caducifólia. Segundo Carvalho et al. (2016) há predominância de Caatinga arbustiva arbórea preservada na BEA,

sendo justificado os menores valores de NDVI que estão associados ao declínio da atividade fotossintética e consequente perda da biomassa foliar. Segundo Liu (2006), os valores de NDVI próximos a zero representam solo nu ou sem vegetação.

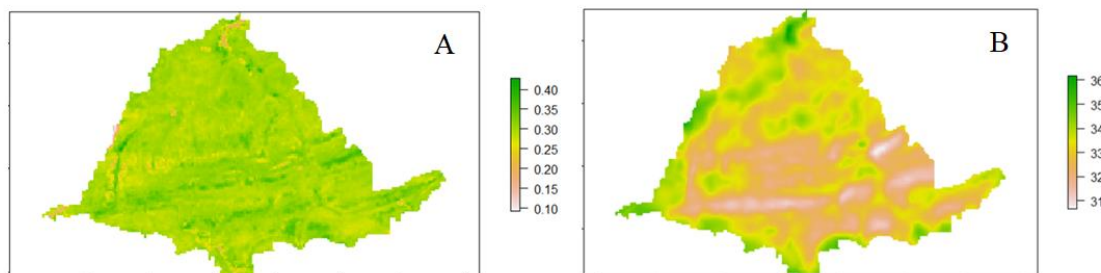


Figura 2. A - Mapa do NDVI da Bacia Experimental de Aiuaba dia 30 de outubro de 2022 (período seco), B - Mapa de LST da Bacia Experimental de Aiuaba no dia 30 de outubro de 2022 (período seco).

Os resultados do LST para a região de estudo mostram variação de temperatura mínima de 31°C e máxima de 36°C. Quando comparados os mapas da figura 2-A e 2-B, foi possível observar resultado semelhante ao identificado por Cola *et al.* (2017), onde foi identificado uma redução na LST à medida que o NDVI aumentava. No segundo momento, a partir da classificação de usos e ocupação da área realizada através da base de dados do Map Biomas, foram escolhidas 3 amostras em diferentes classes, sendo estas: área agricultura, solo exposto, vegetação preservada, para medir a relação existente entre o NDVI e a LST, utilizou-se do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

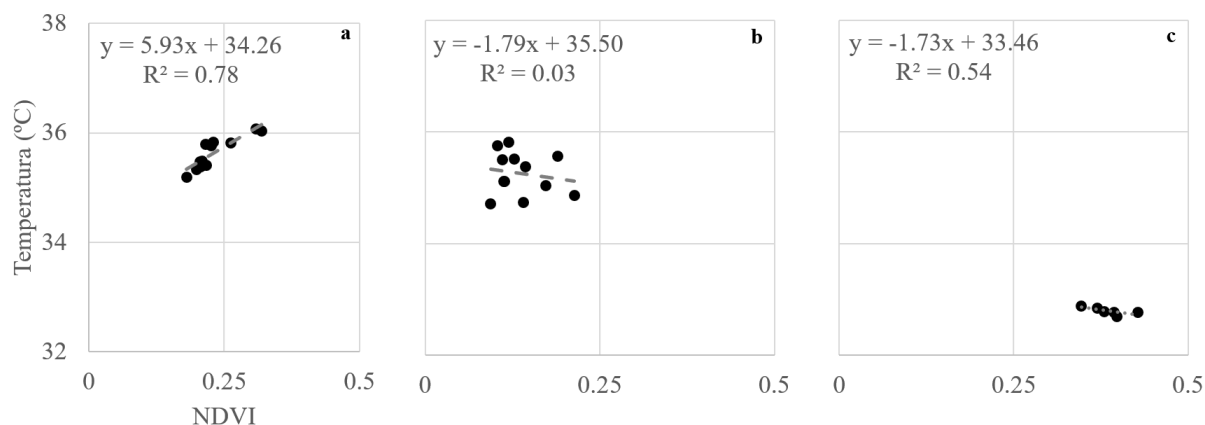


Figura 3 a-b-c: Gráficos de dispersão da análise de regressão linear simples entre os valores de LST e NDVI para as amostras de uso e ocupação da Bacia Hidrográfica de Aiuaba, a - Área agricultura, b - Solo exposto, c - Vegetação preservada.

O gráfico (a) da Figura 3, é referente a amostra da classe agricultura, onde através da regressão linear simples foi obtido o coeficiente de determinação  $R^2$  de 0.72 demonstrando uma relação representativa entre a variável LST e o NDVI. O gráfico (a) da Figura 3, apresenta uma tendência de valores maiores do NDVI estarem associados a valores maiores de LST, expressando uma relação aproximadamente linear. O gráfico (b) da Figura 3, apresenta uma relação nula, apontando uma dispersão entre os pontos, não demonstrando relação aparente entre as variáveis NDVI e LST, o gráfico em questão refere-se a amostra de solo exposto na Bacia Experimental de Aiuaba, segundo a classificação realizada. O gráfico (c), demonstra uma relação negativa moderada entre o NDVI e o LST, onde 54% da variável dependente (LST) consegue ser explicada pela variação no NDVI do gráfico (c). Considerando que o NDVI para a amostra classificada como vegetação preservada, apresenta valores relativamente superiores quando comparados com as outras amostras de usos e ocupação da BEA (a e b), enquanto o valor do LST foi menor, supõe-se que a presença de vegetação influencia em menores

valores de temperatura. É importante destacar que segundo Deng *et al.* (2018) o LST também pode ser influenciado por outros fatores como os níveis de elevação, direção da encosta e tipo de uso do solo, entre os quais a altitude desempenha forte influência no padrão geral do LST.

## CONCLUSÃO

Neste trabalho, verificou-se que os índices aplicados para a Bacia Experimental de Aiuaba no Ceará, mostraram uma regressão entre eles, sendo influenciados pelo uso e ocupação, e com valores consentâneos ao período avaliado. Os resultados observados foram pertinentes, portanto, destaca-se o sensoriamento remoto como uma importante ferramenta para o monitoramento de Unidades de Proteção Integral do bioma Caatinga como a BEA, bem como, o uso do coeficiente de determinação para o ajuste da metodologia utilizada.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e do Grupo de Pesquisa em Hidrologia e Sedimentologia do Semiárido do Brasil - HIDROSED.

## REFERÊNCIAS

ALVES, D. S., SILVA, F. V. V., AGUIAR LIMA, R. L. F.; RIBEIRO, E. M. S. Interações ecológicas na Caatinga: uma proposta de sequência didática utilizando seminários e o aplicativo Kahoot. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 15, n. 6, p. 133-153, 2020. Disponível em: <<https://ury1.com/2IH1O>>. Acesso em: 27 jul. 2023.

ASSAD, E. D. **Impactos, Vulnerabilidades e Adaptação** Contribuição do Grupo de Trabalho 2 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo GT1. PBMC, Rio de Janeiro, 29 p, 2013. Disponível em: <<https://urx1.com/FmTdl>>. Acesso em: 27 jul. 2023.

CARVALHO, T. R. A., DE ALMEIDA, C. L., DE ALMEIDA, A. M. M., PORTO, M. F., & DE ARAÚJO, J. C. Índice de área foliar em caatinga preservada. **Conexões-Ciência e Tecnologia**, v. 11, n. 1, p. 35-42, 2016. Disponível em: <<https://urx1.com/35jAd>>. Acesso em: 27 jul. 2023.

COLA, C. C. Uso de imagens do Landsat 8 para determinação da correlação entre a temperatura de superfície e o índice de vegetação em municípios da grande Vitória. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, GEODÉSIA, FOTOGRAMETRIA, E SENSORIAMENTO REMOTO**. 2017. p. 1-5. Disponível em: <<https://11nq.com/3uQRm>>. Acesso em: 27 jul. 2023.

DENG, Y. Relationship among land surface temperature and LUCC, NDVI in typical karst area. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 641, 2018. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41598-017-19088-x>>. Acesso em: 27 jul. 2023.

HUANG, S., TANG, L., HUPY, J. P., WANG, Y., SHAO, G. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. **Journal of Forestry Research**, v. 32, n. 1, p. 1-6, 2021. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11676-020-01155-1>>. Acesso em: 27 jul. 2023.

HUSSAIN, A.; BHALLA, P.; PALRIA, S. Remote sensing based analysis of the role of land use/land cover on surface temperature and temporal changes in temperature; A case study of Ajmer District, Rajasthan. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and**

**Spatial Information Sciences**, v. 40, p. 1447-1454, 2014. Disponível em: < <https://11nq.com/HjauK>>. Acesso em: 27 jul. 2023.

JI, G., SONG, H., WEI, H., & WU, L. Attribution analysis of climate and anthropic factors on runoff and vegetation changes in the source area of the Yangtze River from 1982 to 2016.

**Land**, v. 10, n. 6, p. 612, 2021. Disponível em: < <https://www.mdpi.com/2073-445X/10/6/612>>. Acesso em: 27 jul. 2023.

LIU, William Tse Horng. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Oficina de Textos, 2015.

RODRIGUES, G. P. Comportamento de chuvas intensas para bacia em região semiárida de Caatinga preservada. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, PE, v. 14, p. 1-6, n. 3, 2019. Disponível em: <<https://ury1.com/O2JeH>>. Acesso em: 27 jul. 2023.

SILVA FILHO, R. D., VASCONCELOS, R. S., GALVÃO, C. D. O., RUFINO, I. A. A., & CUNHA, J. E. D. B. L. Representação matemática do comportamento intra-anual do NDVI no Bioma Caatinga. **Ciência Florestal**, v. 30, p. 473-488, 2020. Disponível em: < <https://urx1.com/wfUVM>>. Acesso em: 27 jul. 2023.

# **INFLUÊNCIA DOS ELEMENTOS METEOROLÓGICOS SOBRE A EVAPOTRANSPIRAÇÃO SOB TRÊS DIFERENTES CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO CEARÁ**

**Fausto Correia Sales Filho**<sup>1</sup>; **Eduardo Lima de Sousa Júnior**<sup>2</sup>; **Nazaré Suziane Soares**<sup>3</sup>; **Carlos Alexandre Gomes Costa**<sup>4</sup>; **José Carlos de Araújo**<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Discente . Av. Humberto Monte, s/n - Pici, Fortaleza - CE, 60440-593. Universidade Federal do Ceará;

<sup>2</sup>Discente . Av. Humberto Monte, s/n - Pici, Fortaleza - CE, 60440-593. Universidade Federal do Ceará;

<sup>3</sup>Discente . Av. Humberto Monte, s/n - Pici, Fortaleza - CE, 60440-593. Universidade Federal do Ceará;

<sup>4</sup>Docente. Av. Humberto Monte, s/n - Pici, Fortaleza - CE, 60440-593. Universidade Federal do Ceará;

<sup>5</sup>Docente. Av. Humberto Monte, s/n - Pici, Fortaleza - CE, 60440-593. Universidade Federal do Ceará

## **RESUMO**

Sabe-se que a evapotranspiração faz parte do ciclo hidrológico, e é fundamental o seu estudo, pois, é **através desse processo que a água volta para a atmosfera, controlando, os** processos de fluxo de calor, da umidade e da estabilidade da atmosfera. O objetivo deste presente trabalho foi avaliar a influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração sob três diferentes condições climáticas no Ceará. Para isso a evapotranspiração foi calculada pelo Método de Penman-Monteith utilizando-se dados diários de postos pluviométrico automáticos, sob três diferentes condições climáticas nos municípios de Tauá (sertão), Acaraú (litoral) e Guaramiranga (serra), no Estado do Ceará. Nas análises, foram feitos, os cálculos da evapotranspiração pela equação de Penman-Monteith, e posterior confronto da variabilidade dos fenômenos meteorológicos (temperatura, umidade do ar e velocidade dos ventos) através de regressão linear simples. Na correlação dos valores de evapotranspiração estimados pelo método de Penman-Monteith e os dados fornecidos pela Funceme, através da regressão linear simples, observou-se diferenças entre as três regiões estudadas, que numa avaliação de desempenho, usou-se como métrica o coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Os resultados de Tauá, Acaraú e Guaramiranga, para os anos de 2007 a 2020, mostram que existe variabilidade espaço-temporal dos seus valores diários, pois os valores encontrados indicam que umidade do ar, velocidade dos ventos influenciam em muito a evapotranspiração, mas a temperatura exerce pouca influência no processo de evapotranspiração.

**PALAVRAS-CHAVE:** Clima; Semiárido; Balanço de energia;;

## **INTRODUÇÃO**

O conhecimento da evapotranspiração é de grande relevância para a elaboração e o manejo de projetos de irrigação, contribuindo para aumentar a produtividade e otimizar a utilização dos equipamentos de irrigação, da energia elétrica e dos recursos hídricos.

A evapotranspiração é um dos processos hidrológicos mais complexos e mais estudados, seu entendimento contribui consideravelmente na análise dos demais. Os estudos são direcionados para culturas agrícolas irrigadas e raramente estuda-se a evapotranspiração das culturas sob condições não convencionais (FAO-56) ou condições naturais. A região semiárida do estado do Ceará está situada prioritariamente sobre embasamento cristalino, o que dificulta a ação de drenagem profunda, e o armazenamento de água no solo. Esta região do nordeste brasileiro se depara, também, com regime pluviométrico irregular e alto poder evaporante (TEIXEIRA, 2018).

Um grande volume da água da superfície retorna à atmosfera pela decorrência da evaporação e transpiração, tendo sua melhor identificação em ambientes onde os quais ocorrem simultaneamente, os dois fenômenos, visto que em solos com cobertura vegetal, é impossível separar o vapor d'água oriundo da evaporação do solo com o originado da transpiração das plantas (OLIVEIRA, 2017).

A evapotranspiração é responsável pela dinâmica da água para o ar, tendo como fontes: solo, dossel florestal e corpos d'água, já a transpiração caracteriza-se pelo fluxo da água dentro na planta,



consequentemente a perda para a atmosfera. Tendo em vista a distribuição irregular das chuvas no semiárido nordestino, a evapotranspiração é determinante e fundamental em projetos, planejamento e manejo de culturas (MEDEIROS, 2002).

Neste contexto, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar a estimativa da evapotranspiração, nos Municípios de Tauá, Acaraú e Guaramiranga, no Estado do Ceará, utilizando a equação de Penman-Monteith, com posterior avaliação estatística usando a linguagem R, para entender a relação da evapotranspiração com alguns fatores climáticos.

## OBJETIVOS

Avaliar a influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração sob três diferentes condições climáticas no Ceará.

## MATERIAL E MÉTODOS

As áreas em estudo, envolve três municípios cearenses (Tauá, Acaraú e Guaramiranga), Estado que se localiza na porção setentrional do Planalto Atlântico Brasileiro, ocupando uma área de 148.825 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 9,57% da Região Nordeste e 1,752% do país (Estado do Ceará, 2023).

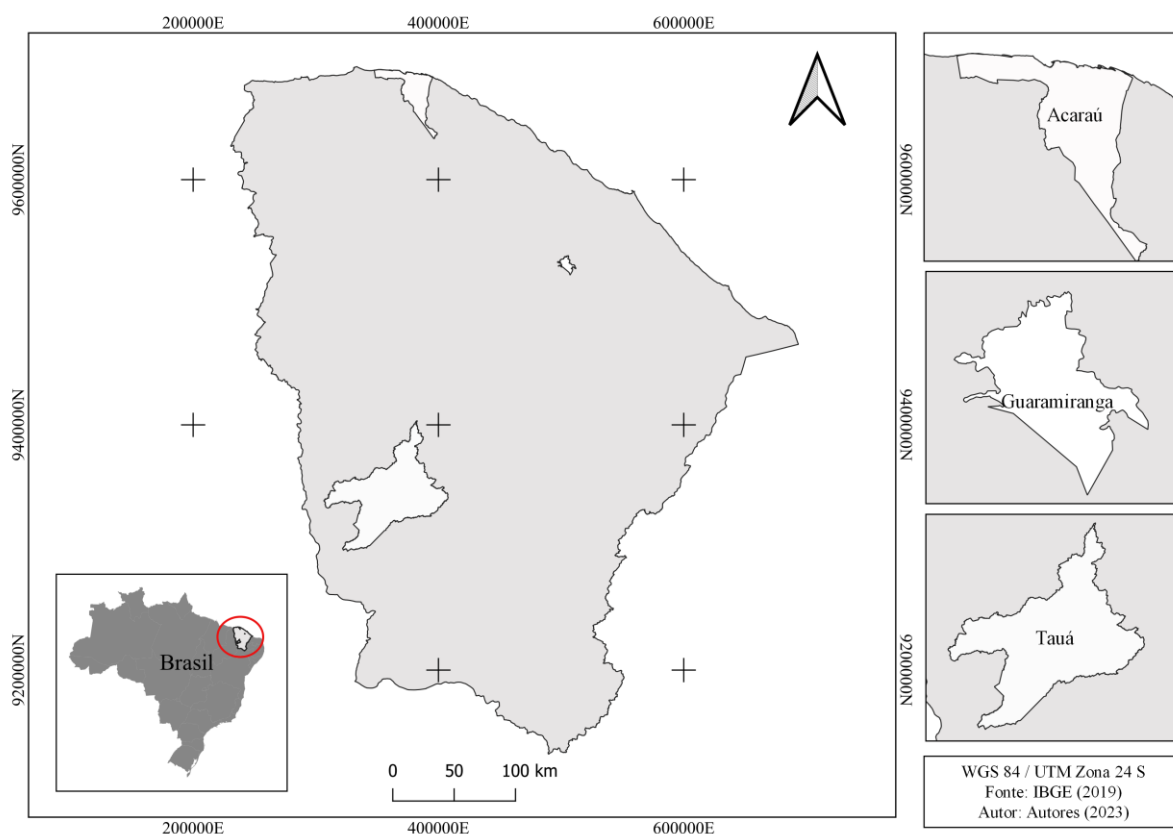


Figura 1. Mapa de localização das áreas estudadas, Ceará, Brasil.

O trabalho foi desenvolvido com base em dados de três estações meteorológicas automáticas da Funceme, localizadas na Microrregião do Sertão do Inhamuns (Tauá), na Zona Litoranêa do extremo oeste do estado (Acaraú) e na serra, microrregião do Maciço de Baturité (Guaramiranga). Os municípios apresentam os climas semiárido para Tauá, sub-úmido seco para Acaraú e úmido para Guaramiranga (FUNCEME, 2023). Para se avaliar a evapotranspiração foram consideradas as seguintes variáveis: temperatura média do ar (°C), umidade do ar (%), velocidade do vento (m/s) e

insolação (MJ/m<sup>2</sup>. d<sup>2</sup>). Os dados foram fornecidos pela FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia. As séries empregadas foram constituídas por dados diários correspondentes a um período de treze anos (2007 a 2020). As falhas observadas dos dados, foram preenchidas com a normal respectiva de cada mês. Neste estudo, utilizou-se apenas uma estação meteorológica por município com as informações disponíveis.

Quadro 1 - Valores médios diários das variáveis do meteorológicas usadas (2007 a 2020).

Clima	Município	Vento (m/s)	Umidade do ar (%)	Temperatura (°C)	Evapotranspiração (mm)	Precipitação (mm)
Litoral	Acaraú	3,23	76,30	26,76	4,7	2,92
Serra	Guaramiranga	3,26	60,26	21,14	3,8	4,26
Sertão	Tauá	2,53	55,72	27,11	4,73	1,43

Fonte: Adaptado da Funceme, 2023

O estudo para confrontar as variáveis meteorológicas (temperatura, umidade do ar e velocidade do vento) com os coeficientes do cálculo da evapotranspiração por Penman-Monteith, fundamentou-se na aplicação de um modelo de estatístico de regressão linear simples. Todas as análises foram computadas utilizando, inicialmente, planilha excel, para o cálculo da evapotranspiração por Penman-Monteith e posterior aplicação estatística na linguagem R, versão 4.2.2.

Para a estimativa de ETo pelo método de Penman-Monteith-FAO (ETo) utiliza-se a seguinte expressão (ALENCAR et. al., 2015):

$$E_{to} = \{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot (900/T + 273) \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)\} / \{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)\}$$

ETo - Evapotranspiração de referência (mm . d-1);

Rn - Saldo de radiação da superfície (MJ m-2 . d-1);

G - Densidade do fluxo de calor do solo (MJ. m-2 . d-1);

T - Temperatura do ar a 2 m de altura (°C);

u<sub>2</sub> - Velocidade do vento a 2 m de altura (m . s-1);

e<sub>s</sub> - Pressão de vapor de saturação (kPa);

e<sub>a</sub> - Pressão parcial de vapor (kPa);

Δ - Declividade da curva de pressão de vapor de saturação (kPa . ° C-1);

γ - Coeficiente psicrométrico (kPa . ° C-1).

Fluxo de calor do solo (G) é calculado em função da temperatura do mês atual (T<sub>i</sub>) e a temperatura do mês anterior (T<sub>i-1</sub>). O coeficiente γ é calculado empregando-se a expressão  $\gamma = 0,665 \cdot 10^{-3} \cdot P_{atm}$  e UR é a umidade relativa do ar (%).

Em Medeiros 2002, a regressão linear significa que o aumento ou a diminuição de uma variável independente leva a um aumento ou a uma diminuição proporcional na variável dependente. Modelo de Regressão Linear Simples:  $Y = \beta_0 + \beta_1 X + E$ .

Para abalzar os resultados foi utilizado o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), como métrica estatística, para avaliar a qualidade do ajuste do modelo de regressão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Existe uma nítida variação no comportamento da evapotranspiração ao longo do ano, períodos chuvosos e secos, especialmente entre os períodos de janeiro a junho e de julho a dezembro. A evapotranspiração se mostrou mais sensível aos fatores climáticos: umidade do ar, velocidade dos ventos e temperatura.

Os resultados do coeficiente de determinação das três variáveis analisadas em decorrência da evapotranspiração, nos municípios, são apresentados no quadro 2. Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) das variáveis de cada município variaram de 0,108 a 0,44 para temperatura, 0,73 a 0,86 para umidade relativa do ar e 0,44 a 0,87 para os ventos ocorridas para os municípios Tauá, Acaraú e Guaramiranga. Tal fato expressa um alto índice de interrelação entre as variáveis meteorológicas aqui avaliadas. As variáveis que apresentaram os mais altos coeficientes de correlação foram umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento (m/s), sendo comum para os três municípios.

Quadro 2 - Resultados da regressão linear simples (coeficiente de determinação  $R^2$ )

Municípios	Localidade	Temperatura (°C)	Umidade do Ar (%)	Ventos (m/s)
Tauá	Sertão	0,39	0,86	0,70
Acaraú	Litoral	0,44	0,73	0,87
Guaramiranga	Serra	0,108	0,76	0,44

Fonte: Autor, 2023

No quadro 2, percebe-se que, em relação as variáveis, a de maior importância para região em estudo foram: umidade relativa do ar (%), velocidade do vento (m/s), e temperatura (°C), respectivamente. Outro ponto a ser considerado: o volume de chuvas ocorridas entre 2018 e 2019, no município de Acaraú; a altitude de 865m de Guaramiranga; e segundo Andrade et. al. 2002, a variável insolação apresenta uma maior influência no processo de evaporação nas áreas de clima semiárido em Tauá.

## CONCLUSÃO

A relevância das variáveis climáticas relacionadas com o processo da evapotranspiração foi avaliada através da Regressão Linear Simples e Histograma de Densidade, dos dados meteorológicos dos municípios de Tauá, Acaraú e Guaramiranga, no Estado do Ceará. A aplicação destas técnicas expressou, no processo da evapotranspiração para as áreas estudadas que é gerido basicamente por duas componentes, sendo a primeira a do gradiente da pressão de vapor do ar e a segunda a da velocidade dos ventos, mas para Tauá, localizada na região de clima semiárido, a variável insolação ( $MJ /m^2 \cdot d^2$ ) foi a que demonstrou importância, seguida pouca precipitação (mm) e velocidade do vento (m/s). Finalmente, pode-se concluir que as equações para estimativa da evapotranspiração, com base apenas na temperatura, devem ser usadas com cuidado para o Estado do Ceará, visto que o mesmo parecer é encontrado em Silveira et. al. 2002, que analisando as variáveis meteorológicas da estrutura multivariada da evapotranspiração, constatou que, dentre os elementos climatológicos

estudados, os com maior peso no processo da evapotranspiração foram insolação e umidade relativa do ar, e na região Centro-Sul do Estado verificou que as variáveis climatológicas com maior representatividade no processo da evapotranspiração foram insolação e velocidade do vento, enquanto as temperaturas máxima e mínima do ar apresentaram menor influência.

## AGRADECIMENTOS

Universidade Federal do Ceará.

## REFERÊNCIAS

OLIVEIRA, J. B., Barbosa, P. J. de A., Nogueira, D. H., Araújo, E. M., Arraes, F. D. D.; Influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Tauá - Ceará, **Journal of environmental analysis and progress**, 2017. Disponível em: <<http://https://www.journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/1457/1448>>. Acesso em: 27 jul. 2023.

MEDEIROS, A.T., **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE.**, ESALQ, Piracicaba, São Paulo, 2002. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-16072002-140154/publico/almiro>>. Acesso em: 27 jan. 2023.

ALENCAR, P. L., Sedyama, G. C., Mantovani, E. C., Estimativa da evapotranspiração de referência (Eto padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos, doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v35n1p39-50/2015>; **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/eagri/a/gfYNYQmvZvcfgFbrkdyHMQB/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 27 jul. 2023.

ANDRADE, E. M., Silveira, S. S., Azevedo, B. M.. **Investigação da estrutura multivariada da evapotranspiração na região centro sul do Ceará pela análise de componentes principais.** RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, 2002. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/96cc/78678c03da0e515aec68daaad6fe857d6d46.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2023.

**FUNCEME**-Fundação Cearense de Meteorologia. **Dados Pluviométricos.** Fortaleza - Ceará. Disponível em: <[http://www.funceme.br/?page\\_id=2694](http://www.funceme.br/?page_id=2694)>. Acesso em: 27 jul. 2023.

**Governo do Estado do Ceará.** Disponível em: <http://www.ceara.gov.br/aceso-a-informacao/>. Acesso em 11 ago. 2023.

TEIXEIRA, L. M. N.. **Evapotranspiração em vegetação natural do bioma caatinga obtida por balanço hídrico no solo e por sensoriamento remoto**, Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2018.

# **10. Mudança climática e impactos Biogeográficos**

# DESENVOLVIMENTO DO MILHO VARIEDADE CRIOLA 'CINQUENTINHA' E CULTIVAR 'BRS PLANALTO' EM CONDIÇÕES DE CLIMA PRESENTE E FUTURO PARA MONTES CLAROS - MG

**Mábele de Cássia Ferreira**<sup>1</sup>; **Flávio Augusto dos Santos**<sup>2</sup>; **Isis da Rocha Plum Ferreira**<sup>2</sup>; **Luiz Gustavo de Oliveira**<sup>2</sup>; **Maycon Augusto da Silva**<sup>2</sup>; **Raul Nicolas Maciel Chaves**<sup>2</sup>; **Vitor Lucas dos Santos Rosa Tenório**<sup>2</sup>; **Cassia Gabriele Dias**<sup>1</sup>; **Fabrina Bolzan Martins**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Discente do Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Campus Prof. José Rodrigues Seabra - Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá - MG, CEP: 37500 903. Universidade Federal de Itajubá; <sup>2</sup>Discente de Graduação em Ciências Atmosféricas. Campus Prof. José Rodrigues Seabra - Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá - MG, CEP: 37500 903. Universidade Federal de Itajubá; <sup>3</sup>Docente do Instituto de Recursos Naturais. Campus Prof. José Rodrigues Seabra - Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá - MG, CEP: 37500 903. Universidade Federal de Itajubá

## RESUMO

A fenologia do milho é fortemente afetada por variáveis meteorológicas, principalmente a temperatura do ar. O objetivo deste trabalho foi simular o desenvolvimento do milho variedade crioula 'Cinquentina' e cultivar 'BRS Planalto' sob condições climáticas atuais e futuras, e comparar os impactos das projeções de aumento da temperatura na duração das fases de desenvolvimento de ambas cultivares para Montes Claros - MG. Foram utilizados dados diários de temperatura média do ar extraídos do modelo climático EC-Earth3 proveniente do Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6). O ciclo de desenvolvimento do milho foi simulado para o clima presente (1995-2014) e projetado para o futuro distante (2081-2100), nos cenários socioeconômicos SSP3-7.0 e SSP5-8.5, utilizando o modelo de Wang e Engel. Os aumentos projetados de 3,6 °C (SSP3-7.0) e ~7,0 °C (SSP5-8.5) afetarão a duração do ciclo do milho em Montes Claros. É projetado encurtamento a duração do ciclo em ~22,4 dias no SSP3-7.0, e ~23,7 dias no SSP5-8.5 para a variedade crioula 'Cinquentina', e em ~21,2 dias no SSP3-7.0 e ~21,8 dias no SSP5-8.5 para a cultivar 'BRS Planalto'.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Zea mays* L.; Temperatura do ar; Mudanças climáticas;;

## INTRODUÇÃO

Considerado um dos cereais mais cultivados e de importância socioeconômica no mundo, o milho (*Zea mays* L.) é mundialmente utilizado pelas indústrias alimentícia, química, têxtil e cosmética. (FAO, 2022; LIMA et al., 2023). Atualmente, o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho e Minas Gerais representa 18% de toda produção nacional (CONAB, 2022; FAO, 2022).

Apesar de sua adaptação à diferentes regiões do Brasil, o milho apresenta produtividade variável de acordo com as condições meteorológicas de cada local de cultivo. Sua fenologia é fortemente afetada por variáveis meteorológicas, sendo a temperatura do ar a variável que mais impacta seu desenvolvimento, que ainda pode ser agravado quando considerados os efeitos das mudanças climáticas ao longo do tempo (CAMILO et al., 2019; LANGNER et al., 2016).

A influência da temperatura do ar sobre o desenvolvimento do milho é adequadamente representada pelo modelo de Wang e Engel. Nesse modelo, a função de resposta à temperatura do ar [ $f(T)$ ] é descrita pela função beta, que varia de zero a um, com coeficientes ( $r_{max}$ ,  $T_b$ ,  $T_{ot}$  e  $T_B$ ) que possuem significado biológico e operacional (LANGNER et al., 2016; WANG e ENGEL, 1998; MARTINS et al., 2022). Inserindo as saídas de modelos climáticos na  $f(T)$  do modelo de Wang e Engel é possível simular e projetar o desenvolvimento e avaliar as projeções de temperatura do ar no ciclo do milho, bem como auxiliar na otimização de práticas de manejo, na escolha da melhor época de semeadura e seleção de cultivares mais adaptadas para cada região (LANGNER et al., 2016; MARTINS et al., 2022).

## OBJETIVOS

Os objetivos do presente estudo foram (i) simular o desenvolvimento do milho variedade crioula 'Cinquentinha' e cultivar 'BRS Planalto' sob condições climáticas atuais e futuras e (ii) comparar os impactos das projeções de aumento da temperatura na duração das fases de desenvolvimento de ambas cultivares para Montes Claros - MG.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram usados dados diários de temperatura média do ar ( $T_{med}$ ) do modelo climático EC-Earth3 (resolução  $0,7^\circ \times 0,7^\circ$  lat/lon) - provenientes do CMIP6, disponibilizados por Earth System Grid Federation (<https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6/>), e extraídos para o ponto de grade mais próximo à Montes Claros ( $16^\circ 41'S$ ,  $43^\circ 50'O$ ). O modelo EC-Earth3 foi escolhido por apresentar boa performance ao representar a temperatura para a região em estudo. O estudo de Dias et al. (2021) mostra que o modelo EC-Earth3 se destaca entre os 46 modelos do CMIP6, apresentando menores vieses sazonais (entre  $-0,25$  e  $0,4$  °C) e anual ( $0,02$  °C). Foram utilizados dois cenários socioeconômicos (SSPs): o SSP3-7.0, que apresenta grandes desafios para mitigação e adaptação, e o SSP5-8.5, que apresenta altos desafios à mitigação e baixos desafios para adaptação (RIAHI et al., 2017).

O milho possui três fases de desenvolvimento: emergência (SE-EM = período entre a sementeira e emergência), fase vegetativa (EM-R1 = período entre a emergência e o espigamento) e fase reprodutiva (R1-R6 = período entre o espigamento e a maturidade fisiológica). A duração para cada fase foi simulada para o clima presente (1995-2014) e projetada para o futuro distante (2081-2100) através do modelo de Wang e Engel, que calcula a taxa diária de desenvolvimento para cada fase da planta ( $r$ ), que integrada no tempo, fornece o estágio de desenvolvimento (DS), ou seja,  $DS = \sum r$ . O DS foi definido como -1,0 na SE, 0,0 na EM; 1,0 na R1 e 2,0 na R6 (LANGNER et al., 2016; WANG e ENGEL, 1998):

$$r = r_{max,e} \cdot f(T) \quad \text{Eq. (252)}$$

$$r = r_{max,v} \cdot f(T) \quad \text{Eq. (253)}$$

$$r = r_{max,r} \cdot f(T) \quad \text{Eq. (254)}$$

em que  $r_{max,e}$ ,  $r_{max,v}$  e  $r_{max,r}$  são taxas máximas de desenvolvimento diárias para as fases de emergência, vegetativa e reprodutiva, respectivamente ( $\text{dia}^{-1}$ );  $f(T)$  = função beta de temperatura que varia de 0 a 1, dada por:

$$f(T) = 0, \text{ se } T_{med} < T_b \text{ ou } T_{med} > T_B \text{ ou,} \quad \text{Eq. (255)}$$

$$f(T) = \frac{[2 \cdot (T_{med} - T_b)^\alpha \cdot (T_{tot} - T_b)^\alpha - (T_{med} - T_b)^\alpha]}{(T_{tot} - T_b)^{2\alpha}}, \text{ se } T_b \leq T_{med} \leq T_B \quad \text{Eq. (256)}$$

em que:  $T_{med}$  do EC-Earth3 (°C);  $T_b$ ,  $T_{tot}$  e  $T_B$  são as temperaturas cardinais de desenvolvimento do milho (°C),  $\alpha$  = coeficiente da função beta, obtido por:

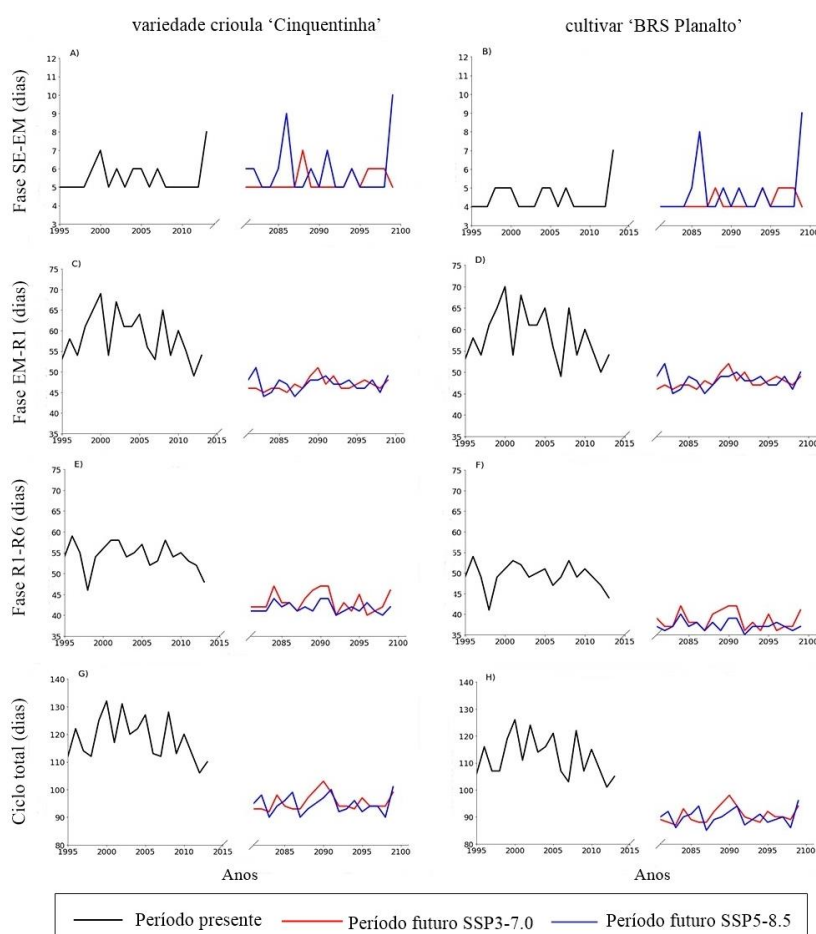
$$\alpha = \frac{\ln 2}{\ln \frac{(T_B - T_b)}{(T_{tot} - T_b)}} \quad \text{Eq. (257)}$$

Para a variedade crioula 'Cinquentinha' os valores de  $r_{max,e}$ ,  $r_{max,v}$  e  $r_{max,r}$  são 0,2400, 0,0234 e 0,0264 e para a cultivar 'BRS Planalto' são 0,3067, 0,0229 e 0,0298 respectivamente. Para a emergência:  $T_b = 10^\circ\text{C}$ ,  $T_{tot} = 29,3^\circ\text{C}$  e  $T_B = 40,2^\circ\text{C}$ , e para as fases vegetativa e reprodutiva:  $T_b = 6,2^\circ\text{C}$ ,  $T_{tot} = 30,8^\circ\text{C}$  e  $T_B = 42^\circ\text{C}$  (LANGNER et al., 2016).

A data de início das simulações e projeções foi considerada como 21 de outubro, obtida pelo zoneamento agrícola de risco climático (<http://www.agritempo.gov.br>).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

É projetado aumento gradual e contínuo da Tmed para Montes Claros ao longo do século XXI, sendo de  $\sim 3,6$  °C no SSP3-7.0 e de  $\sim 7,0$  °C no SSP5-8.5. Além disso, para ambas as cultivares a fase menos impactada pelos aumentos da Tmed é emergência (Figura 1, painéis A e B). Além disso, são projetadas redução (encurtamento) da duração da fase vegetativa em ambos os SSPs, sendo de  $\sim 11,4$  dias para variedade crioula 'Cinquentinha' e  $\sim 10,4$  para a cultivar 'BRS Planalto' (Figura 1, painéis C e D). Para a fase reprodutiva as projeções também são de encurtamento da duração:  $\sim 10,8$  dias (SSP3-7.0) e  $\sim 12,7$  dias (SSP5-8.5) para 'Cinquentinha' e  $\sim 10,6$  dias (SSP3-7.0) e 11,5 dias (SSP5-8.5) para 'BRS Planalto'. A variedade crioula 'Cinquentinha' tem projeção de redução de  $\sim 22,4$  dias no ciclo total no SSP3-7.0 e de  $\sim 23,7$  dias no SSP5-8.5. Para a cultivar 'BRS Planalto' são projetadas reduções de  $\sim 21,2$  dias no SSP3-7.0, e  $\sim 21,8$  dias no SSP5-8.5 (Figura 1, painéis G e H).



**Figura 1:** Variação temporal da duração (dias) das fases de desenvolvimento emergência (SE-EM), vegetativa (EM-R1), reprodutiva (R1-R6) e ciclo total do milho, simulada para o clima presente (1995- 2014) e projetada para o futuro distante (2081-2100) nos cenários SSP3-7.0 e SSP5-8.5 para variedade crioula 'Cinquentinha' (painéis A, C, E, e G) e cultivar 'BRS Planalto' (painéis B, D, F, e H).

Mesmo em plantas do metabolismo C4 como o milho, temperaturas elevadas alteram processos fisiológicos que, quando persistentes no tempo, alteram os padrões morfológicos e fenológicos, podendo afetar a quantidade e qualidade da produção (CAMILO et al., 2019; BAHUGUNA e JAGADISH, 2015). Quanto mais curta for a fase de desenvolvimento, menor é a capacidade de acúmulo e translocação de fotoassimilados (CAMILO et al., 2019), reduzindo a produtividade e a qualidade do grão. Considerando que ambas as cultivares são de ciclo precoce, as reduções projetadas



em todas as fases do ciclo poderão gerar impactos ainda mais negativos, especialmente para a variedade crioula 'Cinquentinha'.

A principal estratégia de adaptação no futuro será adiantar o calendário de plantio de ambos genótipos de milho no município de Montes Claros, para que o desenvolvimento ocorra nos meses com menores projeções de aumento de Tmed.

## CONCLUSÃO

O aumento projetado da temperatura do ar ao longo do século XXI (~3,6 °C a ~7,0 °C) afetarão a duração do ciclo do milho em Montes Claros. É projetado encurtamento a duração do ciclo em ~22,4 dias no SSP3-7.0, e ~23,7 dias no SSP5-8.5 para a variedade crioula 'Cinquentinha', e em ~21,2 dias no SSP3-7.0 e ~21,8 dias no SSP5-8.5 para a cultivar 'BRS Planalto'.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PRPPG), ao Instituto de Recursos Naturais (IRN) e ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos (POSMARH) da UNIFEI pelo auxílio financeiro. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de pesquisa concedida à 8ª autora (processo nº 88887.613682/2021-00) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela bolsa de pesquisa concedida à 1ª autora (processo ID 14029).

## REFERÊNCIAS

- BAHUGUNA, R.N.; JAGADISH, K.S.V. Temperature regulation of plant phenological development. **Environmental and Experimental Botany**, [s.l.], v. 111, n. p. 83-90, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.10.007>>. Acesso em: 30 mai. 2023.
- CAMILO, J.A.; ANDRADE, C.L.T.; AMARAL, T.A. et al. **Mudanças climáticas futuras afetarão a produtividade de milho em Minas Gerais**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Embrapa Milho e Sorgo, 2018, 29 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1103940>>. Acesso em: 09 abr. 2023.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Safra Brasileira de Grãos. Safra 2022/23 - 1º levantamento**. Brasília. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/grãos>>. Acesso em 26 out. 2022.
- DIAS, C.G.; REBOITA, M.S. Assessment of CMIP6 Simulations over Tropical South America. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.3, p.1282-1295, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1282-1295>>. Acesso em 03 ago. 2023.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Faostat**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#home>>. Acesso em: 26 out. 2022.
- LANGNER, J.A.; STRECK, N.A.; DALMAGO, G.A.; et al. Estimating the development of landrace and improved maize cultivars as a function of air temperature. **Ciência Rural**, v. 46, n. 10, p. 1737-1742, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151236>>. Acesso em: 26 out. 2023.
- LIMA, J.A.; ROSSI, A.A.B.; SANTOS, T.O.; et al. Adaptability and stability of corn hybrids for the south of the Amazon biome via GGE biplot. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 58, e02931,

2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2023.v58.02931>>. Acesso em: 09 abr. 2023.

MARTINS, F.B.; FERREIRA, M.C.; FLORÊNCIO, G.W.L. Agrometeorological models for predicting seedlings development of two native forest species. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v. 79, n. 4, e20200192, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1678-992X-2020-0192>>. Acesso em: 19 abr. 2023.

RIahi, K.; VUUREN, D.P.; KRIEGLER, E.; et al. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. **Global Environmental Change**, [s.l.], v. 42, p. 153-168, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>>. Acesso em: 20 abr. 2023.

WANG, E.; ENGEL, T. Simulation of phenological development of wheat crops. **Agricultural Systems**, [s.l.], v.58. n. 1. 1998. Disponível em:<[https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(98\)00028-6](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(98)00028-6)>. Acesso em: 26 out. 2022.

# O BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO EM BOM JESUS DA LAPA-BA EM CENÁRIOS FUTUROS DO CLIMA

**Matheus Henrique Bezerra de Melo**<sup>1</sup>; **Helber Barros Gomes**<sup>2</sup>; **Madson Tavares Silva**<sup>3</sup>; **Jonathan Mota da Silva**<sup>4</sup>; **Albert Smith Feitosa Suassuna Martins**<sup>5</sup>; **Daniel Felipe da Silva**<sup>6</sup>; **Eduardo Almeida da Silva**<sup>7</sup>; **Maxsuel Bezerra do Nascimento**<sup>8</sup>; **Alanderson Firmino de Lucas**<sup>9</sup>

<sup>1</sup>Discente de Pós Graduação . R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, 58429-900. Universidade Federal de Campina Grande ; <sup>2</sup>Docente . Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro dos Martins, CEP:57072-900, Maceió - AL. Universidade Federal de Alagoas ; <sup>3</sup>Docente . R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, 58429-900. Universidade Federal de Campina Grande ; <sup>4</sup>Docente . Campus Universitário - Lagoa Nova, Natal - RN, 59078-970. Universidade Federal do Rio Grande do Norte ; <sup>5</sup>Discente de Pós-Graduação . Campus Universitário - Lagoa Nova, Natal - RN, 59078-970. Universidade Federal do Rio Grande do Norte ; <sup>6</sup>Discente de Pós-Graduação . Campus Universitário - Lagoa Nova, Natal - RN, 59078-970. Universidade Federal do Rio Grande do Norte ; <sup>7</sup>Discente de Pós-Graduação . Campus Universitário - Lagoa Nova, Natal - RN, 59078-970. Universidade Federal do Rio Grande do Norte ; <sup>8</sup>Discente de Pós-Graduação . Campus Universitário - Lagoa Nova, Natal - RN, 59078-970. Universidade Federal do Rio Grande do Norte ; <sup>9</sup>Discente de Pós-Graduação . Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n - Dois Irmãos, Recife - PE, 52171-900. Universidade Federal Rural de Pernambuco

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar as mudanças no balanço hídrico climatológico (BHC) na cidade de BOM JESUS DA LAPA, Bahia, considerando as condições climáticas atuais e com base em cenários climáticos futuros. Foram utilizados dados mensais de chuva (P) e temperatura do ar (T) obtidos da estação climatológica em BOM JESUS DA LAPA para retratar o clima recente (1998-2019). Já para as projeções climáticas foi utilizado os dados do modelo do sistema climático ACESSESM1, nos cenários de emissões ssp2-4.5 e ssp5-8.5, durante os anos de 2079 a 2100. O BHC, desenvolvido por Thorthwaite e Matter (1995), determinar o balanço hídrico regional sem a necessidade de consideráveis informações pedológicas do solo, avaliando a disponibilidade de água no solo para as plantas, ao mesmo tempo que identifica períodos de excesso e/ou escassez de conteúdo de água no solo. A mudança climática aumentará a extensão temporal e a magnitude do déficit hídrico em BOM JESUS DA LAPA, que deverá ocorrer predominantemente todos os meses (jan-dez), diferentemente, do BH no clima recente, onde o déficit ocorria apenas durante predominantemente durante apenas os meses de jan-out.

**PALAVRAS-CHAVE:** Balanço hídrico; Disponibilidade de água; Projeções climáticas;;

## INTRODUÇÃO

A pesquisa sobre as transformações climática globais tem sido alvo de várias iniciativas internacionais e nacionais com o intuito de prever cenários futuros do clima, quantificar os impactos e propor medidas para mitigação e adaptação. No seu relatório mais recente, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2019) apresentou projeções de aumento de temperatura e mudanças nos padrões na precipitação para os biomas do Brasil, com base em estudos científicos que utilizaram modelos climáticos globais e regionais até o final deste século, em função do aumento das concentrações de gases de efeito estufa.

As projeções futuras apontam mudanças nas características climáticas na cidade de Bom Jesus da Lapa-BA, são esperados aumentos na temperatura média do ar, variando de 1,2 a 3,5°C, e redução nos déficits hídricos. Caso essas mudanças previstas se confirmem, haverá alterações em sua dinâmica hidrológica, impactando tanto a biodiversidade quanto as atividades socioeconômicas.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi analisar as mudanças no balanço hídrico climatológico na região de bom jesus da lapa, na Bahia, considerando as condições atuais e com base nos cenários climáticos futuros, proposto pelo CMIP6 (2022).

## OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é analisar o balanço hídrico climatológico atual e explorar os cenários futuros na cidade de Bom Jesus da Lapa, Bahia. O estudo busca compreender as mudanças nas condições climáticas e suas consequências para o balanço hídrico, considerando tanto os dados atuais como projeções climáticas futuras.

## MATERIAL E MÉTODOS

Nesta pesquisa, foram examinadas as informações mensais de precipitação e temperatura do ar coletadas na estação climatológica localizada em Bom Jesus da Lapa, Bahia. A região em foco possui um clima semiárido, com uma média anual de chuva em torno de 750 mm. O padrão climático se caracteriza por um período chuvoso compreendido entre novembro e março, seguido de uma estação seca que se estende de abril a outubro, apresentando baixos índices de precipitação.

Utilizando a metodologia desenvolvida por Thornthwaite e Mather (1955), foi conduzida a análise do balanço hídrico climatológico (BHC). A evapotranspiração potencial foi estimada empregando o método de Thornthwaite (1948) utilizando a planilha eletrônica do Excel criada por Rolim et al. (1998). Foi adotada uma capacidade de armazenamento de água no solo (CAD) de 100mm. Os balanços hídricos foram processados com base em três diferentes cenários. O primeiro cenário refere-se aos dados observados no período de 1980 a 2019, conforme estudos conduzidos por Xavier et al. (2015a). Os demais cenários consistem em projeções climáticas para o intervalo de 2079 a 2100. Um desses cenários apresenta uma média de emissão (ssp2-4.5), enquanto o outro considera uma alta emissão (ssp5-8.5). Tais cenários foram empregados com o intuito de avaliar possíveis alterações futuras no balanço hídrico da região.

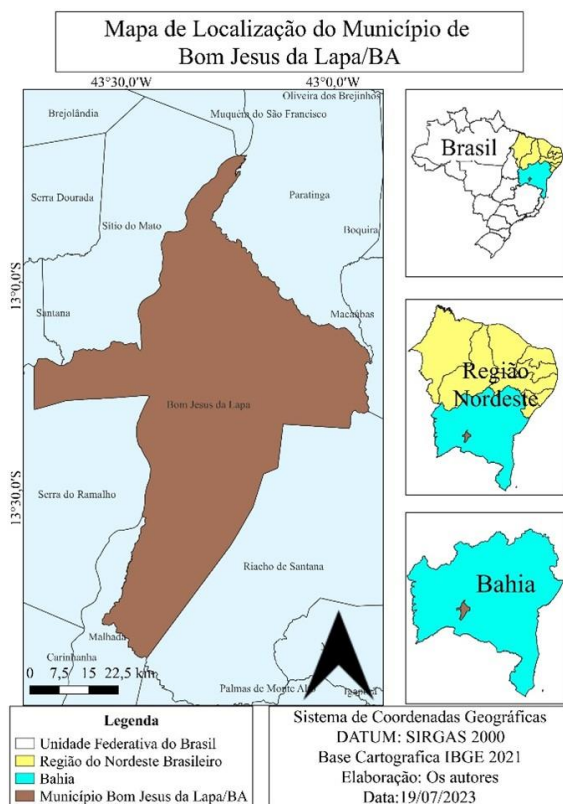


Figura 1: Localização do Município de Bom Jesus da Lapa-BA

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta o balanço hídrico climatológico normal para a região de Bom Jesus da Lapa-BA, com base nos dados de Xavier et al. (2015b). Observa-se que, ao longo de onze meses, de janeiro a novembro, a deficiência hídrica totalizou 630 mm, sendo mais acentuada nos meses de agosto (115 mm), setembro (142 mm) e outubro (140 mm). Esses resultados são atribuídos aos elevados valores de evapotranspiração durante esse período. Apenas em dezembro ocorreu um excedente hídrico (85 mm), quando a quantidade de precipitação superou a demanda atmosférica.

Considerando as projeções dos cenários climáticos futuros, os valores anuais de evapotranspiração potencial aumentam de acordo com o aumento da temperatura nos dois cenários estudados. Para o ACESSESM1 ssp2-4.5, o valor é de 2070 mm, enquanto para o ACESSESM1 ssp5-8.5 é de 2983.9 mm. Ao comparar o gráfico do balanço hídrico atual com esses cenários, verifica-se que as condições hídricas do solo se tornam críticas devido ao aumento da temperatura e à redução da precipitação. Isso resulta em um aumento no déficit hídrico, além de uma prolongação das deficiências de água no solo por todos os meses do ano, em vez dos onze meses atuais. Quando comparado ao cenário do modelo ACESSESM1 ssp5-8.5 (Figura 3), o déficit hídrico aumenta ainda mais, tornando-se mais crítico e atingindo um total de 2284 mm (1654 mm a mais do que o déficit do cenário atual). Isso evidencia um cenário de escassez hídrica ainda mais severo na região de acordo com o modelo projetado.

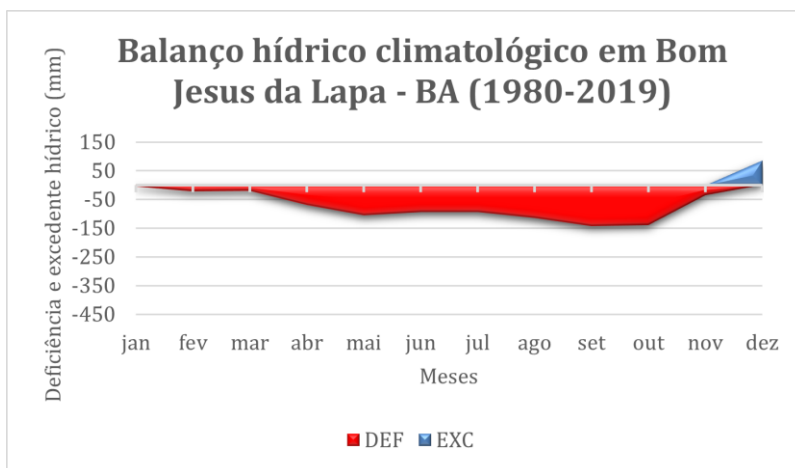


Figura 2: Balanço hídrico climatológico em Bom Jesus da Lapa, de acordo com os dados de Xavier et al (2015).

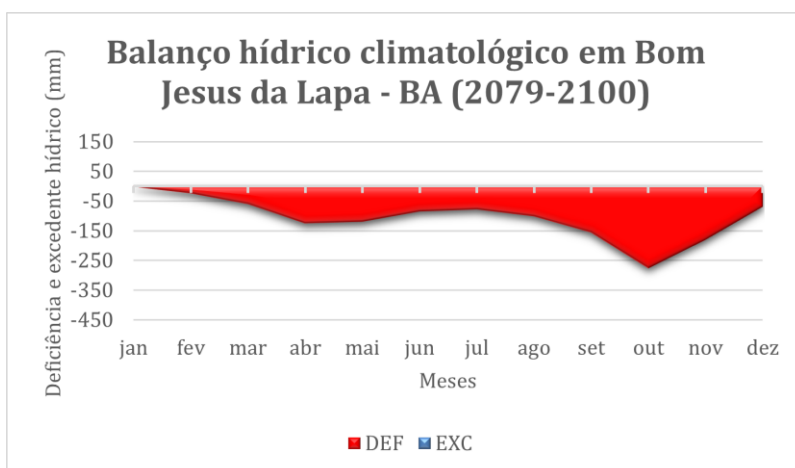


Figura 3: Balanço hídrico climatológico em Bom Jesus da Lapa, de acordo com os dados do CMIP6, pelo modelo ACESSESM1 com médias emissões (ssp2-4.5).

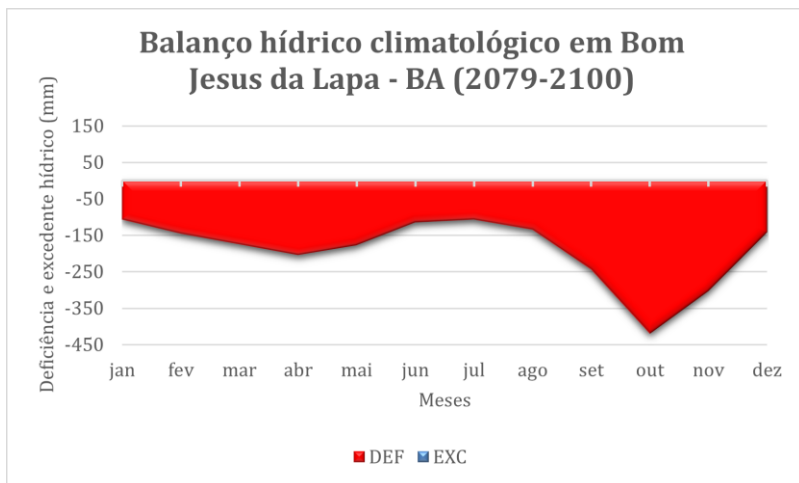


Figura 4: Balanço hídrico climatológico em Bom Jesus da Lapa, de acordo com os dados do CMIP6, pelo modelo ACESSESM1 com médias emissões (ssp5-8.5).

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos pelos modelos, tanto para o cenário ssp2-4.5 quanto para o ssp5-8.5, indicam uma grave deterioração das condições do solo, o que terá um impacto considerável nos recursos hídricos. Essas circunstâncias podem ocasionar mudanças substanciais nas características geofísicas da região de Bom Jesus da Lapa-BA, acarretando consequências diretas para a produção pecuária sustentável, bem como para a fauna e a flora.

## REFERÊNCIAS

- ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. 1998. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.6, n.1, p133-137.
- TAVARES, V. C.; DE ARRUDA, Í. R. P.; DA SILVA, D. G. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. *Geosul*, v. 34, n. 70, p. 385-405, 2019.
- THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.*, v. 38, p. 55-94, 1948.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. Instructions Tables for Computing Potential Evapotranspiration and Water Balance. *Publications in Climatology*, v. 10, p. 183-311, 1955.
- XAVIER, Alexandre C.; KING, Carey W.; SCANLON, Bridget R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). *International Journal of Climatology*, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2015.

# ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO PARA A CULTURA DO CAJU NO ESTADO DO CEARÁ

**Mairton Oliveira de Lima** <sup>1</sup>; **Joaquim Branco de Oliveira** <sup>2</sup>; **Anderson Cândido Vieira** <sup>1</sup>; **Ismael de Oliveira Cavalcante** <sup>1</sup>; **Maria Fernanda da Silva Vieira** <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Discente. Rodovia Iguatu - Várzea Alegre km 05 Vila Cajazeiras, Iguatu, Ceará. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará; <sup>2</sup>Docente. Rodovia Iguatu - Várzea Alegre km 05 Vila Cajazeiras, Iguatu, Ceará. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

## RESUMO

Cajueiro (*Anacardium occidentale L.*) é uma cultura predominantemente produzida na região Nordeste do Brasil, o estado do Ceará é destacado como o principal produtor do país. Assim, o presente trabalho teve como objetivo realizar o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) em cenários de mudanças climáticas para a cajucultura no Estado do Ceará. Para isso, dados de precipitação pluviométrica e temperatura foram utilizados para simular dois cenários diferentes de mudanças climáticas (B1 e A2). Consequentemente, foi possível verificar as alterações das três classes de aptidão (apta, restrita e inapta) ao longo do tempo. Os resultados mostram que as mudanças climáticas tendem a comprometer drasticamente a capacidade produtiva das áreas consideradas adequadas, aumentando as áreas impróprias para a cultura do cajueiro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mudanças climáticas; Fruticultura; Gestão de riscos;;

## INTRODUÇÃO

De acordo com informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), no ano de 2021 a ocupação territorial de plantações de caju (*Anacardium occidentale L.*) no Brasil correspondia a 427 mil hectares, sendo que 99,7 % desse total concentrava-se na região Nordeste, tendo como principal produtor o estado do Ceará com 271 mil hectares, ou seja, 63,5 % das áreas. Em termos estatísticos, o Ceará apresenta-se como principal produtor de castanha de caju no país e conforme dados do IBGE, o mesmo produziu no já referido ano 62.977 toneladas de castanhas, o equivalente a 56,7 % da produção nacional.

Estudos sobre as mudanças climáticas são cada vez mais fundamentais para a manutenção das atividades produtivas em todo o mundo, já que tais alterações no clima tendem a desequilibrar a disponibilidade dos recursos naturais, por consequência limitar a produção agrícola. O aquecimento adicional e a provável redução dos índices pluviométricos devem desencadear e acelerar processos de desertificação, aumentando ainda mais as áreas impróprias ao cultivo de várias espécies de vegetais agrícolas (SANTOS et al., 2013).

O desenvolvimento agrícola colaborou para a redução dos riscos, que passaram não apenas a ser presumidos, mas quantificados a partir de cálculos probabilísticos, sobretudo graças à inauguração do que se convencionou denominar agricultura moderna, com a contribuição da ciência e da incorporação da alta tecnologia no campo (SANTOS et al., 2016). Com isso o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) apresenta-se como um importante instrumento para a mitigação de riscos a produção agrícola frente as inevitáveis mudanças climáticas.

## OBJETIVOS

Objetivou-se com esse trabalho realizar o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) da cultura do caju no Ceará sob dois diferentes cenários de mudanças climáticas (B1 e A2).

## MATERIAL E MÉTODOS

O Ceará está localizado na região Nordeste do Brasil, limitando-se a Norte com o Oceano Atlântico; ao Sul com o Estado de Pernambuco; a Leste com os Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba e a Oeste com o Estado do Piauí. Com 148.886,3 km<sup>2</sup>, quase integralmente inserido no semiárido, limita-se ao norte na ponta de Jericoacoara, ao sul em Pena Forte, ao leste na praia de Timbaú e a oeste pela Serra de Ibiapaba. O clima predominante é tropical quente semiárido com pequenas manchas de tropical quente subúmido e úmido e resquícios de tropical subquente úmido (IPECE, 2007).

As exigências de temperatura e chuva (Tabela 1) foram extraídas da metodologia adaptada de MEDEIROS *et al.* (2016) e MEDEIROS (2016), MEDEIROS *et al.* (2018), Serrano (2016), MAPA (2011) e Araújo (2015). Na análise foram avaliadas três classes de aptidão agrícola, sendo elas: Apta, Restrita e Inapta. Foram consideradas as faixas de temperatura média do ar anual (°C) e a precipitação pluviométrica anual (mm). Para estimativas das temperaturas médias um modelo de regressão foi testado, com altitude, latitude e longitude como variáveis independentes e a medida temperatura como a variável dependente, com base no modelo quadrático geral de Oliveira, Arraes & Viana (2013):

$$T_i = A_0 + A_1 \cdot h + A_2 \cdot h^2 + A_3 \cdot \lambda + A_4 \cdot \lambda^2 + A_5 \cdot \varphi + A_6 \cdot \varphi^2 + A_7 \cdot h \cdot \varphi + A_8 \cdot h \cdot \lambda + A_9 \cdot \varphi \cdot \lambda$$

Onde:

T<sub>i</sub> - Temperaturas normais médias mensais (i = 1, 2..., 12); e anual (i=13) estimadas

l - Longitude da estação (INMET) em graus e décimos (valores negativos);

j - Latitude da estação em graus e décimos (valores negativos);

h - Modelo digital de elevação;

N<sub>a</sub> - Coeficientes da equação de regressão.

**Tabela 1:** Classes de aptidão para a cultura do caju.

Aptidão	Temperatura (°C)*	Precipitação Pluviométrica (mm)*
Apta	22 < T <sub>m</sub> < 32	800 < P < 1500
Restrita	16 < T <sub>m</sub> < 22	500 < P < 800
	32 < T <sub>m</sub> < 40	1500 < P < 2000
Inapta	T <sub>a</sub> < 16; T <sub>m</sub> > 40	P < 500; P > 2000

\*MEDEIROS *et al.*, 2016; MEDEIROS, 2016; MEDEIROS *et al.*, 2018; Serrano, 2016; MAPA, 2011 e Araújo 2015.

Os cenários abaixo são projeções feitas pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC). Onde os cenários B1 são os mais otimistas com menos emissão de carbono e menor incremento na temperatura. Os cenários A2 são os mais pessimistas. Neles há maior emissão de carbono para atmosfera e maior incremento na temperatura.

**Tabela 2:** Cenários de chuva e temperatura avaliados

Cenários*	Período	Temperatura	Chuva
-----------	---------	-------------	-------



Normais	1961-1990	Normais	Normais
B1 2040	Até 2040	+0,5 °C	-10%
B1 2070	2041 - 2070	+1,5 °C	-25%
B1 2100	2071 - 2100	+3,5 °C	-40%
A2 2040	Até 2040	+1,0 °C	-25%
A2 2070	2041 - 2070	+2,5 °C	-35%
A2 2100	2070 - 2100	+4,5 °C	-50%

### \*PBMC (2012)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar os cenários B1 nos anos 2040, 2070 e 2100 verifica-se que as classes sofrem respectivamente as seguintes alterações na ocupação do território estudado: Apta: 27,81 %, 5,01 %, 0,07 %. Restrita: 71,93 %, 90,10 %, 42,84 % e Inapta: 0,27 %, 4,90 %, 57,08 %.

## CONCLUSÃO

Conclui-se com as simulações apresentadas que no cenário A2 o aumento de áreas com a classe inapta ocorre de forma mais rápida e intensa. Em ambos os cenários em 2100 as áreas da classe apta tendem a valores insignificantes (0,07 % e 0,06 %), as áreas inaptas tendem a serem majoritárias (57,08 % e 84,41 %). Logo a atividade da cajucultura no Ceará seria drasticamente comprometida em todo o estado.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. P. P. (Ed.) **Caju: o produtor pergunta, a embrapa responde**. Brasília: Embrapa, 2015. Disponível em <https://encurtador.com.br/ijEQ7>. Acesso em: 28 mai. 2023.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Ed.). **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. Cap. 9, p. 161-176. Disponível em: <https://encurtador.com.br/beIKW>. Acesso em: 08 jun. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção Agrícola Municipal**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em 29 mai. 2023.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). **Ceará em mapas: Informações georreferenciadas e especializadas para os 184 municípios cearenses**. Fortaleza, 2007. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/>. Acesso em 05 mar. 2021.

MEDEIROS, R. M. Aptidão climática da cultura do caju na bacia hidrográfica do Rio Ipojuca. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônoma**, v. 15, n. 2, p. 125-138, 2018. Disponível em: <https://encurtador.com.br/gmwxU>. Acesso em: 28 mai. 2023.

MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; FERREIRA, Gleide Lima. Palma forrageira e caju, suas aptidões e zoneamento agroclimático para o município de Recife *In: Congresso Internacional das Ciências Agrárias*, 2016, Vitória de Santp Antão. **Anais[...]**. Vitória de Santo Antão: Instituto

Internacional Despertando Vocações, 2016. Disponível em: <https://encurtador.com.br/epEN1>. Acesso em: 23 jan. 2021.

MEDEIROS, R. M. *et al.* Aptidões climáticas: caju, palma forrageira e milho no município de São Bento do Una-PE, Brasil. **Journal Environmental Analysis and Progress**, v. 3, n. 3, p. 310-318, 2018. Disponível em: <https://encurtador.com.br/ahIK9>. Acesso 28 mai. 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Portaria 39/2011**. Brasília: MAPA. 11 fev., 2011. Disponível em: <https://bitlybr.com/nzsGb>. Acesso em: 09 jun. 2021.

OLIVEIRA, J. B.; ARRAES, F. D. D.; VIANA, P. C. Methodology for the spatialisation of a reference evapotranspiration from SRTM data. **Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 3, p. 445-454, 2013. Disponível em: <https://encurtador.com.br/BRSX3>. Acesso em 28 mai. 2023.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). **Sumário Executivo do Volume 1: Base Científica das Mudanças Climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 para o 1º Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Volume Especial para a Rio+20. Rio de Janeiro, Brasil, 34 p, 2012.

SANTOS, A. M.; GALVÍNCIO, J. D. Mudanças climáticas e cenários de susceptibilidade ambiental à desertificação em municípios do estado de Pernambuco. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 5, n. 13, p. 66-83, 2013. Disponível em <https://shre.ink/HO7L>. Acesso em: 28 mai. 2023.

SANTOS, W. G.; MARTINS, João Isídio Freitas. O Zoneamento Agrícola de Risco Climático e sua contribuição à agricultura brasileira. **Revista de política agrícola**, v. 25, n. 3, p. 73-94, 2016. Disponível em <https://encurtador.com.br/aVXY3>. Acesso em: 28 mai. 2023.

SERRANO, L. A. L. (Ed.) **Sistema de produção do caju**. 2 ed. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2016. Disponível em: <https://encurtador.com.br/hilT4>. Acesso em: 13 jul. 2021.

# **ZONEAMENTO DA CULTURA DO MILHO NO CEARÁ SOB CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

**Pedro Felipe Soares Lima** <sup>1</sup>; **Mateus Lima Silva** <sup>1</sup>; **Maria Fernanda da Silva Vieira** <sup>1</sup>; **Igor Oliveira da Silva** <sup>1</sup>; **Joaquim Branco de Oliveira** <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dicente. Estrada Iguatu - Várzea Alegre, Km 5 S/n, BR-122, 505 - Cajazeiras, Iguatu - CE, 63500-000. INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA ; <sup>2</sup>Docente. Estrada Iguatu - Várzea Alegre, Km 5 S/n, BR-122, 505 - Cajazeiras, Iguatu - CE, 63500-000. INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA

## **RESUMO**

O milho é uma das culturas mais importantes do Brasil, principalmente na região nordeste, onde sua produção é principalmente como cultura de sequeiro sendo muito frequente do consórcio com feijão na agricultura familiar. Este trabalho teve por objetivo realizar o zoneamento da cultura do milho em cenários de mudanças climáticas. Foram implantados pontos pluviométricos em todo o estado para a obtenção dos dados necessários para realização do estudo, juntamente com a construção de mapas de zoneamentos com diferentes cenários de temperatura e de chuva. Houve a detecção que possíveis mudanças climáticas afetam a cultura a ponto de tornar-se inapto seu cultivo em partes do estado. A elevação desproporcional de temperatura e a diminuição de chuvas, acabam tornando a cultura inapta em determinadas áreas dentro do zoneamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura; Evapotranspiração; Temperatura;;

## **INTRODUÇÃO**

O milho (*Zea mays*) é uma das culturas mais antigas do mundo sendo até hoje amplamente cultivada, e desempenha papel fundamental no sistema de produção alimentar brasileiro (Martins, 2012). Apesar de ser uma cultura com boa resistência às adversidades climáticas, a produtividade pode ser bastante reduzida devido à deficiência hídrica, principalmente quando ocorre em torno do período de florescimento (Tommaselli & Villa Nova, 1995). Segundo o IBGE, em 2021 o Brasil colheu cerca de 19.024.538 hectares de milho, sendo que, 557.785 foram colhidas no estado do Ceará. O zoneamento agrícola é uma ferramenta essencial no processo de tomada de decisão, por conta que a partir das análises de variabilidades climáticas de determinada região e de sua especialização local, e assim, permitir a delimitação de regiões com diferentes aptidões ao plantio e diagnóstico do seu risco de perda. Na execução do zoneamento agrícola deve-se avaliar parâmetros climáticos e fisiológicos que afetam as plantas, como, o coeficiente da cultura, evapotranspiração potencial, precipitação, radiação solar, temperatura, disponibilidade de água do solo, ciclo e fase fenológica da planta.

## **OBJETIVOS**

O estudo tem como objetivo analisar as mudanças na adequação climática do estado do Ceará para o plantio de milho, para comparativo com as condições climáticas atuais e possíveis alterações no clima no futuro.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi desenvolvido para o Estado do Ceará, localizado no nordeste brasileiro entre as latitudes 2,5° e 8° sul e longitudes 37° e 42° oeste. De acordo com a classificação climática de Köppen a área de estudo apresenta três climas: BSh, Aw e Cw, com predominância do clima BSh (semiárido) em 80% da área.

Para que fosse possível a obtenção dos dados de precipitação pluviométrica, foram utilizados dados de 294 estações, oriundos de postos pluviométricos e estações meteorológicas do Instituto Nacional

de Meteorologia (INMET) da Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME) e da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), localizados no Estado do Ceará e em estados vizinhos, para que fosse possível a interpolação (Figura 1). Para a simulação, foram utilizados dois cenários, presentes no quadro 1, onde B1 seria o mais otimista quando comparada com A2, que prevê um aumento maior da temperatura e uma diminuição do número de chuvas.

A temperatura média do ar foi estimada e espacializada a partir de um modelo de regressão linear múltipla tendo como variáveis dependente altitude, latitude e longitude conforme procedimentos descritos por Oliveira *et al.* (2013)

$$T_i = A_0 + A_1 \cdot h + A_2 \cdot h^2 + A_3 \cdot \lambda + A_4 \cdot \lambda^2 + A_5 \cdot \varphi + A_6 \cdot \varphi^2 + A_7 \cdot h \cdot \varphi + A_8 \cdot h \cdot \lambda + A_9 \cdot \varphi \cdot \lambda$$

T<sub>i</sub> - temperaturas normais médias mensais (i = 1, 2..., 12); e anual (i=13) estimadas;

l - longitude da estação (INMET) em graus e décimos (valores negativos);

j - latitude da estação em graus e décimos (valores negativos);

h - modelo digital de elevação; A<sub>n</sub> - coeficientes da equação de regressão.

Foram construídos mapas de zoneamentos considerando o cenário padrão a partir das normais climatológicas de 1961-1990. Tanto o cenário otimista quanto o pessimista tiveram sofreram alterações de temperatura e chuva de acordo com o Tabela 1.

**Tabela 1:** Cenários de chuva e temperatura avaliados.

CENÁRIOS*	PERÍODO	TEMPERATURA	CHUVA
Normais	1961-1990	Normais	Normais
B1 2040	Até 2040	+0,5 °C	-10%
B1 2070	2041 - 2070	+1,5 °C	-25%
B1 2100	2071 - 2100	+3,5 °C	-40%
A2 2040	Até 2040	+1,0 °C	-25%
A2 2070	2041 - 2070	+2,5 °C	-35%
A2 2100	2070 - 2100	+4,5 °C	-50%

\* **PBMC (2012)**

Os índices de temperatura e chuva para o milho utilizados foram os propostos por Monteiro (2009), Paulo Junior (2007) e Cruz, et al. (2011). Com os valores da temperatura e umidade encontrados para o estado, inseriu-se os dados no mapa através do software de geoprocessamento Idrisi Selva®. No mesmo software, classificou-se as zonas em aptas, restritas ou inaptas (Tabela 2).

**Tabela 2:** Faixa de aptidão da cultura do milho, temperatura e índice de chuva.

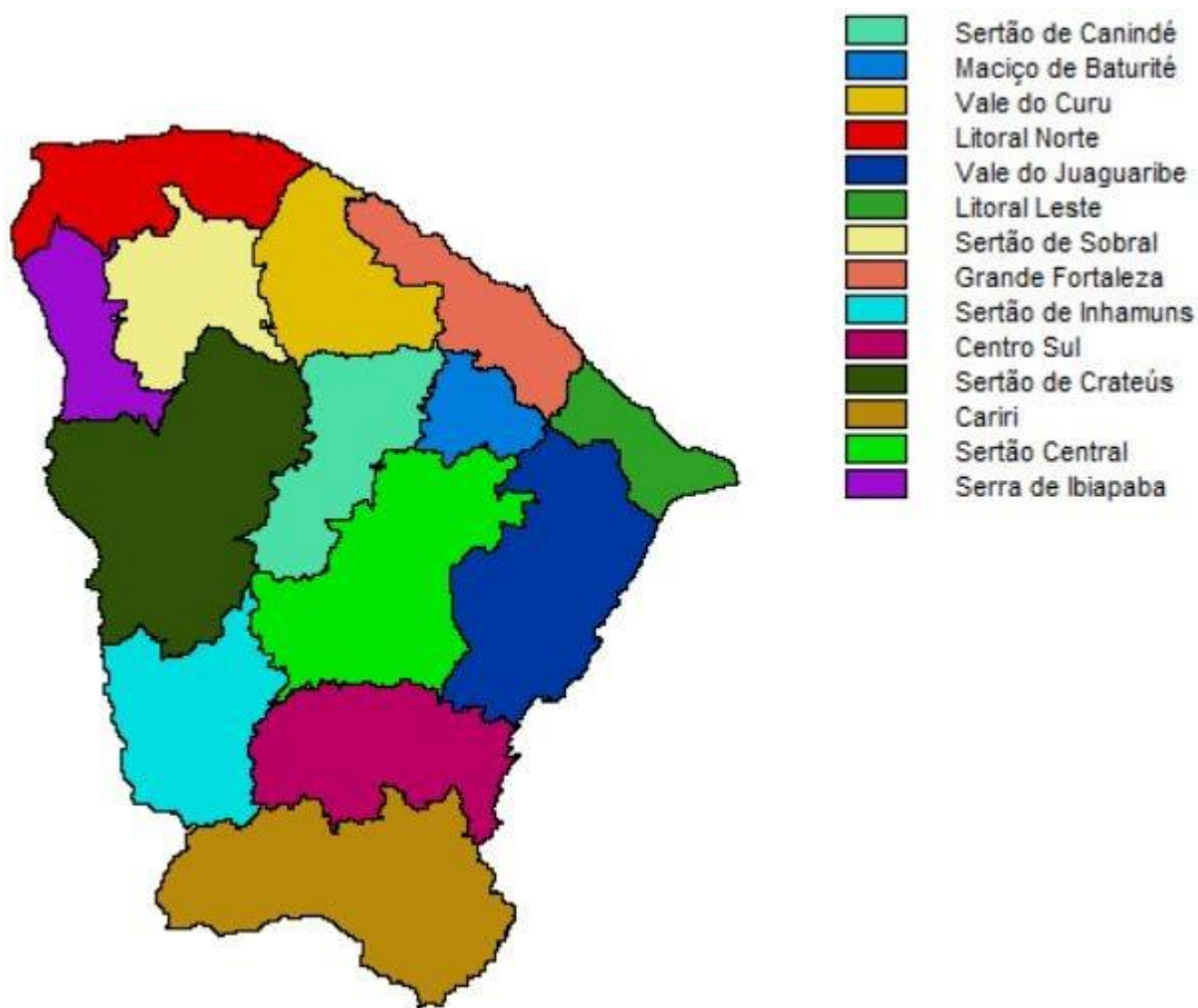
Aptidão*	Temperatura (Tm))	Chuva (Chv)
Apta	26 < Tm < 34	500 < Chv < 600

Restrita	$12 < T_m < 26$ e $34 < T_m < 40$	$350 < Chv < 500$ e $600 < Chv < 1000$
Inapta	$T_m < 12$ e $T_m > 40$	$Chv < 500$ e $Chv > 1000$

\* Monteiro, 2009; Paula Júnior, 2007, Cruz, et al. 2011

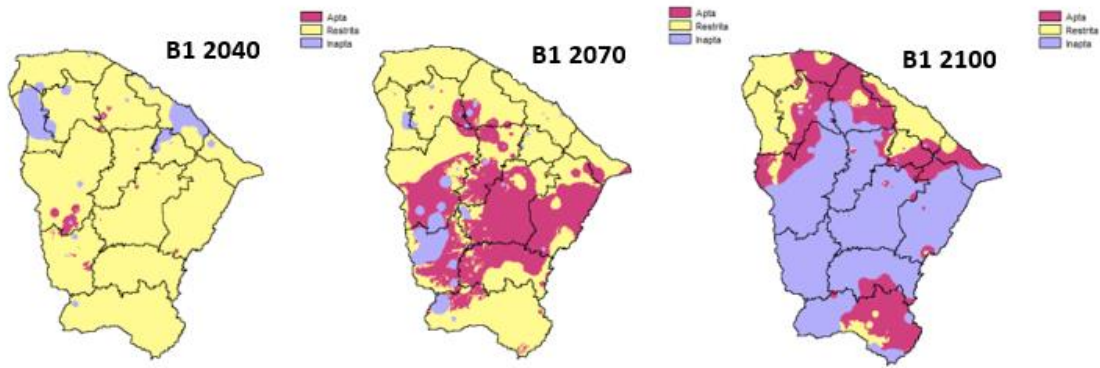
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estado do Ceará é dividido em 13 sub-regiões, onde existem variações de temperatura e de pluviometria, uma parte significativa do estado está apta para a produção da cultura do milho, prova disso é que a cultura do milho vem a ser a mais produzida no estado em questão de área por hectare, a seguir, a figura 1 representa as sub-regiões do estado.



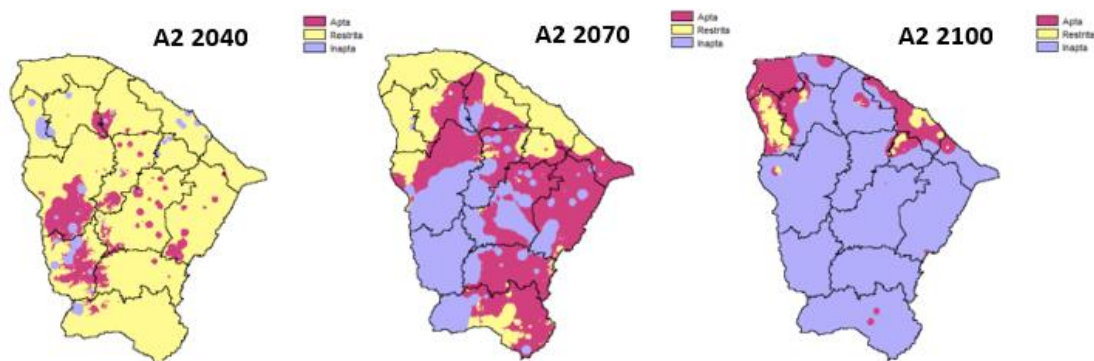
**Figura 1:** Sub-regiões do estado do Ceará.

Quanto aos cenários futuros, observa-se, que o mais otimista dos cenários apresenta em 2070 uma expansão da faixa apta e uma redução da faixa restrita, as zonas aptas mesmo que reduzias, continuam concentradas. Em 2040, apresenta uma grande faixa restrita para a produção, e apenas, alguns pontos de apta e inapta, onde a inapta aparece em maior quantidade proporcional à aptas. Quanto ao cenário em 2100, 72,78% do estado é inapto à produção e apenas pequenas faixas do estado estão aptas para produção, como mostrado na figura 2.



**Figura 2:** Aptidão climática do milho no Ceará para cenário B1 2040, 2070 e 2100.

Observa-se o zoneamento diante do cenário, em 2040 cerca de 8,82% do estado apresenta inapta, 13,41% é apta e 77,77% restrita, o sertão do Inhamuns apresenta maior aptidão. Em 2070, cerca de 55% do estado apresenta aptidão, em relação a 2040 existe um decréscimo na restrição e aumento da inaptidão. Em 2100, cerca de 90% do estado apresentou ser inapto à produção do milho por conta da elevação exacerbada da temperatura e diminuição significativa.



**Figura 3:** Aptidão climática do milho no Ceará para cenário A2 2040, 2070 e 2100.

O acréscimo na temperatura do ar atua de forma direta no aumento da evapotranspiração provocando maior deficiência hídrica, de modo a diminuir os intervalos de menor risco climático nas regiões produtoras, restringindo ainda mais as áreas favoráveis à inserção da cultura no Estado (Campos *et al*, 2009). Toda essa elevação de temperatura e diminuição de chuvas vem a ser totalmente prejudicial, pois, torna a cultura inapta em quase todo território.

## CONCLUSÃO

Conclui-se que, nos cenários de 2070 existe uma expansão da aptidão em diversas regiões do estado, porém, a mesma alteração afeta o estado quase que proporcionalmente, com ênfase no cenário A2 2070 que chega a ser proporcional ambas as classificações, já no cenário de 2100 o estado estará 90% inapto para a produção do milho.

## REFERÊNCIAS

BRITO, S.S.B.; CUNHA, A.P.M.A.; CUNNINGHAM, C.C.; ALVALÁ, R.C.; MARENGO, J.A.; CARVALHO, M.A. **Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region**. International Journal of Climatology, v. 38, n. 2, p. 517-529, 2018.

CAMPOS, J. H. B. C.; SILVA, M. T.; SILVA, V. P. R. **Impacto do aquecimento global no cultivo do feijão-caupi, no Estado da Paraíba**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.14, n.4, p.396-404, 2010

CRUZ, J. V. **Milho: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa, 2011. 338 p.

MARTINS, M.A. **Estimativa de Produtividade das Culturas do Milho e do Sorgo a Partir de Modelos Agrometeorológicos em Algumas Localidades da Região Nordeste do Brasil**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 64 p., 2012

MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.) **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: INMET, 2009. 530 p.

PAULA JÚNIOR, T. J.; VENZON, N. **101 culturas: manual de tecnologias agrícolas**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 800 p.

TOMMASELLI, J.T.G.; VILLA NOVA, N.A. **Épocas de plantio de milho em função das deficiências hídricas no solo em Cambará, PR**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.30, n.4, p.505-514, abr. 1995.

# **ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO PARA A CULTURA DO MARACUJÁ NO ESTADO DO CEARÁ**

**Mairton Oliveira de Lima**<sup>1</sup>; **Joaquim Branco de Oliveira**<sup>2</sup>; **Anderson Cândido Vieira**<sup>1</sup>; **Ismael de Oliveira Cavalcante**<sup>1</sup>; **Maria Fernanda da Silva Vieira**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Discente. Rodovia Iguatu - Várzea Alegre km 05 Vila Cajazeiras, Iguatu, Ceará. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará; <sup>2</sup>Docente. Rodovia Iguatu - Várzea Alegre km 05 Vila Cajazeiras, Iguatu, Ceará. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

## **RESUMO**

O maracujá (*Passiflora edulis*) é uma cultura amplamente produzida na região nordeste do Brasil, sendo o estado do Ceará um dos principais produtores do país. Assim, o presente trabalho teve como objetivo realizar o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) em cenários de mudanças climáticas para a cultura do maracujazeiro no Estado do Ceará. Para isso, dados de precipitação pluviométrica e temperatura foram utilizados para simular dois cenários diferentes de mudanças climáticas (B1 e A2). Consequentemente, foi possível verificar as alterações das três classes de aptidão (apta, restrita e inapta) ao longo do tempo. Os resultados mostram que as mudanças climáticas tendem a comprometer drasticamente a capacidade produtiva das áreas consideradas adequadas, consequentemente aumentando as áreas impróprias para o cultivo do maracujazeiro já em 2040.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mudanças climáticas; Fruticultura; Gestão de riscos;;

## **INTRODUÇÃO**

De acordo com informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), no ano de 2021 a ocupação territorial de plantações de maracujá (*Passiflora edulis*) no Brasil correspondia a 45 mil hectares, sendo que 71,7 % desse total concentrava-se na região Nordeste, o estado do Ceará é o segundo maior produtor do país com 7 mil hectares, ou seja, 22,8 % da área total. Em termos estatísticos, o Ceará produziu 177.291 toneladas de maracujá, o equivalente a 25,9 % da produção nacional, o rendimento médio da produção foi o terceiro maior do Brasil com 24.043 quilogramas por hectare.

As projeções climáticas preveem importantes alterações nos padrões de temperatura e precipitação para os biomas brasileiros, podendo influenciar a disponibilidade e a utilização dos recursos dos quais dependem os meios de vida humanos (MAGRIN *et al.*, 2014). O aquecimento adicional e a provável redução dos índices pluviométricos devem desencadear e acelerar processos de desertificação, aumentando ainda mais as áreas impróprias ao cultivo de várias espécies de vegetais agrícolas (SANTOS *et al.*, 2013).

Sabendo-se que as instabilidades climáticas são os principais eventos responsáveis pelas perdas na agricultura nacional, foi realizado um estudo de caráter espaço-temporal, para a identificação das áreas de maior risco para a agricultura brasileira, dando origem ao que hoje se conhece como Zarc, programa transformado em política pública do governo federal e que indica para cada município o que plantar, onde plantar e quando plantar (ASSAD *et al.*, 2008). Com isso, o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc) apresenta-se como um importante instrumento para a mitigação de riscos a produção agrícola da cultura do maracujá no Ceará frente aos inevitáveis cenários de mudanças climáticas.

## **OBJETIVOS**

Objetivou-se com esse trabalho realizar o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) da cultura do maracujá no Ceará sob dois diferentes cenários de mudanças climáticas (B1 e A2).



## MATERIAL E MÉTODOS

O Ceará está localizado na região Nordeste do Brasil. Com área de 148.886,3 km<sup>2</sup>, quase integralmente inserido no semiárido. O clima predominante é tropical quente semiárido com pequenas manchas de tropical quente subúmido e úmido e resquícios de tropical subquente úmido (IPECE, 2007).

As exigências de temperatura e chuva (Tabela 1) foram extraídas da metodologia de (FALEIRO e JUNQUEIRA, 2016; MAPA, 2009; PAULA JÚNIOR e VENZON, 2007). Na análise foram avaliadas três classes de aptidão agrícola, sendo elas: Apta, Restrita e Inapta. Foram consideradas as faixas de temperatura média do ar anual (°C) e a precipitação pluviométrica anual (mm). Para estimativas das temperaturas médias um modelo de regressão foi testado, com altitude, latitude e longitude como variáveis independentes e a medida temperatura como a variável dependente, com base no modelo quadrático geral de Oliveira, *et al.* (2013):

$$T_i = A_0 + A_1 \cdot h + A_2 \cdot h^2 + A_3 \cdot \lambda + A_4 \cdot \lambda^2 + A_5 \cdot \varphi + A_6 \cdot \varphi^2 + A_7 \cdot h \cdot \varphi + A_8 \cdot h \cdot \lambda + A_9 \cdot \varphi \cdot \lambda$$

Onde:

T<sub>i</sub> - Temperaturas normais médias mensais (i = 1, 2..., 12); e anual (i=13) estimadas

l - Longitude da estação (INMET) em graus e décimos (valores negativos);

j - Latitude da estação em graus e décimos (valores negativos);

h - Modelo digital de elevação;

N<sub>a</sub> - Coeficientes da equação de regressão.

**Tabela 1:** Classes de aptidão para a cultura do caju.

Aptidão	Temperatura Média (°C)*	Precipitação Pluviométrica (mm)**
Apta	25 < T <sub>m</sub> < 30	1200 < P > 1900
Restrita	16 < T <sub>m</sub> < 25	800 < P < 1200
	30 < T <sub>m</sub> < 35	
Inapta	T <sub>m</sub> < 16; T <sub>m</sub> > 35	P < 800

\*MAPA, 2009; Paula Júnior e Venzon, 2007. \*\*MAPA, 2009; Faleiro e Junqueiro 2016; Paula Júnior e Venzon, 2007.

Os cenários abaixo são projeções feitas pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC). Onde os cenários B1 são os mais otimistas com menos emissão de carbono e menor incremento na temperatura. Os cenários A2 são os mais pessimistas. Neles há maior emissão de carbono para atmosfera e maior incremento na temperatura.

**Tabela 2:** Cenários de chuva e temperatura avaliados

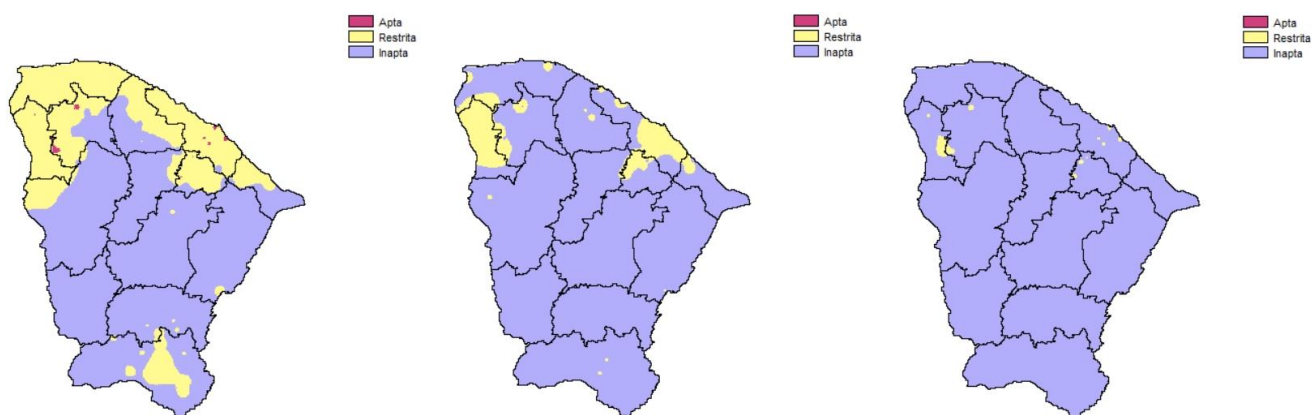
Cenários*	Período	Temperatura	Chuva
Normais	1961-1990	Normais	Normais

B1 2040	Até 2040	+0,5 °C	-10%
B1 2070	2041 - 2070	+1,5 °C	-25%
B1 2100	2071 - 2100	+3,5 °C	-40%
A2 2040	Até 2040	+1,0 °C	-25%
A2 2070	2041 - 2070	+2,5 °C	-35%
A2 2100	2070 - 2100	+4,5 °C	-50%

**\*PBMC (2012)**

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao verificar os resultados obtidos nos três cenários B1 referentes aos anos de 2040, 2070 e 2100 nota-se que as classes de aptidão sofrem respectivamente as seguintes alterações na ocupação do território estudado: Apta: 0,22 %, 0,0 %, 0,0 %. Restrita: 30,19 %, 8,42 %, 0,61 % e Inapta: 69,59 %, 91,58 %, 99,39 %.

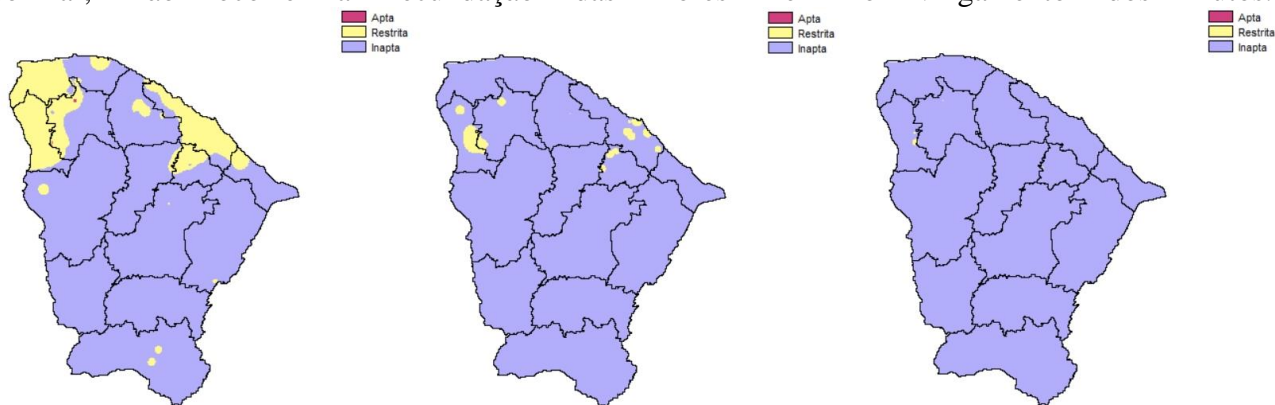


**Figura 1.** Classes de aptidão com base no cenário B1.

Ao analisar os resultados obtidos nos três cenários A2 referentes aos anos de 2040, 2070 e 2100 verifica-se que as classes de aptidão sofrem respectivamente as seguintes alterações na ocupação do território estudado: Apta: 0,02 %, 0,0 %, 0,0 %. Restrita: 15,57 %, 1,69 %, 0,06 % e Inapta: 84,41 %, 98,31 %, 99,94 %.

Com a elevação da temperatura o cultivo do maracujazeiro será drasticamente afetado, segundo Faleiro e Junqueira (2016) temperaturas elevadas, principalmente durante a noite, inibem o florescimento dessa espécie e quando essas altas temperaturas são aliadas à baixa umidade relativa

do ar, não ocorre a fecundação das flores nem o vingamento dos frutos.



**Figura 2.** Classes de aptidão com base no cenário A2.

Análogo a este trabalho o estudo realizado por Bezerra *et al.* (2019) obteve resultados com base em modelos de previsão de mudanças climáticas, em dois futuros cenários, sendo eles um moderado e um pessimista, os mesmos constataram que as áreas propícias ao cultivo da cultura do maracujá serão amplamente afetadas com as alterações no clima.

## CONCLUSÃO

Conclui-se com as simulações apresentadas em ambos os cenários que já em 2040 o cultivo do maracujá estará seriamente comprometido. Na progressão dos cenários a classe Inapta ocupa quase que a totalidade do território estudado. Em condições naturais, a produção local de maracujá se extinguiria.

## REFERÊNCIAS

ASSAD, E. D. *et al.* Zoneamento agrícola de riscos climáticos do Brasil: base teórica, pesquisa e desenvolvimento. *Informe Agropecuário*, v. 29, n. 246, p. 47-60, 2008. Disponível em: <https://encurtador.com.br/qDIQ1>. Acesso em 26 ago. 2023.

BEZERRA, A. D. M. *et al.* Agricultural area losses and pollinator mismatch due to climate changes endanger passion fruit production in the Neotropics. *Agricultural systems*, v. 169, p. 49-57, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.12.002>. Acesso em 05 jun. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção Agrícola Municipal**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em 01 jun. 2023.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). **Ceará em mapas**: Informações georreferenciadas e especializadas para os 184 municípios cearenses. Fortaleza, 2007. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/>. Acesso em 05 mar. 2021.

FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V. **Maracujá**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: EMBRAPA, 2016. 341 p. (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas)

MAGRIN, G. *et al.* Central and South America. In: BARROS, V. R. *et al.* (Eds.). **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Portaria 389/2009**: zoneamento agrícola para a cultura de maracujá no Estado do Ceará. Brasília: MAPA, 2011. 3 p.

OLIVEIRA, J. B.; ARRAES, F. D. D.; VIANA, P. C. Methodology for the spatialisation of a reference evapotranspiration from SRTM data. **Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 3, p. 445-454, 2013.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). **Sumário Executivo do Volume 1**: Base Científica das Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 para o 1º Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Volume Especial para a Rio+20. Rio de Janeiro, Brasil, 2012. 34 p.

PAULA JÚNIOR, T. J.; VENZON, N. **101 culturas**: manual de tecnologias agrícolas. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 800 p.

SANTOS, A. M.; GALVÍNCIO, J. D. Mudanças climáticas e cenários de susceptibilidade ambiental à desertificação em municípios do estado de Pernambuco. **Observatorium**: Revista Eletrônica de Geografia, v. 5, n. 13, p. 66-83, 2013. Disponível em <https://shre.ink/HO7L>>. Acesso em: 28 mai. 2023.

# ZONEAMENTO DA CULTURA DO ALGODÃO NO ESTADO DO CEARÁ DIANTE A VARIAÇÃO CLIMÁTICA

**Maria Fernanda da Silva Vieira**<sup>1</sup>; **Joaquim Branco de Oliveira**<sup>2</sup>; **Pedro Felipe Soares Lima**<sup>1,3</sup>; **Mairton Oliveira de Lima**<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Discente . Iguatu. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará; <sup>2</sup>Docente . Iguatu. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará; <sup>3</sup>Discente . Iguatu. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará; <sup>4</sup>Discente . Iguatu. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

## RESUMO

O algodoeiro é uma cultura agrícola de suma importância em escala global, destacando-se por sua notável capacidade de adaptação a regiões de clima semiárido. O objetivo principal deste trabalho consiste em realizar o zoneamento da cultura do algodão herbáceo para o estado do Ceará, levando em consideração os cenários otimista e pessimista de mudanças climáticas. A utilização de um software de geoprocessamento se mostra essencial para a visualização dos dados coletados, enquanto a classificação das diferentes zonas possibilita uma interpretação mais precisa dos resultados obtidos. Tal metodologia desempenha um papel fundamental na tomada de decisões estratégicas no âmbito do setor agrícola. Tanto no cenário mais otimista quanto no cenário mais pessimista, constatou-se que a maior parte do estado do Ceará será considerada inadequada para o cultivo de algodão em regime de sequeiro. Em um cenário mais pessimista, é estimado que, até o ano de 2100, aproximadamente 90% da área total do estado não apresentará condições adequadas para o cultivo de algodão em regime de sequeiro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Clima; Produção; Temperatura;;

## INTRODUÇÃO

O cultivo do algodoeiro é estratégico para a economia do sertão nordestino, uma vez que a geração de empregos diretos e indiretos é proeminente em diversas etapas das atividades de produção, desde o beneficiamento a indústria têxtil. A cotonicultura exibe uma resiliência notável ao lidar com as condições climáticas do semiárido, mesmo em face a sérias adversidades hídricas e temperaturas elevadas, seu desempenho produtivo permanece excepcionalmente robusto, tornando-a uma cultivar de grande valor para o estado do Ceará. A produtividade do algodão é influenciada por uma série de fatores climáticos, sendo a temperatura a principal protagonista, é notório o seu poder de impactar tanto o desenvolvimento vegetativo quanto reprodutivo dessa cultura. Portanto, faz-se necessário monitorar constantemente suas oscilações para que as condições ideais sejam mantidas para que os resultados maximizados. O zoneamento edafoclimático é uma análise complementar que leva em consideração a potencialidade natural de uma região para determinada cultura. Além do clima, a análise considera também aspectos edáficos e pedológicos, sendo, em geral, avaliados na mesma escala do zoneamento agroclimático. Já o zoneamento agrícola de risco climático, utiliza funções matemáticas e estatísticas para quantificar o risco de perda das lavouras, baseado em históricos de eventos climáticos adversos. Com esse estudo detalhado, é possível tomar decisões mais precisas e reduzir os riscos de perdas econômicas.

## OBJETIVOS

Fazer o zoneamento para cultura do algodão herbáceo para o estado do Ceará, considerando os cenários otimista e pessimista de alterações climáticas

## MATERIAL E MÉTODOS

O Ceará é um estado localizado na região Nordeste do Brasil, tendo como fronteiras o oceano Atlântico ao norte e nordeste, Rio Grande do Norte e Paraíba ao leste, Pernambuco ao sul e Piauí ao oeste. Abrangendo 9,37% da área do Nordeste e 1,74% da superfície do país, o estado tem uma área total de 148.920,472 km<sup>2</sup>. Com um clima predominantemente semiárido (BSh) e tropical (As), o Ceará possui índices pluviométricos menores do que 500 mm em algumas áreas, mas também pode chegar a 1.000 mm em outras áreas. O clima semiárido brando, como na área semiárida do Cariri e nas cidades próximas à faixa litorânea, pode ter temperaturas médias elevadas, com pequena amplitude anual de aproximadamente 5°C, variando de cerca de 20°C no topo das serras a até 28°C nos sertões mais quentes. Para estimativas precisas da temperatura média, máxima e mínima do ar, utilizamos o método proposto por Oliveira, Arraes e Viana (2013).

$$T_i = A_0 + A_1 \cdot h + A_2 \cdot h^2 + A_3 \cdot \lambda + A_4 \cdot \lambda^2 + A_5 \cdot \varphi + A_6 \cdot \varphi^2 + A_7 \cdot h \cdot \varphi + A_8 \cdot h \cdot \lambda + A_9 \cdot \varphi \cdot \lambda$$

T<sub>i</sub> - temperaturas normais médias mensais (i = 1, 2..., 12); e anual (i=13) estimada;

λ - longitude da estação (INMET) em graus e décimos (valores negativos);

φ - latitude da estação em graus e décimos (valores negativos);

h - modelo digital de elevação;

Para a obtenção dos dados de precipitação pluviométrica, foram coletados informações de 294 estações, sendo provenientes de postos pluviométricos e estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME) e da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), localizadas em todo o Estado do Ceará e em regiões próximas. Os dados foram interpolados para a realização da simulação, em dois cenários apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Cenários de chuva e temperatura avaliados

CENÁRIOS*	PERÍODO	TEMPERATURA	CHUVA
Normais	1961-1990	Normais	Normais
B1 2040	Até 2040	+0,5 °C	-10%
B1 2070	2041 - 2070	+1,5 °C	-25%
B1 2100	2071 - 2100	+3,5 °C	-40%
A2 2040	Até 2040	+1,0 °C	-25%
A2 2070	2041 - 2070	+2,5 °C	-35%
A2 2100	2070 - 2100	+4,5 °C	-50%

\*Fonte: PBMC (2012)

Para a análise dos índices de temperatura e chuva para o cultivo do milho, foram utilizados os métodos propostos por Paulo Junior; Venzon (2007), MAPA (2020), Reas (2018) e Monteiro (2009). Com base nos dados coletados de temperatura e umidade do estado, foi realizada a inserção dos dados no mapa por meio do software de geoprocessamento Idrisi Selva®. Também foi feita a classificação das zonas em aptas, restritas e inaptas, de acordo com o quadro 2

Tabela 2: Faixa de aptidão da cultura do algodão, temperatura e índice de chuva.

Aptidão	Temperatura	Chuva
Apta	$20^{\circ}\text{C} < T_m < 30^{\circ}\text{C}$	$700 < \text{Chv} < 1500$
Restrita	$15.5^{\circ}\text{C} < T_m < 20^{\circ}\text{C}$ e $30^{\circ}\text{C} < T_m < 35^{\circ}\text{C}$	$500 < \text{Chv} < 700$
Inapta	$T_m < 15.5^{\circ}\text{C}$ e $T_m > 35^{\circ}\text{C}$	$\text{Chv} < 500$ e $\text{Chv} > 1500$

Os métodos utilizados propiciam uma avaliação precisa e confiável das condições climáticas e de solo aptas para o cultivo do algodão. A utilização do software de geoprocessamento permite uma visualização facilitada dos dados coletados, e a classificação das zonas possibilita uma interpretação mais precisa dos resultados obtidos. Essa metodologia é fundamental para a tomada de decisões estratégicas no setor agrícola.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estado do Ceará compreende o total de 13 sub-regiões, que em geral, possuem uma estação chuvosa concentrada em determinados meses do ano, o que resulta em um clima semiárido. Essa distribuição irregular das chuvas é um desafio para a agricultura e a disponibilidade de recursos hídricos na região. É comum o algodoeiro ser cultivado em regiões com temperaturas abaixo de  $15^{\circ}\text{C}$ , como por exemplo, nos Estados Unidos e acima de  $40^{\circ}\text{C}$  como na Índia, portanto, ainda não é possível afirmar que o estresse térmico cause perdas significativas na produtividade de algodão (ECHER, 2014).

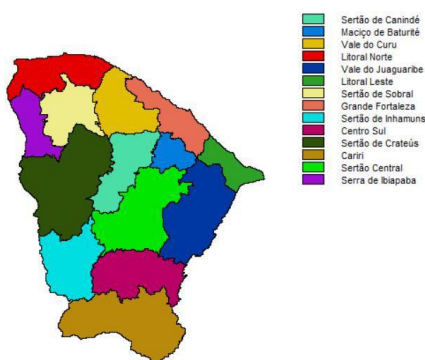
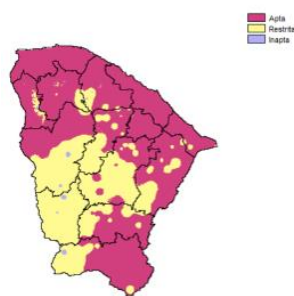


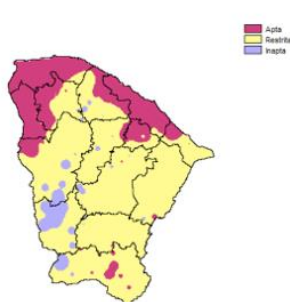
Figura 1: Sub-regiões do estado do Ceará.

Ao analisar os seguintes mapas, observamos que o cenário que é mais proveitoso para o cultivo é o de 2040, onde maior parte do estado está apto a produção do algodão. No ano de 2070 o estado apresenta um grande decréscimo em área apta ao desenvolvimento apresentando assim áreas apropriadas apenas no litoral, abrangendo também a serra da Ibiapaba, Baturité e em poucos pontos específicos do estado. O cenário mais preocupante para o estado é em 2100 onde maior parte do estado estará restrito ao cultivo, possuindo apenas pontos de produção nas regiões anteriormente citadas.

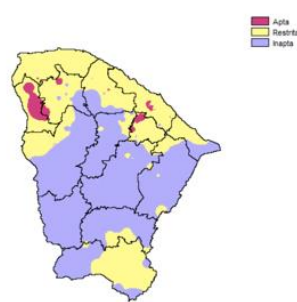
Cenário B1 2040



Cenário B1 2070



Cenário B1 2100

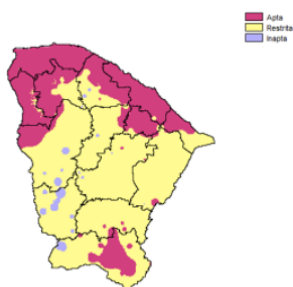


Mapa Descrição gerada automaticamente

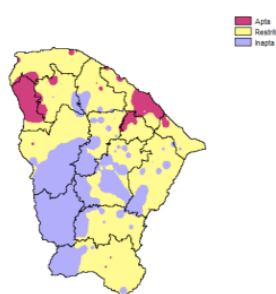
Figura 2: Cenários de aptidão para a produção de algodão no Ceará B1 2040, 2070 e 2100.

No zoneamento observa-se que o cenário é mais otimista para o estado é no ano de 2040, onde ainda existem aproximadamente sete regiões do estado aptas para produção de algodão, porém com o acréscimo da temperatura e a redução dos índices pluviométricos, os demais cenários analisados são extremamente preocupantes, sendo que no ano de 2070 o decréscimo da área apta é bastante significativo e no ano de 2100 é praticamente inviável a produção do algodão no estado.

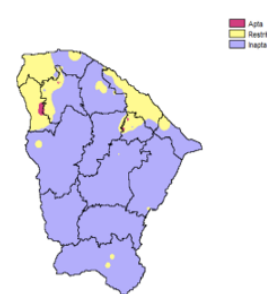
Cenário A2 2040



Cenário A2 2070



Cenário A2 2100



Mapa Descrição gerada automaticamente

Figura 3: Cenários de aptidão para a produção de algodão no Ceará A2 2040, 2070 e 2100.

## CONCLUSÃO

Tanto no cenário mais otimista quanto o pessimista, a maior parte do estado do Ceará será inapta ao cultivo de sequeiro do algodão. No cenário mais pessimista, até 2100, cerca de 90% da área do Estado não apresentará condições adequadas ao cultivo de sequeiro do algodão.

## REFERÊNCIAS

COSTA, J. M. N.; ANTUNES, F. Z.; SANTANA, D. P. Zoneamento climático e planejamento agrícola. Informe Agropecuário, v. 12, n. 138, p. 14, 1986.

ECHER, F. R. O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes. Cuiabá: Instituto Mato - Grossense do Algodão, 2017. 123p.

PAULA JÚNIOR, T. J.; VENZON, N. 101 culturas: manual de tecnologias agrícolas. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 800 p.



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Portaria 201/2020: Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura do algodão herbáceo no Estado do Ceará. Brasília: MAPA. 20 ago., 2020.

MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.) Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2009. 530 p.

RAES, D. et al. AquaCrop: reference manual. Rome: FAO, 2018. 87 p. (Annexes AquaCrop, version 6.0-6.1).

WALDHEIM, P. V. et al. Zoneamento climático da cana-de-açúcar, da laranja e do algodão herbáceo para a região nordeste do Brasil. Anuário do Instituto de Geociências, v. 29, n. 2, p. 30-43, 2006.

# **ZONEAMENTO DA CULTURA DO feijão caupi NO CEARÁ SOB CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

**Pedro Felipe Soares Lima <sup>1</sup>; Mateus Lima Silva <sup>1</sup>; Maria Fernanda da Silva Vieira <sup>1</sup>; Igor Oliveira da Silva <sup>1</sup>; Joaquim Branco de Oliveira <sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Dicente. Estrada Iguatu - Várzea Alegre, Km 5 S/n, BR-122, 505 - Cajazeiras, Iguatu - CE, 63500-000. INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA ; <sup>2</sup>Docente. Estrada Iguatu - Várzea Alegre, Km 5 S/n, BR-122, 505 - Cajazeiras, Iguatu - CE, 63500-000. INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA

## **RESUMO**

O feijão caupi está presente diariamente na mesa dos brasileiros, principalmente na região nordeste, onde sua produção é principalmente como cultura de sequeiro sendo muito frequente do consórcio com milho na agricultura familiar. Este trabalho teve por objetivo realizar o zoneamento da cultura do caupi em cenários de mudanças climáticas. Foram implantados pontos pluviométricos em todo o estado para a obtenção dos dados necessários para realização do estudo, juntamente com a construção de mapas de zoneamentos com diferentes cenários de temperatura e de chuva. Houve a detecção que possíveis mudanças climáticas afetam a cultura a ponto de restringir seu cultivo em partes do estado. A elevação desproporcional de temperatura e a diminuição de chuvas, acabam tornando a cultura restrita em determinadas áreas dentro do zoneamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Evapotranspiração; Geoprocessamento; Produção;;

## **INTRODUÇÃO**

O feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), conhecido também como feijão-de-corda, é uma cultura de grande importância socioeconômica, principalmente, para a população do semiárido, onde representa uma das principais fontes de proteína para as famílias, além de fixar mão de obra no campo e gerar emprego. É uma excelente fonte de proteínas (23% a 25% em média), apresentando todos os aminoácidos essenciais, carboidratos, vitaminas e minerais, além de possuir grande quantidade de fibras dietéticas, baixa qualidade de gordura e não conter colesterol (Granjeiro et al., 2005). As temperaturas ideais para o desenvolvimento da cultura estão na faixa de 18°C a 34°C. A elevação de temperatura pode acabar prejudicando o crescimento e o desenvolvimento da cultura, tendo influência direta sobre o abortamento de flores, o vingamento e a retenção final de vagens, afetando também o número de sementes por vagem. O feijão caupi exige um mínimo de 300 mm de precipitação ao longo do ciclo. As limitações hídricas estão mais relacionadas à distribuição pluvial do que à quantidade total de chuvas ocorridas durante o ciclo. Déficit hídrico, próximo e anterior ao florescimento, pode ocasionar retração do crescimento vegetativo, limitando a produção. O cultivo de feijão-caupi foi indicado como favorável apenas para as datas de semeadura compreendidas entre 15 de dezembro e 25 de março, período esse que coincide com o início da pré-estação e o pleno estabelecimento da quadra chuvosa no Estado do Ceará (FUNCEME, 2005). Para o sucesso de implantação de uma determinada cultura, a utilização do zoneamento agroclimático, torna-se uma ferramenta de muita utilidade, pois caracteriza o local com maior probabilidade de êxito em termos de produtividade e rentabilidade (SANTOS, 2012).

## **OBJETIVOS**

O estudo teve por realizar o zoneamento da cultura do caupi em dois cenários de mudanças climáticas sendo um mais otimista e outro pessimista em períodos limites até 2040, 2070 e 2100.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi desenvolvido para o Estado do Ceará, localizado no nordeste brasileiro entre as latitudes 2,5° e 8° sul e longitudes 37° e 42° oeste. De acordo com a classificação climática de Koppen a área de estudo apresenta três climas: BSh, Aw e Cw, com predominância do clima BSh (semiárido) em 80% da área.

Para que fosse possível a obtenção dos dados de precipitação pluviométrica, foram utilizados dados de 294 estações, oriundos de postos pluviométricos e estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME) e da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), localizados no Estado do Ceará e em estados vizinhos, para que fosse possível a interpolação (Figura 1). Para a simulação, foram utilizados dois cenários, presentes na Tabela 1, onde B1 seria o mais otimista quando comparada com A2, que prevê um aumento maior da temperatura e uma diminuição do número de chuvas.

A temperatura média do ar foi estimada e espacializada a partir de um modelo de regressão linear múltipla tendo como variáveis dependente altitude, latitude e longitude conforme procedimentos descritos por Oliveira *et al.* (2013)

$$T_i = A_0 + A_1 \cdot h + A_2 \cdot h^2 + A_3 \cdot \lambda + A_4 \cdot \lambda^2 + A_5 \cdot \varphi + A_6 \cdot \varphi^2 + A_7 \cdot h \cdot \varphi + A_8 \cdot h \cdot \lambda + A_9 \cdot \varphi \cdot \lambda$$

T<sub>i</sub> - temperaturas normais médias mensais (i = 1, 2..., 12); e anual (i=13) estimadas;

l - longitude da estação (INMET) em graus e décimos (valores negativos);

j - latitude da estação em graus e décimos (valores negativos);

h - modelo digital de elevação; A<sub>n</sub> - coeficientes da equação de regressão.

Foram construídos mapas de zoneamentos considerando o cenário padrão a partir das normais climatológicas de 1961-1990. Tanto o cenário otimista quanto o pessimista tiveram sofreram alterações de temperatura e chuva (Tabela 1).

**Tabela 1:** Cenários de chuva e temperatura avaliados.

CENÁRIOS*	PERÍODO	TEMPERATURA	CHUVA
Normais	1961-1990	Normais	Normais
B1 2040	Até 2040	+0,5 °C	-10%
B1 2070	2041 - 2070	+1,5 °C	-25%
B1 2100	2071 - 2100	+3,5 °C	-40%
A2 2040	Até 2040	+1,0 °C	-25%
A2 2070	2041 - 2070	+2,5 °C	-35%
A2 2100	2070 - 2100	+4,5 °C	-50%

**\*PBMC (2012)**

Foram gerados mapas de temperatura e chuva para cada cenário, os quais foram cruzados para obter os mapas de zoneamento por cenário estudado utilizando o programa Idrisi Selva©. Os mapas foram categorizados em três classes de aptidão (Apta, Restrita e Inapta) de acordo com os índices propostos para o caupi por Barros et al. (2012) e Andrade Júnior et al. (2002) e descritos na Tabela 2.

**Tabela 2:** Faixa de aptidão da cultura do feijão caupi, temperatura e índice de umidade.

Aptidão*	Temperatura (Tm)	Chuva (Chv)
Apta	$21 < Tm < 30$	$300 < Chv < 1000$
Restrita	$18 < Tm < 21$ e $30 < Tm < 34$	$250 < Chv < 300$ e $Chv > 1000$
Inapta	$Tm < 18$ e $Tm > 34$	$Chv < 250$

\* Barros et al. (2012) e Andrade Júnior et al. (2002)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estado do Ceará é dividido em 13 sub-regiões, onde existem variações de temperatura e de pluviometria, uma parte majoritária do estado está apta para a produção da cultura do feijão caupi, prova disso é que a cultura do feijão caupi é produzida em praticamente todo o estado, a seguir, a figura 1 representa as sub-regiões do estado.

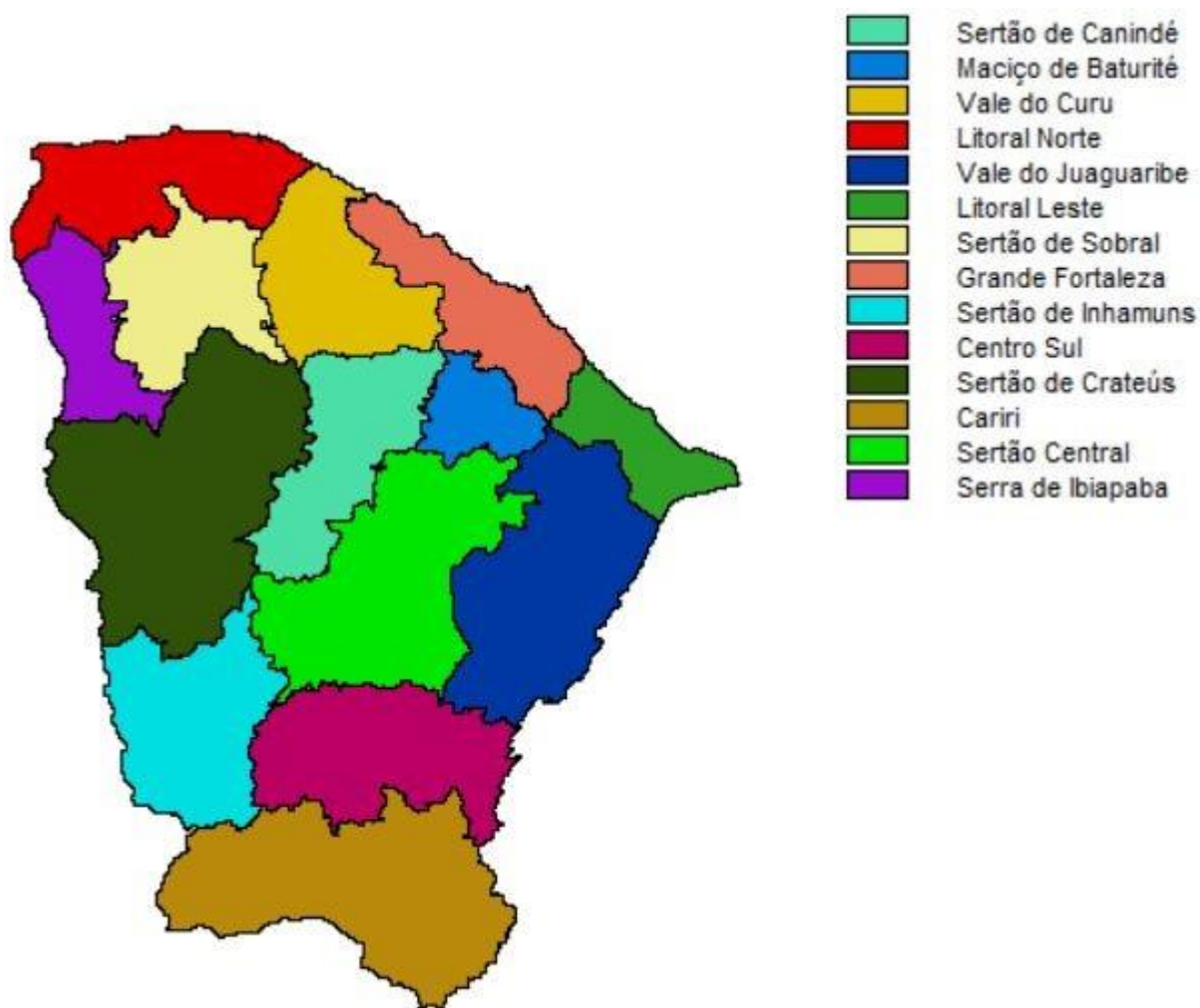


FIGURA 1. Sub-regiões do estado do Ceará.

De acordo com o zoneamento referente a possíveis cenários, é possível observar que o cenário B1 2070 é o mais promissor, pois, praticamente todo o estado estará apto para desenvolver a cultura, apenas uma leve faixa de restrição na região da serra da Ibiapaba, que não chega a representar 1% de

restrição, quanto ao cenário mais desfavorável, é apresentado o cenário B1 2100, onde a faixa de restrição de expande principalmente na região do vale do Jaguaribe, quanto no litoral leste, como pode-se observar na figura 2.



FIGURA 2. Aptidão climática do feijão caupi no Ceará para cenário B1 2040, 2070 e 2100.

Como pode-se observar em outros cenários, como o A2 2100, onde a temperatura se eleva de forma exacerbada e quantidade de chuva diminui proporcionalmente a temperatura, o índice de áreas restritas se expandem a regiões que são consideravelmente aptas, regiões como o Vale do Jaguaribe e do Sertão Central e Litoral Leste, essa última região passa a ser inteiramente restrita, já no melhor cenário A2 2070, o estado praticamente inteiro estará apto para a produção da cultura, como observa-se na figura 3.



FIGURA 3. Aptidão climática do feijão caupi no Ceará para cenário A2 2040, 2070 e 2100.

Fortalece a constatação de que o aumento de temperatura do ar é evidente e se deve manejar as culturas de forma que elas se adaptem às novas condições climáticas (Moraes, 2004), sendo assim, é recomendado que seja realizado na cultura uma forma de melhoramento de plantas para adaptá-las aos estresses ambientais.

## CONCLUSÃO

Conclui-se que ambos os cenários referentes ao ano de 2070 seriam os ideais para a produção em todo o estado, e assim, traria benefícios econômicos significativos para os produtores. Como

observado, o ano de 2100 em ambos os cenários teria elevações desproporcionais de temperaturas e diminuição das chuvas de modo que a produção teria impactos negativos no estado.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE JÚNIOR, A. S. et al. **Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp).** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 108 p. (Sistemas de Produção, 2).

BARROS, A. H. C.; VAREJÃO-SILVA, M. A.; TABOSA, J. N. **Aptidão Climática do Estado de Alagoas para Culturas Agrícolas.** Embrapa Solos. Recife: 2012, p.104. 2012

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Chuvas no Ceará.** Fortaleza, 2005a. Disponível em: <<http://www.funceme.br/DEPAM/index.htm>>. Acesso em: 12 dez. 2005.

GRANJEIRO, T. B.; CASTELLÓN, R. E. R.; ARAÚJO, F.M.M. C.; SILVA, S. M. S; FREIRE, E. A.; CAJAZEIRAS, J. B.; ANDRADE NETO, M.; GRANJEIRO, M. B.; CAVADA, B. S. Composição bioquímica da semente. In: FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (Org). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 339 - 365.

MORAES, O. C. C. Ameaça na floresta submersa. *Scientific American*, n.24, 2004.

OLIVEIRA, J. B.; ARRAES, F. D. D.; VIANA, P. C. Methodology for the spatialisation of a reference evapotranspiration from SRTM data. **Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 3, p. 445-454, 2013.

PBMC. Sumário executivo do volume 1: Base Científica das Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 para o 1o Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Volume Especial para a Rio+20. Rio de Janeiro: PBMC, 2012. 34 p. (Volume Especial).

SANTOS, E. D. Diagnóstico da aptidão climática de culturas para São João do Cariri - PB. **Climate Change, Impacts and vulnerabilities in Brazil: Preparing the Brazilian northeast for the future.** Natal-RN, Brazil, 2012.

## ***Evolução do índice de aridez em cenário de mudanças climáticas no Ceará***

**Anderson Cândido Vieira <sup>1</sup>; Joaquim Branco de Oliveira <sup>2</sup>; Amanda Cibely Fernandes Casé <sup>3</sup>; Mairton Oliveira de Lima <sup>1</sup>; Abrahão Antônio Pereira da Silva <sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Discente do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrícola. Iguatu, CE. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE; <sup>2</sup>Docente. Iguatu, CE. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE; <sup>3</sup>Dicente do Curso de Tecnologia em Irrigação e Drenagem. Iguatu, CE. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE; <sup>4</sup>Discente do Curso de Licenciatura em Geografia. Iguatu, CE. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

### **RESUMO**

Teve-se por objetivo analisar o índice de aridez, para o estado do Ceará, em cenários de alterações climáticas. Os dados dos elementos climáticos de temperatura foram coletados de estações do INMET, da FUNCEME e da rede de postos de chuva da SUDENE. A partir de um modelo de regressão múltipla foram gerados dados de temperatura do ar que foram utilizados na geração de mapas. O índice de aridez foi estimado conforme procedimentos do programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente para os cenários de baixa (B1) e alta (A2) emissão de gases de efeito estufa para os períodos até 2040, 2070 e 2100. Os resultados indicam que, caso ocorra um aumento na temperatura do ar devido às mudanças climáticas, o estado será fortemente impactado, com uma tendência de elevação dos valores do índice de aridez.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelo climático; Desertificação; Monitoramento;;

### **INTRODUÇÃO**

A nova delimitação do semiárido brasileiro abrange 982.563,83 km<sup>2</sup> e 1.133 municípios da região nordeste e norte de Minas Gerais tomou como base três critérios: precipitação pluviométrica anual inferior a 800 mm ano<sup>-1</sup>, índice de aridez inferior a 0,5 e risco de seca maior que 60%, tomando como base o período de 1961 a 1990. No Ceará, o clima semiárido ocorre em 68% (IPECE, 2007).

Desertificação é a degradação das terras áridas, semiáridas e subúmidas, resultantes de vários fatores incluindo as variações climáticas e atividades humanas (situadas em regiões com razão entre 0,05 e 0,65 entre a incidência de chuvas e a evapotranspiração), sendo que, por degradação da terra se entende a degradação dos solos, recursos hídricos, da vegetação e a redução da qualidade de vida das populações afetadas, contudo é um processo que ocorre em lapsos de tempo relativamente longo, 10 anos ou mais (SAMPAIO et al., 2005).

As projeções de cenários de mudanças climáticas indicam que a Caatinga pode se transformar em deserto devido as condições mais secas e quentes (SALAZAR; NOBRE; OYAMA, 2007). Os processos de degradação ambiental, como a desertificação, precisam ser estudados considerando sua evolução, os índices empregados no monitoramento da aridez precisam serem avaliados para diferentes períodos para identificar sua evolução, tem-se empregado com grande confiabilidade técnicas geoprocessamento para identificar as áreas afetadas e os fatores responsáveis (OLIVEIRA et al., 2019).

Os modelos climáticos globais (GCMs) são a principal ferramenta utilizada para estudar as mudanças climática. No entanto, a resolução espacial desses modelos varia geralmente entre 200 e 100 km. Para obter informações mais detalhadas e específicas em nível regional, os modelos climáticos regionais (RCMs) desempenham um papel crucial, sendo capazes de gerar dados mais detalhados para os estudos de impacto local (CHOU et al., 2014).

### **OBJETIVOS**

Este trabalho tem por objetivo analisar o comportamento do índice de aridez em função de cenários de mudanças climáticas, para o semiárido, no Estado do Ceará.

## MATERIAL E MÉTODOS

O Estado do Ceará está localizado na região nordeste do Brasil entre as latitudes de 2.5° e 8°S e longitudes 37° e 42° W. De acordo com a classificação de Köppen, em cerca de 80% o clima de BSw'h' (semiárido quente) mais os climas Aw'e Cw' no restante do Estado.

O balanço hídrico foi estimado conforme os procedimentos descritos por Thornthwaite (1948). Para espacialização de temperatura média foi utilizado um modelo de regressão múltipla tendo a longitude, a latitude e altitude como variáveis independentes e a temperatura média das estações meteorológicas do Ceará e circunvizinhas, como variável independente (OLIVEIRA et al., 2013).

Os mapas de chuvas foram gerados a partir de valores obtidos junto as estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME) e de postos pluviométricos ligados à Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) assim com dados disponíveis de precipitação de Estados vizinhos ao Ceará localizado no entorno do Ceará para criar condição de contorno.

Com base no relatório do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2012) perturbou-se a temperatura do ar e a chuva para geração dos cenários (Tabela 1).

### Quadro 1: Cenários de chuva e temperatura avaliados.

Cenário	Período	Título 3	Título 4
Normais	1961-1990	Normais	Normais
B1	2040	+0,5 °C	-10%
B1	2070	+1,5 °C	-25%
B1	2100	+3,5 °C	-40%
A2	2040	+1,0 °C	-25%
A2	2070	+2,5 °C	-35%
A2	2100	+4,5 °C	-50%

Determinou-se o índice de aridez pela relação entre a chuva e a evapotranspiração e classificados pelos critérios descritos pelo Atlas Mundial de Desertificação e utilizados por Tsiros (2020). Também foi calculado o índice de umidade conforme metodologia descrita em Vianello e Alves (2012) e classificação dos tipos climáticos (THORNTHWAITE, 1948).

$$I_a = \left( \frac{DEF}{ETP} \right) 100$$

$$I_u = \left( \frac{P - ETP}{ETP} \right) 100$$

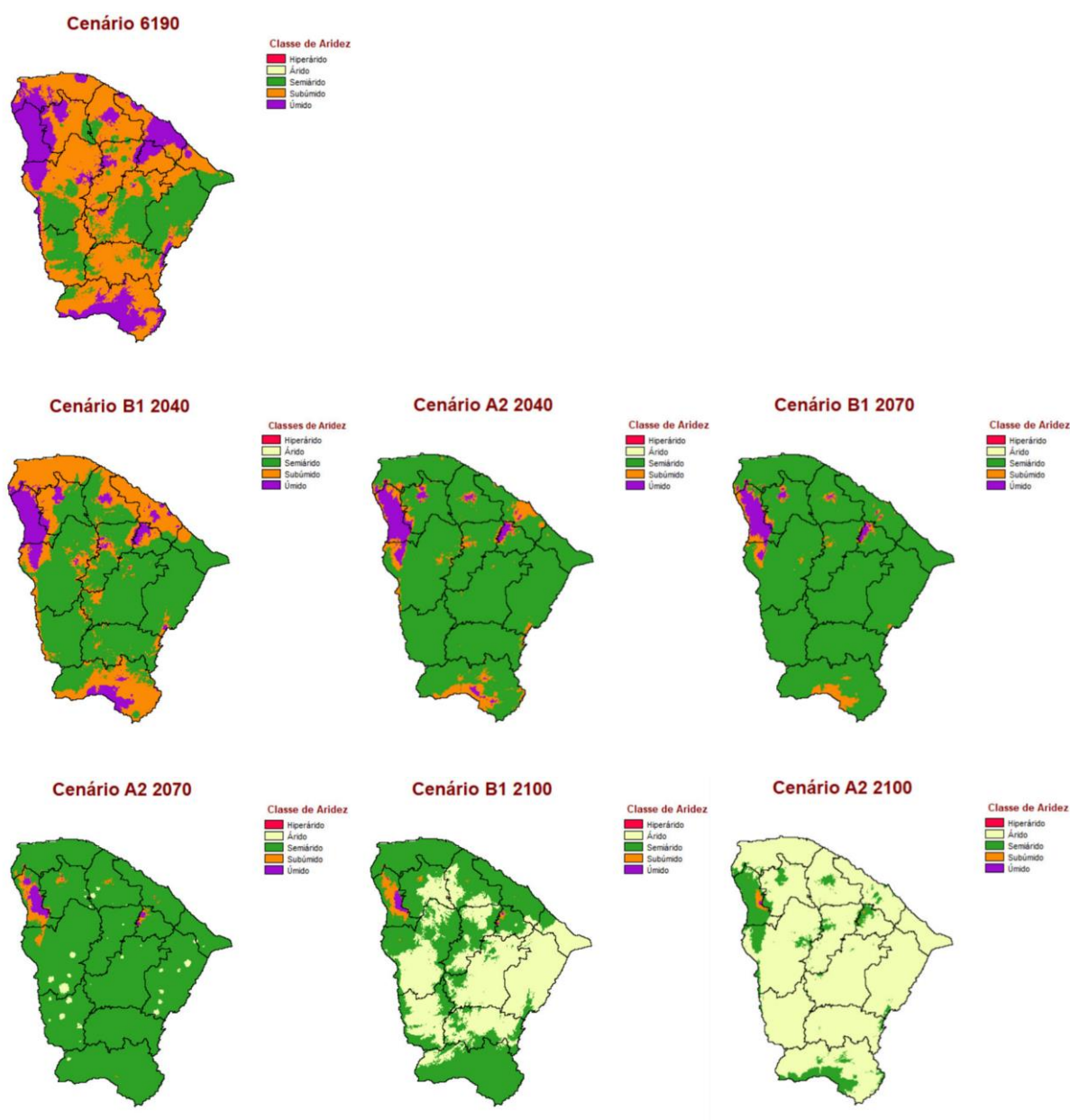
$$ETV = \frac{ETPV}{ETP} 100$$

Onde:  $I_a$  - Índice de aridez, %;  $I_u$  - Índice de umidade, %; P - Precipitação, mm; ETP - Evapotranspiração.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apontaram um aumento na aridez nas áreas analisadas. Os cenários mais otimistas, como "B1 2040, B1 2070 e B1 2100", mostraram um aumento de temperatura de e reduções pluviométricas de  $+0,5^{\circ}\text{C}$  com redução pluviométrica de  $-10\%$ ;  $+1,5^{\circ}\text{C}$  e redução de chuvas em  $-25\%$ ; e  $+3,5^{\circ}\text{C}$  com diminuição de chuvas em  $-40\%$ , respectivamente. É importante ressaltar que, nesses cenários otimistas, a classe árida já é observada no mapa. . Por outro lado, os cenários mais pessimistas e preocupantes, como "A2 2040, A2 2070 e A2 2100", mostram um aumento de  $+1,0^{\circ}\text{C}$  e diminuição de chuvas de  $-25\%$ ;  $+2,5^{\circ}\text{C}$  com redução de  $-35\%$ ; e  $+4,5^{\circ}\text{C}$  com diminuição de  $-50\%$  nas chuvas, respectivamente. Neste, a classe de aridez já predomina. Dentre as variáveis que podem ser atribuídas aos períodos de seca estão a redução da precipitação, o aumento da evapotranspiração a redução do lençol freático e alterações na cobertura do solo (MARENGO; BERNASCONI, 2015).



**Figura 1:** Evolução do índice de aridez no Estado do Ceará, considerando os cenários: normal (a), B1 2040 (b), A2 2040 (c), B1 2070 (d), A2 2070 (e), B1 2100 (f) e A2 2100 (g).

Os mapas indicam que a maior parte do Estado tende a árido e forte redução na área úmida e subúmida. Para B1 2040, a maior parte do Ceará será semiárido e em 2070 abrangerá quase todo o

estado, com exceção em algumas de maior altitude. Em 2100, cerca de metade do estado terá condições áridas em seu Leste e interior. O cenário A2 mostram um aumento da área com condições semiáridas para o período de 2040 muito acima do observado para o mesmo período de B1, e similar ao obtido para B1 em 2070. Diferente do cenário B1, as condições áridas aparecem já no período de 2070. Para 2100, a classe árida cobre quase todo o estado e com o quase a totalidade das áreas restantes em clima semiárido. Marengo e Bernasconi (2015) mostraram um aumento das áreas áridas e semiáridas até 2100 para o NEB, ocupando áreas anteriormente subúmidas. Percebemos assim, que com o passar dos anos haverá um aumento de temperatura gradual que implicará diretamente no modo de vida das pessoas.

## CONCLUSÃO

A análise dos cenários revela que o estado será severamente afetado pela aridez devido ao aumento da temperatura do ar causado pelas mudanças climáticas. Os resultados indicam que terá um impacto significativo no estado, levando a um aumento da aridez. Conclui-se dos cenários uma tendência de agravamento ao longo do tempo e pode-se inferir que, se as condições persistirem, as áreas úmida e subúmida deixarão de aparecer, sendo substituídos por áreas áridas.

## REFERÊNCIAS

CHOU, Sin Chan et al. Evaluation of the Eta simulations nested in three global climate models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, n. 05, p. 438, 2014.

IPECE. **Ceará em mapas**: informações georreferenciadas e espacializadas para os 184 municípios cearenses, Fortaleza, 2007. Disponível em: <https://encurtador.com.br/jDMWZ>. Acesso em: 05 mar. 2021.

MARENGO, José A.; BERNASCONI, Mauro. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Climatic Change**, v. 129, n. 1-2, p. 103-115, 2015. Disponível em: <https://encurtador.com.br/fjrO3>. Acesso em: 29 mai. 2023.

OLIVEIRA, Daniel Da Silva. *et al.* Tratamento de imagens de satélite para geração de indicadores de desertificação. **Estudos Geológicos**, v. 29, n. 1, 2019.

PBMC. **Sumário executivo do volume 1**: Base Científica das Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 para o 1o Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Volume Especial para a Rio+20. Rio de Janeiro: PBMC, 2012. 34 p. (Volume Especial).

SALAZAR, Luis F.; NOBRE, Carlos A.; OYAMA, Marcos D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 9, 2007.

SAMPAIO, Everaldo V. S. B.; ARAÚJO, Maria do Socorro B.; SAMPAIO, Yony S. B. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia, Recife**, v. 22, n. 1, p. 90-112, 2005.

THORNTHWAITE, Charles Warren. An Approach toward a Rational Classification of Climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

TSIROS, Ioannis X. et al. Variability of the aridity index and related drought parameters in Greece using climatological data over the last century (1900-1997). **Atmospheric Research**, v. 240, 2020. Disponível em: <https://encurtador.com.br/ahio9>. Acesso em: 30 de maio 2023

VIANELLO, Rubens Leite; ALVES, Adil Rainier. **Meteorologia básica e aplicações**. 2 ed. Viçosa: UFV, 2012. 460 p.

# CONTRIBUIÇÃO DA SERRA DE BATURITÉ PARA DESCARBONIZAÇÃO NATURAL DA ATMOSFERA NA PERSPECTIVA DA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

**Silvoneudo Oliveira do Nascimento**<sup>1</sup>; **Arnóbio de Mendonça Barreto Cavalcante**<sup>2,3</sup>; **Emerson Mariano da Silva**<sup>2</sup>; **Francisco Edmar de Sousa Silva Pinheiro**<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Acadêmico. Av. Dr. Silas Munguba, 1700 - Itaperi, Fortaleza - CE, 60714-903. Universidade Estadual do Ceará; <sup>2</sup>Docente. Av. Dr. Silas Munguba, 1700 - Itaperi, Fortaleza - CE, 60714-903. Universidade Estadual do Ceará; <sup>3</sup>Pesquisador. Estrada do Fio, 6000, Tupuiú, Eusébio - Ce, 61.176-000. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; <sup>4</sup>Docente. Rua Cel. Antônio Luíz, 1161 - Pimenta, Crato - CE, 63105-010. Universidade Regional do Cariri

## RESUMO

O aquecimento global atual é provocado pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. Diminuir a emissão de GEE e a concentração já existente desses gases na atmosfera, sobretudo do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), é crucial para estabilizar o aquecimento global e seus efeitos sobre o sistema climático. A mitigação climática é um instrumento eficiente para essa questão com soluções baseadas na natureza, por exemplo, o reflorestamento. A Área de Proteção Ambiental da Serra de Baturité (APA-SB), Ceará, mesmo protegida por lei vem sendo degradada nos últimos anos. Assim, o reflorestamento dessas áreas degradadas com espécies arbóreas nativas teria potencial de contribuir para a mitigação climática por meio do sequestro de CO<sub>2</sub>? Os objetivos da pesquisa foram: 1) identificar e quantificar as áreas degradadas da APA-SB com potencial para reflorestamento e; 2) calcular quanto às áreas aptas ao reflorestamento seriam capazes de remover CO<sub>2</sub> da atmosfera até um futuro próximo. Para a identificação das áreas potencialmente reflorestáveis utilizou-se do QGIS versão 3.16.16 LTR e acessórios e para o cálculo do sequestro CO<sub>2</sub> adaptou-se metodologias publicadas. Os resultados apontaram para 1.886,21 ha de área reflorestáveis capazes de abrigar 3.144.312 mudas de espécies arbóreas nativas. Em um cenário ideal onde, supostamente, toda a área disponível foi plantada e sem ocorrência de perdas significativas até meados desse século, o sequestro de CO<sub>2</sub> da atmosfera foi estimado em 318,2 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> e 600.192 tCO<sub>2</sub>. Portanto, a APA-SB tem potencial para sumidouro de carbono mesmo com sua dimensão globalmente pequena.

**PALAVRAS-CHAVE:** sumidouro de carbono; reflorestamento; mudanças climáticas;;

## INTRODUÇÃO

Há um consenso científico de que as ações antrópicas têm forte participação no aumento do efeito estufa da atmosfera, que provoca aquecimento e mudanças climáticas em todo o planeta. Isso decorre de atividades prejudiciais ao sistema terrestre como desmatamento, queima de florestas, queima de combustíveis fósseis, poluição dos recursos hídricos, entre outras.

O quinto relatório de avaliação do clima (AR5) elaborado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014) aumentou o grau de certeza dos cientistas em relação à responsabilidade antrópica sobre o aquecimento global. O AR6 (IPCC, 2021) reforçou que o aquecimento global e as mudanças climáticas estão causando perturbações perigosas e generalizadas na natureza e afetando a vida de bilhões de pessoas e da biodiversidade em todo o planeta. O relatório do estado do clima global 2022 da Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2023), complementar ao AR6, destacou que as concentrações dos três principais gases de efeito estufa - dióxido de carbono, metano e óxido nitroso - atingiram recordes em 2021 e medições em tempo real mostraram que os níveis dos três gases aumentaram em 2022.

Segundo The Global Carbon Project (GCP, 2022), das 2,4 trilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas pelas atividades antrópicas desde a Revolução Industrial, metade foi lançada na atmosfera desde 1990. Isso demonstra que nos últimos 30 anos a emissão de CO<sub>2</sub> tem se intensificado e promovido o aquecimento global, que é o grande impulsionador das mudanças climáticas.

Como o aquecimento global e as mudanças climáticas vêm se tornando um sério problema para várias nações do mundo, estudos científicos são fundamentais para fornecer o conhecimento necessário sobre o que deve ser feito para enfrentar essas questões. Um ponto em comum no pensamento científico é promover de forma drástica a redução das emissões de GEE, sobretudo do CO<sup>2</sup>. Entretanto, mesmo com esse esforço de redução de CO<sup>2</sup> ainda é possível que os resultados esperados não sejam alcançados e não suficientes para, pelo menos, estabilizar esses eventos. Nesse caso se faz necessário também fomentar a remoção de CO<sup>2</sup> já presente na atmosfera e armazenar na natureza. Conforme Mulligan et al. (2018), os cenários climáticos mostram que é preciso remover bilhões de toneladas de dióxido de carbono por ano até meados do século, ao mesmo tempo que se aumenta os esforços para reduzir as emissões.

Nessa abordagem, o mecanismo envolvido para a remoção de GEE da atmosfera, em particular do CO<sup>2</sup>, é chamado genericamente de mitigação. O protocolo de Kyoto enxerga a remoção ou sequestro de carbono como alternativa viável para promover a mitigação dos gases de efeito estufa na atmosfera (UNEP, 2012). Por definição, a mitigação se refere aos esforços para reduzir/evitar a emissão de GEE ou para fortalecer sua remoção da atmosfera por meio de sumidouros (UNFCCC, 2023).

No que se refere à ideia de remover CO<sup>2</sup> da atmosfera, existem dois tipos de processos: a) aprimorar processos naturais existentes que removem o carbono da atmosfera como as práticas de manejo da terra, absorção e armazenamento do carbono pelas plantas, armazenamento nos solos, nas formações geológicas e nos oceanos (sumidouros de carbono) e; b) usar processos artificiais como a técnica de Sequestro Geológico de Carbono ou a Captura e Armazenamento Geológico de CO<sup>2</sup> que consiste em captura direta do ar, depuração quimicamente do CO<sup>2</sup> diretamente do ambiente e armazenamento no subsolo (MARGULIS, 2020).

O processo de sequestro natural promovido pelas plantas terrestres através da fotossíntese é um dos mais viáveis, pois na fase de crescimento as árvores precisam de uma grande quantidade de carbono para se desenvolver. Nessa perspectiva o Brasil pode assumir uma posição importante em relação aos países que buscam mitigar a mudança do clima através do sequestro de carbono, visto que dispõe de vastas áreas de terras potencialmente reflorestáveis, bem como de conhecimento tecnológico para que isso ocorra.

Adentrando no Brasil e focando-se no Estado do Ceará, que ainda não possui um plano técnico de enfrentamento à mudança climática (Plano Estadual de Mudanças Climáticas - PEMC), vale destacar a criação de unidades de conservação da natureza com o objetivo de promover a proteção ambiental no Estado. Estas regiões quando manejadas e geridas de forma correta têm o potencial de evitar e/ou diminuir significativamente o efeito nocivo do desmatamento e das queimadas, fatores fortes relacionados à emissão de GEE. Consequentemente, a conservação de áreas naturais contribui, mesmo que indiretamente, para o combate ao aquecimento global e as mudanças no clima.

Assim sendo, considerando as unidades de conservação na perspectiva de contribuição para mitigação dos efeitos do aquecimento global, por meio da remoção direta de CO<sup>2</sup>, emerge o pensamento para realizar plantios de árvores perenes que promovam uma cobertura vegetal arbórea em terrenos disponíveis. No entanto, o Estado do Ceará está inserido no bioma Caatinga cujo crescimento das espécies vegetais ocorre de forma muito lenta e em determinado período do ano, além de perder as folhas (parte da árvore responsável por realizar a fotossíntese) como forma de adaptação ao clima semiárido, salvo algumas espécies específicas.

Nesse caso haveria dificuldade na utilização do ambiente semiárido como estratégia ou sumidouro para promoção de sequestro do CO<sup>2</sup>. Porém, no Estado existem enclaves de serras úmidas cujas áreas mais elevadas estão revestidas de vegetação arbórea perene de mata atlântica (CAVALCANTE, 2005). E, muitas destas serras úmidas têm sofrido com a degradação de seu ambiente natural, mesmo sendo algumas delas importantes unidades de conservação (Federal e Estadual), como por exemplo a

Área de Proteção Ambiental da Serra de Baturité (doravante APA-SB) criada em 18/09/1990 através do Decreto Estadual nº 20.956.

Nesse contexto, a APA-SB mostrou-se um ambiente potencial para investigar a capacidade de sequestro de carbono pela prática de reflorestamento com espécies arbóreas em áreas degradadas.

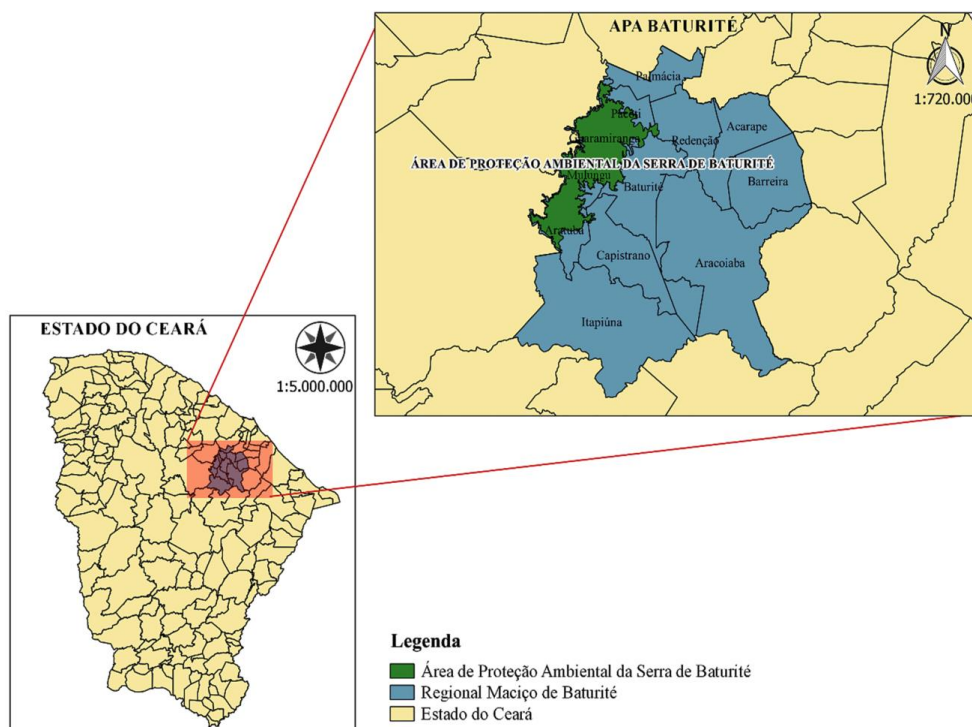
## OBJETIVOS

Tendo em vista avaliar o potencial da APA-SB para fins de remoção natural de carbono como opção de mitigação da mudança climática, foram traçados os seguintes objetivos: 1) identificar e quantificar as áreas degradadas da APA-SB com potencial para reflorestamento e; 2) calcular quanto às áreas aptas ao reflorestamento com árvores de espécies nativas seriam capazes de remover CO<sup>2</sup> em um futuro próximo.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na Serra de Baturité, no Estado do Ceará, abrangendo a Área de Proteção Ambiental da Serra de Baturité (APA-SB), unidade de conservação estadual delimitada a partir da cota 600 metros com coordenadas geográficas extremas de 4°08' e 4°47' latitude S e 38°50' e 39°05' longitude W, correspondendo a uma área de 32.690 ha na parte superior da serra de Baturité (CAVALCANTE, 2005) (Fig. 1).

As médias anuais da temperatura do ar e de precipitação na APA-SB são 20 °C e 1.500 mm, respectivamente (BASTOS, 2011), e conforme a classificação climática de Köppen está submetida ao clima tropical chuvoso com inverso seco - Aw (ALVARES et al., 2013). A altitude média da área de estudo é de aproximadamente 700 metros com alguns picos superando os 900 metros. Ocorrem na APA-SB quatro tipos de solos que se sobrepõem às rochas cristalinas com dominância para o tipo Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos (PVAd). Nessas condições físicas está estabelecida uma formação florestal de Mata Atlântica de elevada relevância ecológica (CAVALCANTE, 2005).



**Figura 1** - Localização da Área de Proteção Ambiental da Serra de Baturité - CE (cor verde) criada por meio do Decreto Estadual nº 20.956 de 18/09/1990. Fonte da imagem: Plano de Manejo da APA da Serra de Baturité, 2006.

Várias ações antrópicas vêm ameaçando a APA-SB. Andrade (2018) identificou mesmo com a criação da unidade de conservação, o uso desordenado das áreas de proteção permanentes como as nascentes, córregos, áreas com declive e topos dos morros continuam em uso para agricultura, criação de animais, construção de residências etc. Além do desflorestamento decorrente dessas ações supracitadas, também foram identificadas degradações em algumas áreas por meio de aterramento de córregos, destino inadequado dos efluentes e resíduos sólidos e especulação imobiliária.

Assim, foi produzido um mapa de uso e ocupação da APA-SB a partir de dados do *shapefile* disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE, 1992), além de imagens de satélite disponibilizadas pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2007). A interpretação das imagens de satélite possibilitou a vetorização das classes de uso e ocupação na APA-SB e, na sequência, utilizou-se do geoprocessamento para análise dos dados espaciais e identificação das áreas propícias ao reflorestamento.

Utilizando-se do programa QGIS versão 3.16.16 LTR (um sistema de informação geográfica - livre e aberto) produziu-se o mapa temático capaz de indicar o tipo de uso do solo, áreas de cobertura vegetal e áreas degradadas, com esquema de classificação baseado no MapBiomias, que é um sistema hierárquico com uma combinação de classes *Land Use and Land Cover* (LULC) compatível com os sistemas de classificação da *Food and Agriculture Organization* (FAO) e do IBGE. Para a quantificação das áreas com potencial para reflorestamento na APA-SB foram consideradas as áreas não vegetadas ou de solo exposto, condição que as tornam disponíveis para o reflorestamento com espécies arbóreas nativas.

Para o cálculo de sequestro de carbono foram observados quatro trabalhos, três envolvendo florestas nativas e outro usando plantação de eucalipto. No primeiro estudo Martins (2005) estimou 78 toneladas de carbono (tC) capturado a partir de um hectare de reflorestamento de mata ciliar no sudeste do Brasil com 1.500 indivíduos de diferentes espécies nativas de floresta tropical úmida. A floresta encontrava-se em estágio clímax de desenvolvimento com 37 anos de idade. Em média, cada planta sequestrou 52 kg de carbono em 37 anos. No segundo estudo, IPCC (2006) *apud* Pinto (2013), foi estimado 140 tC imobilizado a partir de um hectare de floresta tropical primária da América do Sul com idade de 20 anos. Contudo, não foi especificado o número de indivíduos por hectare presentes na floresta.

O terceiro estudo Pachón (2014) calculou 75 tC por hectare imobilizado para uma mata nativa plantada no sudeste do Brasil com 20 anos de idade. Também, não especificou o número de plantas nativas utilizadas por hectare. Por último, Carmo (2016) contabilizou 42 tC capturados a partir de um hectare de plantação de eucalipto contendo 1.112 indivíduos com idade de sete anos. Cada árvore de eucalipto sequestrou 38 kg de carbono em sete anos. A estimativa de sequestro de carbono para plantação de eucalipto mostrou grau de confiança melhor, devido ao processo de mensuração do carbono, porém o eucalipto é uma espécie arbórea exótica de rápido crescimento com uso legalmente proibido em unidades de conservação do tipo Área de Proteção Ambiental.

Diante da ausência de uma padronização para o cálculo da quantidade de carbono sequestrado acima do solo em floresta tropical, bem como para floresta tropical em áreas acidentadas, caso da APA-SB, foi definido que: (1) o espaçamento adotado seria 3 m x 2 m suportando 1.667 indivíduos por hectare (STURION; BELLOTE, 2000), haja vista o padrão de relevo onde se localiza a APA-SB ser, predominantemente, forte ondulado a montanhoso (BÉTARD; PEULVAST 2011) e; (2) os valores de 52 kg sequestrados de carbono por indivíduo de espécie nativa com idade de 37 anos (MARTINS,

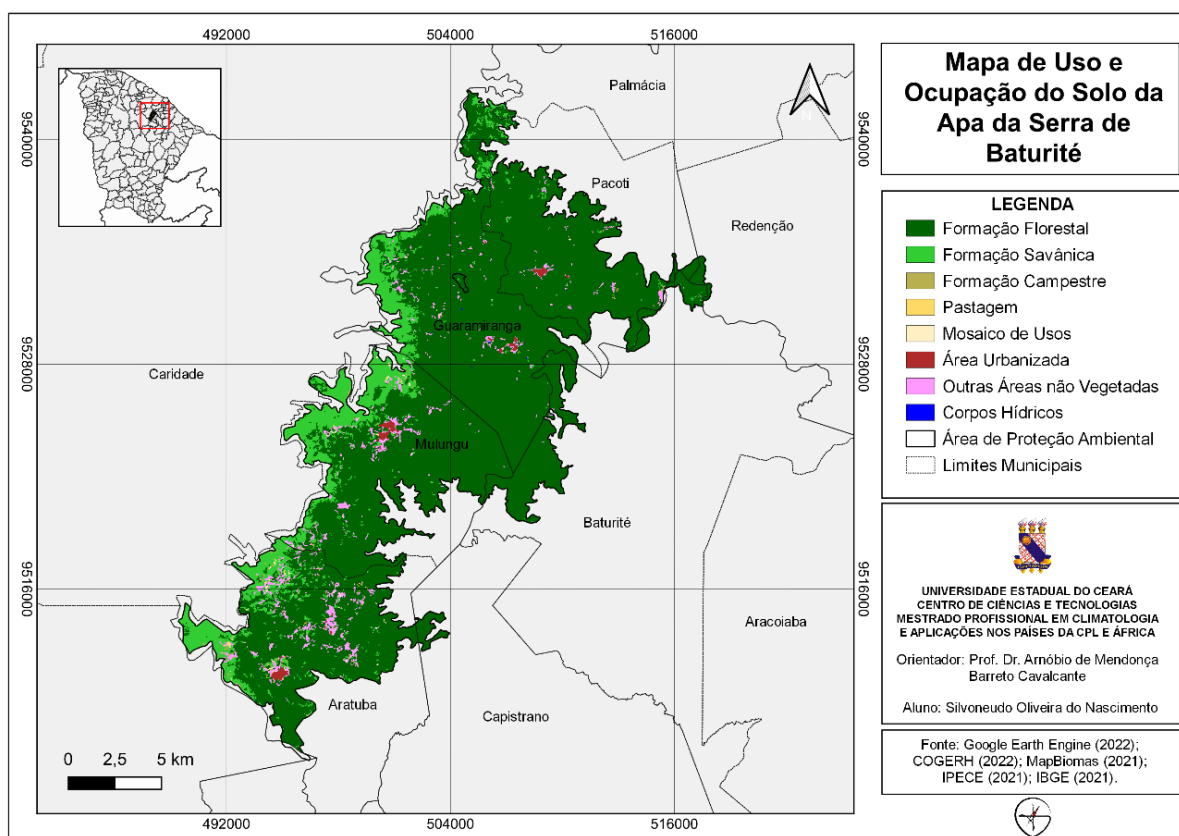
2005) e 38 kg sequestrados de carbono por indivíduo de eucalipto com idade de sete (7) anos (CARMO, 2016) seriam utilizados como referências.

Destaca-se que a utilização de 38 kg C por planta da plantação de eucalipto foi utilizado apenas para efeito comparativo. De todo modo, para uma primeira aproximação buscou-se estimar a quantidade de carbono sequestrado em duas diferentes circunstâncias envolvendo plantas nativas e exóticas. As toneladas de carbono sequestrado pelas árvores foram, na sequência, convertidas em toneladas de gás carbônico (tCO<sub>2</sub>), principal gás de efeito estufa. Para isso 1 t C equivale a 3,67 tCO<sub>2</sub> (ROCHA, 2003).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produziu-se um mapa de Uso e Ocupação do Solo da APA-SB que permitiu identificar as áreas naturais conservadas e modificadas por seus moradores. As áreas identificadas foram enquadradas em oito categorias: formação florestal, formação savânica, formação campestre, pastagem, mosaico de usos, área urbanizada, corpos hídricos e outras áreas não vegetadas (Fig. 2).

A quantificação das áreas da APA-SB com potencial para reflorestamento, áreas não vegetadas ou com solo exposto, somaram 1.886,21 ha. As demais categorias com suas respectivas extensões territoriais encontram-se na Tabela 1. A partir do total de áreas disponíveis com potencial para reflorestamento, calculou-se o carbono aprisionado e o gás carbônico sequestrado da atmosfera, assim permitindo estimar a contribuição da APA-SB para mitigação do aquecimento global no decorrer do século XXI por meio do reflorestamento.



**Figura 2** - Mapa de Uso e Ocupação do Solo da APA-SB.

**Tabela 1** - Extensão territorial dos tipos de uso e ocupação do solo na APA-SB

Tipo de uso e ocupação do solo	Área (ha)	% em relação à área total
--------------------------------	-----------	---------------------------

Formação florestal	21.150,43	64,70
Formação savânica	7.289,87	22,30
Formação campestre	117,684	0,36
Pastagem	68,649	0,21
Área urbanizada	1.046,08	3,20
Corpos hídricos	1.072	3,28
Outras áreas não vegetadas	<b>1.886,21</b>	<b>5,77</b>
Mosaico de usos	58,84	0,18
Total	32.690	100,00%

Tendo a área disponível atual para reflorestamento na APA-SB estimada em 1.886,21 ha (~ 2.000 ha) e considerando que cada hectare de área em relevo declivoso tem potencial para o plantio de 1.667 mudas de árvores utilizando-se do espaçamento 3x2 m, o espaço supracitado para reflorestamento na área de estudo é capaz de abrigar 3.144.312 mudas de árvores de espécies nativas ou eucalipto (Quadro 1).

Em um cenário ideal em que, supostamente, toda a área disponível foi plantada utilizando-se de 3.144.312 mudas de árvores e sem ocorrências de perda ao longo do tempo, o estoque de carbono na biomassa aérea florestal total foi estimado em 163.534 tC ao cabo de 37 anos utilizando-se de espécies nativas e 119.586 tC em sete anos com plantação de eucalipto. A conversão de tC para tCO<sub>2</sub> revelou que o reflorestamento com espécies nativas é capaz de sequestrar da atmosfera 600.192 tCO<sub>2</sub> em 37 anos e a plantação de eucalipto 438.921 tCO<sub>2</sub> em sete anos. Assim sendo, por hectare, o sequestro de C em toneladas foi calculado em 86,7 tC (318,2 tCO<sub>2</sub>) para o reflorestamento com espécies nativas e 63,4 t (232,7 tCO<sub>2</sub>) na plantação de eucalipto (Quadro 1).

**Quadro 1 - Reflorestamento e sequestro de C e CO<sub>2</sub> da atmosfera na APA-SB**

1	Área atual disponível para reflorestamento em hectare	1.886,21
2	Número de árvores com espaçamento 3x2 m por hectare	1.667
3	Total de mudas de árvore para plantio na área disponível	3.144.312
4	Captura de carbono (kg) por indivíduo de espécie nativa com 37 anos de idade	52
5	Captura de carbono (kg) por indivíduo de eucalipto com 7 anos de idade	38
6	Toneladas de carbono (tC) estocado por hectare com indivíduos nativos aos 37 anos	86,7
7	Toneladas de carbono (tC) estocado por hectare com indivíduos de eucalipto aos 7 anos	63,4
8	Toneladas de carbono (tC) estocado na área disponível com indivíduos de espécies nativas aos 37 anos	163.534
9	Toneladas de carbono (tC) estocado na área disponível com indivíduos de eucalipto aos 7 anos	119.586
10	Toneladas de gás carbônico (tCO <sub>2</sub> ) sequestrado da atmosfera por hectare de reflorestamento aos 37 anos	318,2
11	Toneladas de gás carbônico (tCO <sub>2</sub> ) sequestrado da atmosfera por hectare de plantação de eucalipto aos 7 anos	232,7



12	Toneladas de gás carbônico (tCO <sub>2</sub> ) sequestrado da atmosfera na área disponível com indivíduos de espécies nativas para 37 anos	600.192
13	Toneladas de gás carbônico (tCO <sub>2</sub> ) sequestrado da atmosfera na área disponível com indivíduos de eucalipto para 7 anos	438.921

Os resultados obtidos para APA-SB foram significativos e positivos, ao se observar o estoque estimado de C por hectare em 37 anos (86,7 tC/ha) frente aos achados de 78 tC/ha com 37 anos de Martins (2005) e 75 tC/ha com 20 anos de Pachón (2014), ambos envolvendo espécies nativas. Por sua vez, em comparação à plantação de eucalipto ocorreu uma forte divergência em relação aos resultados de Carmo (2016) e Souza et al. (2019), evidentemente, devido ao eucalipto ser uma espécie exótica de rápido crescimento e ao tempo considerado para o cálculo (7 anos). O conjunto desses resultados revela que vários fatores influenciam para as estimativas de captura de C tais como, número de plantas utilizadas por hectare (densidade), espécies nativas ou exóticas selecionadas, frequência de distúrbios, idade do reflorestamento etc., o que torna limitadas as interpretações quanto à maior ou menor capacidade de sequestro de C e CO<sub>2</sub>.

De todo modo, o importante a destacar é a potencialidade para sequestro do C a partir de reflorestamento com espécies nativas nas áreas não vegetadas da APA-SB, mesmo sendo para longo prazo (37 anos). É uma contribuição significativa do ponto de vista da mitigação do efeito estufa e da valorização das florestas tropicais secundárias para esse papel. Conforme Heinrich et al. (2023) as florestas tropicais antigas e intactas são sumidouros de carbono importantes globalmente, mas as florestas tropicais secundárias e degradadas têm mostrado também potencial para acumulação de carbono. As florestas secundárias tropicais sequestram carbono até 20 vezes mais rápido do que as florestas primárias (HEINRICH et al., 2021).

Proteger as florestas primárias é uma prioridade, mas a recuperação de áreas degradadas e de florestas secundárias pode ter um potencial futuro viável de sumidouro de carbono nas principais regiões tropicais (HEINRICH et al., 2023). Programar mecanismos legais para proteger e expandir as florestas secundárias ao mesmo tempo em que apoia a conservação de matas antigas é, portanto, a chave para realizar seu potencial como uma solução climática baseada na natureza (HEINRICH et al., 2021).

Nessa perspectiva de solução climática baseada na natureza, para a APA-SB dada sua potencialidade para sequestro do carbono a partir do reflorestamento, é uma grande oportunidade prestar serviço como sumidouro de C ou CO<sub>2</sub>, sem alterar o objetivo primordial de uma APA qual seja a conservação de processos naturais e da biodiversidade, orientando o desenvolvimento e adequando as várias atividades humanas às características ambientais da área (BRASIL, 2000). Portanto, nada impede que a APA-SB também venha a atuar como sumidouro, ainda que de efeito pequeno para os esforços globais de mitigação das mudanças climáticas.

Florianópolis (2015), explica que uma das principais práticas de mitigação no combate à intensificação do efeito estufa é o AR (*Afforestation and Reforestation*), ou arborização e reflorestamento e que as atividades de reflorestamento foram reconhecidas pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) e pelo Protocolo de Quioto como medidas mitigadoras de grande importância no combate à mudança climática.

É importante lembrar que o Brasil é um dos países que assinaram o Acordo de Paris e, nesse momento, o País assumiu um compromisso diante dos objetivos da UNFCCC de reduzir as emissões de carbono e promover mitigação climática. O País se comprometeu a reduzir as emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025 e em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030. Assim a mitigação climática pelo reflorestamento pode contribuir para que a nação cumpra sua meta.

## CONCLUSÃO

A Área de Proteção Ambiental da Serra de Baturité, localizada no Estado do Ceará, disponibiliza cerca de dois mil hectares para o plantio de três milhões de mudas de árvores de espécies nativas. O reflorestamento dessa área, se completo e bem-sucedido na área disponível, tem o potencial estimado de sequestrar da atmosfera 318,2 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> e 600.192 tCO<sub>2</sub> em até meados do corrente século.

Os benefícios gerados pelo reflorestamento na APA-SB trariam vantagens tanto para a natureza quanto para sociedade, em particular para as comunidades instaladas nessa região, visto que durante o desenvolvimento das árvores haveria captura de uma porcentagem significativa de CO<sub>2</sub> da atmosfera, contribuindo para o combate à intensificação do efeito estufa e suas consequências negativas ao clima, bem como haveria conservação do solo, dos recursos hídricos e das encostas contidas nessa região serrana.

Portanto, é uma oportunidade para APA-SB tornar-se além de uma unidade de conservação com certo grau de ocupação humana, também um sumidouro natural de CO<sub>2</sub>, ainda que em dimensão globalmente diminuta, mas que contribuiria para com os esforços globais de mitigação do aquecimento e das mudanças climáticas.

## REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANDRADE, P. S. **APA da Serra de Baturité**: Um estudo da sustentabilidade ambiental do município de Guaramiranga através da Pegada Ecológica. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis). Universidade da Integração Internacional Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2018.

BASTOS, F. H. (Org.). **Serra de Baturité**: uma visão integrada das questões ambientais. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2011.

BÉTARD, F.; PEULVAST, J-P. Evolução morfoestrutural e morfopedológica do maciço de Baturité e de seu piemont: do Cretáceo ao Presente. In: BASTOS, F. H. (Org.). **Serra de Baturité**. Uma visão integrada das questões ambientais. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2011. p. 35-59.

BRASIL. **SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza**: Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002; Decreto nº 5.746, de 5 de abril de 2006.

CARMO, F. C. A. **Balanco da emissão de gases carbônicos nas operações florestais e sequestro de carbono em florestas plantadas no Espírito Santo**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

CAVALCANTE, A. M. B. **A Serra de Baturité**. Fortaleza: Edições Livro Técnico, 2005.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Mapeamento da cobertura vegetal e do uso/ocupação do solo da APA da serra de Baturité** - Ceará. Fortaleza, 2007.

GCP - **Global Carbon Project**. The Global Carbon Project. Disponível em: <<https://www.globalcarbonproject.org/about/index.htm>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

HEINRICH, V. H. A. *et al.* Large carbon sink potential of secondary forests in the Brazilian Amazon to mitigate climate change. **Nature Communications**, v. 12:1785. 2021.  
<https://doi.org/10.1038/s41467-021-22050-1>

HEINRICH, V. H. A. *et al.* The carbon sink of secondary and degraded humid tropical forests. **Nature**, v. 615. 2023. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05679-w>

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva, 2014. 151 p.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, 2021. In press, doi:10.1017/9781009157896.

MARGULIS, S. **Mudanças do Clima: Tudo que você queria e não queria saber**. Rio de Janeiro: Konrad, 2020.

MARTINS, O. S. **Determinação do potencial de sequestro de carbono na recuperação de matas ciliares na região de São Carlos - SP**. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

MULLIGAN, J. et al. Technological Carbon Removal in the United States. **Working Paper**, Washington, DC, 2018.

PACHÓN, D. A. O. **Estimativa das emissões e remoções de gases de efeito estufa produzidas pelo INPE em 2012**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

PINTO, N. D. **Análise comparativa entre o reflorestamento e outras alternativas de mitigação de gases de efeito estufa no estado do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

ROCHA, M. **Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do Modelo CERT**. Tese (Doutorado em Economia Aplicada). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SEMACE - Superintendência Estadual do Ceará. **Zoneamento Ambiental da APA da Serra de Baturité: diagnóstico e diretrizes**. Fortaleza - CE. 1992.

SOUZA, C. L. *et al.* Balanço de Carbono do processo de produção de madeira de reflorestamento no Norte de Minas Gerais. **Caderno de Ciências Agrárias**, Montes Claros, v. 11, p. 01-08, 2019.

STURION, J. A.; BELLOTE, A. F. J. Implantação de povoamentos florestais com espécies de rápido crescimento. In: GALVAO, A. P. M. (Org.). **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais**. Brasília: Embrapa, 2000. p. 209-218.

WMO - *World Meteorological Organization*. **State of the Global Climate 2022**. Geneva, 2023. World Meteorological Organization (WMO-No.1316).

UNEP - *United Nations Environment Programme*. **The Emissions Gap Report 2012**. Nairobi, 2012.

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change. What is mitigation? Disponível em: <<https://unfccc.int/topics/introduction-to-mitigation>>. Acesso em: 10 fev. 2023.

# VARIAÇÃO TEMPORAL DA EVAPORAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARIBE, CEARÁ

**José Brenno Carneiro de Lima**<sup>1</sup>; **José Carlos de Araújo**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudante de Doutorado. Av. Humberto Monte, s/n - Pici, Fortaleza - CE. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará; <sup>2</sup>Professor. Av. Humberto Monte, s/n - Pici, Fortaleza - CE. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará

## RESUMO

A evaporação impacta diretamente sobre a disponibilidade hídrica, principalmente no semiárido brasileiro que possuiu como principal fonte de abastecimento os reservatórios superficiais artificiais. Esses reservatórios estão diretamente expostos às principais variáveis meteorológicas que afetam a evaporação de ambientes naturais. Logo, a compreensão dos processos evaporativos se torna uma ferramenta indispensável para uma boa gestão dos recursos hídricos locais. Dessa forma, esse estudo buscou avaliar mudanças no padrão da taxa de evaporação da Bacia do Rio Jaguaribe, Ceará. Foram analisados dados diários de oito postos meteorológicos durante seis décadas (1960 - 2020), aos quais foram aplicados dois testes estatísticos. Os resultados revelaram que: (a) sete postos apresentaram tendência de elevação da taxa evaporativa, indicando alteração climática; (b) desses postos, cinco não demonstraram tendência estatisticamente significativa, mas dois apresentaram tendência estatisticamente significativa; (c) um dos postos apresentou tendência estatisticamente significativa de queda na evaporação; e (d) observou-se aumento da umidade relativa do ar neste posto no ano de construção de um grande reservatório hídrico a barlavento, o que pode explicar o comportamento diferenciado deste caso.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mudanças climáticas; Global Stilling; Semiárido; Disponibilidade hídrica; Açudes

## INTRODUÇÃO

A evaporação é um dos principais componentes do balanço hídrico nas bacias hidrográficas (MCMAHON *et al.*, 2013), sendo considerada a principal fonte natural de perda de água das bacias hidrográficas do semiárido brasileiro (CAMPOS *et al.*, 2016), um vez que a grande maioria dos rios da região são intermitentes e/ou efêmeros (LIMA *et al.*, 2022) e a principal fonte de água para o enfrentamento das secas na região é por meio de reservatórios superficiais artificiais (CAMPOS *et al.*, 2016; DE ARAÚJO; GÜNTNER; BRONSTERT, 2006) que estão diretamente sob ação das principais variáveis meteorológicas que regem o processo de evaporação em ambientes naturais (radiação, vento, umidade relativa do ar, temperatura do ar, entre outras) (PENMAN, 1948). Consequentemente, o estudo dos processos evaporativos em regiões semiáridas apresenta grande relevância para que se possa ter uma boa gestão dos recursos hídricos.

Isto posto, compreender as variações temporais e as tendências da evaporação (aumento/queda) nas regiões semiáridas torna-se uma tarefa essencial, uma vez que esse processo hidrológico afeta diretamente a disponibilidade hídrica (DE ARAÚJO; GÜNTNER; BRONSTERT, 2006), principalmente sob a perspectiva de aumento dos valores das taxas de evaporação por influência das mudanças climáticas (ALTHOFF; RODRIGUES; DA SILVA, 2020) ou de alterações antrópicas significantes em nível local (REN *et al.*, 2021).

## OBJETIVOS

Nesse contexto, esse estudo buscou avaliar as tendências temporais (1960 - 2020) nas séries históricas de evaporação calculadas pelo método combinado de Penman (PENMAN, 1948) a partir de dados oriundos de oito estações meteorológicas na maior bacia hidrográfica do estado do Ceará, a do Rio Jaguaribe, na qual estão inseridos os três maiores reservatórios do estado.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área de estudo**

Foram avaliadas as tendências da evaporação a partir de dados de estações meteorológicas circunvizinhas a três subdivisões da Bacia hidrográfica do rio Jaguaribe nas quais estão inseridos os três maiores reservatórios estratégicos (em capacidade de armazenamento) de usos múltiplos do estado do Ceará: açude Arrojado Lisboa (açude Banabuiú) situado no município de Banabuiú - CE com capacidade de armazenamento de 1.534 hm<sup>3</sup> (Sub-bacia do Banabuiú), açude Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira (açude Orós) localizado no município de Orós - CE com capacidade de armazenamento de 1.940 hm<sup>3</sup> (Sub-bacia do Alto Jaguaribe) e açude Padre Cícero (açude Castanhão) com capacidade de armazenamento de 6.700 hm<sup>3</sup> localizado no município de Nova Jaguaribara - CE (Sub-bacia do Médio Jaguaribe).

### **Aquisição dos dados meteorológicos**

Os dados meteorológicos utilizados como entrada para o cálculo da evaporação foram oriundos de oito estações meteorológicas convencionais mantidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia, INMET (Apodi - RN; Barbalha - CE; Campos Sales - CE; Crateús - CE; Iguatu - CE; Morada Nova - CE; Quixeramobim - CE; Tauá - CE). Os dados adquiridos foram: insolação (horas), umidade relativa do ar (%), temperatura máxima diária (°C), temperatura mínima diária (°C), velocidade do vento a 10 metros altura em relação ao nível do solo.

### **Cálculo da evaporação**

Os dados de evaporação utilizados nesse estudo foram modelados pelo método combinado de Penman (PENMAN, 1948), Equação 1.

$$E = [\Delta/(\Delta+\gamma)].Er + [\gamma/(\Delta+\gamma)].Ea \quad (1)$$

Em que: E é a taxa de evaporação pelo método combinado de Penman (mm d<sup>-1</sup>),  $\Delta$  é o gradiente da curva de pressão de vapor de (Pa °C<sup>-1</sup>),  $\gamma$  é o parâmetro psicrométrico (Pa °C<sup>-1</sup>), Er é a taxa de evaporação pelo método do balanço de energia (mm d<sup>-1</sup>), Ea é a taxa de evaporação pelo método aerodinâmico (mm d<sup>-1</sup>).

### **Análise de tendência da evaporação**

Dois testes estatísticos foram aplicados para avaliar a existência de tendências nas séries temporais de evaporação: uma análise de regressão linear e o teste Mann-Kendall, MK (KENDALL, 1948; MANN, 1945).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados da análise de regressão revelaram que tanto para taxa de evaporação diária quanto para a taxa de evaporação anual, a maioria os dados apresentam um coeficiente angular positivo, o que reflete em uma tendência de aumento da taxa de evaporação da série histórica, com exceção, apenas, dos dados de evaporação referentes a estação meteorológica localizada no município de Morada Nova que apresenta um coeficiente angular negativo e conseqüentemente uma tendência de queda dos valores da taxa de evaporação.

Ao aplicar o teste MK às taxas de evaporação diária, confirmamos que a maioria das estações meteorológicas apresentam uma tendência estatisticamente significativa de aumento, com exceção da taxa de evaporação referente ao município de Morada Nova que apresenta uma tendência de queda.

Os únicos dados de evaporação de que não apresentaram uma tendência com significância estatística da taxa de evaporação diária foram os dados associados à estação meteorológica situada no Município de Barbalha. Por sua vez, ao aplicar o teste MK às taxas de evaporação anuais, apenas as estações meteorológicas de Iguatu, Morada Nova e Quixeramobim apresentaram tendências estaticamente significantes.

As taxas de variação da evaporação encontradas nesse estudo foram de 4,06 mm ano<sup>-1</sup> para o município de Iguatu, 3,99 mm ano<sup>-1</sup> para o município de Quixeramobim e de -3,94 mm ano<sup>-1</sup> para o município de Morada Nova. Esses valores encontram-se dentro da faixa de valores reportadas pela literatura. Quando avaliamos as taxas de aumento, são reportados valores de 2,68 mm ano<sup>-1</sup> na China (SHEN *et al.*, 2022), 5,20 mm ano<sup>-1</sup> no Iran (SOROUSH *et al.*, 2020), de 7 a 26 mm ano<sup>-1</sup> na Austrália (RODERICK *et al.*, 2007; STEPHENS *et al.*, 2018), de 8 a 15 mm ano<sup>-1</sup> na África (ARTHUR CHAPMAN; MIDGLEY; SMART, 2021), de 2 a 9 mm ano<sup>-1</sup> na Turquia (YESILIRMAK, 2013). Por sua vez, as taxas de queda encontram-se na faixa de -30 mm ano<sup>-1</sup> no Iran (SOROUSH *et al.*, 2020), de -17 a -34 mm ano<sup>-1</sup> na África (ARTHUR CHAPMAN; MIDGLEY; SMART, 2021), de -0,6 a -13 mm ano<sup>-1</sup> na Turquia (YESILIRMAK, 2013), de -1,8 a -17 mm ano<sup>-1</sup> na Austrália (RODERICK *et al.*, 2007).

## CONCLUSÃO

A partir da realização do estudo foi possível concluir que em algumas regiões da bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe estão apresentando tendência estatisticamente significativa de variação da taxa de evaporação, algumas de aumento e outras de queda. Das localidades que apresentam tendência de aumento da taxa de evaporação, o município de Iguatu apresenta uma provável causa associada ao componente do balanço de radiação enquanto para o município de Quixeramobim a provável causa está relacionada ao componente aerodinâmico. Por fim, a única localidade que apresentou tendência estatisticamente significativa de queda (Morada Nova) mostra que a provável causa dessa redução sejam dois fatores: a ocorrência do fenômeno denominado *Global stilling* e o aumento da umidade relativa do ar na região.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao programa de financiamento estudantil da CAPES pela por meio do edital (processo n. 88887.721215/2022-00), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará (PPGEA-UFC), ao grupo de pesquisa Hidrosed e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

## REFERÊNCIAS

ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L. N.; DA SILVA, D. D. Impacts of climate change on the evaporation and availability of water in small reservoirs in the Brazilian savannah. **Climatic Change**, v. 159, n. 2, p. 215-232, 2020.

ARTHUR CHAPMAN, R.; MIDGLEY, G. F.; SMART, K. Diverse trends in observed pan evaporation in South Africa suggest multiple interacting drivers. **South African Journal of Science**, v. 117, n. 7-8, p. 1-7, 2021.

CAMPOS, J. N. B.; LIMA NETO, I. E.; STUDART, T. M. C.; NASCIMENTO, L. S. V. Trade-off between reservoir yield and evaporation losses as a function of lake morphology in semi-arid Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 88, n. 2, p. 1113-1125, 2016.

- DE ARAÚJO, J. C.; GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 51, n. 1, p. 157-170, 2006.
- LIMA, G. D.; LIMA, T. B. R.; SOARES, N. S.; DE ARAÚJO, J. C. Modelling intermittence and river flow in the semi-arid region of Brazil: The Umbuzeiro River, Ceará. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 53, p. 1-13, 2022.
- MCMAHON, T. A.; PEEL, M. C.; LOWE, L.; SRIKANTHAN, R.; MCVICAR, T. R. Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: A pragmatic synthesis. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 17, n. 4, p. 1331-1363, 2013.
- PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society**, v. 193, n. 193, p. 120-145, 1948.
- REN, C.; REN, G.; ZHANG, P.; TYSA, S. K.; QIN, Y. Urbanization significantly affects pan-evaporation trends in large river basins of China Mainland. **Land**, v. 10, n. 4, 2021.
- RODERICK, M. L.; ROTSTAYN, L. D.; FARQUHAR, G. D.; HOBBS, M. T. On the attribution of changing pan evaporation. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 17, p. 1-6, 2007.
- SHEN, J.; YANG, H.; LI, S.; LIU, Z.; CAO, Y.; YANG, D. Revisiting the Pan Evaporation Trend in China During 1988-2017. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 127, n. 12, 2022.
- SOROUSH, F.; FATHIAN, F.; KHABISI, F. S. H.; KAHYA, E. Trends in pan evaporation and climate variables in Iran. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 142, n. 1-2, p. 407-432, 2020.
- STEPHENS, C. M.; MCVICAR, T. R.; JOHNSON, F. M.; MARSHALL, L. A. Revisiting Pan Evaporation Trends in Australia a Decade on. **Geophysical Research Letters**, v. 45, n. 20, p. 11,164-11,172, 2018.
- YESILIRMAK, E. Temporal changes of warm-season pan evaporation in a semi-arid basin in Western Turkey. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 27, n. 2, p. 311-321, 2013.

# ZONEAMENTO DA MAMONA NO CEARÁ SOB CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

**Ismael de Oliveira Cavalcante**<sup>1</sup>; **Joaquim Branco de Oliveira**<sup>2</sup>; **Anderson Cândido Vieira**<sup>1</sup>; **Mairton Oliveira de Lima**<sup>1</sup>; **Pedro Felipe Soares Lima**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Discente. Rodovia Iguatu / Várzea Alegre, km 05 s/n - Cajazeiras, Iguatu - CE, 63500-000. INSTITUTO FEDERADO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ - IFCE - CAMPUS IGUATU;

<sup>2</sup>Docente. Rodovia Iguatu / Várzea Alegre, km 05 s/n - Cajazeiras, Iguatu - CE, 63500-000. INSTITUTO FEDERADO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ - IFCE - CAMPUS IGUATU

## RESUMO

A cultura da mamona, uma das mais importantes oleaginosas cultivadas no semiárido brasileiro e geradora de renda, pode ser fortemente impactada pelas alterações climáticas. Em vista disso, esse trabalho teve por objetivo simular o zoneamento da cultura da mamona para o Estado do Ceará, considerando cenários otimista e pessimista. A temperatura do ar foi espacializada para o Ceará através de regressão múltipla considerando a altitude, latitude e longitude. Foram construídos mapas de chuva a partir dos valores de chuva de postos da SUDENE e da ANA que foram utilizados para determinação do balanço hídrico. Em ambos os cenários, pessimista e otimista, observa-se redução na área zoneada para cultura. Em 2100 o Estado do Ceará se torna quase todo inapto no cenário mais otimista e totalmente inapto no cenário pessimista.

**PALAVRAS-CHAVE:** Adaptabilidade; Mudanças climáticas; Mamona;;

## INTRODUÇÃO

A região nordestina difere das demais regiões, principalmente em relação ao seu clima, em grande parte semiárido, com estacionalidade climática e alta taxa de evapotranspiração, logo o regime de chuvas anuais pode ser fator determinante de produtividade em cultivos diversos na região (Marengo et al., 2016). A Região Nordeste possui experiência e tradição na produção de mamona devido ao seu clima propício para o desenvolvimento da oleaginosa. Neste sentido, estudos climáticos são importantes para dinamizar resultados positivos na produtividade, pois tais dados são baseados em uma série de longos períodos de observações em estações meteorológicas de superfície, automatizadas ou convencionais (Santos et al., 2016; Tostes et al., 2017).

O programa nacional de biodiesel estabeleceu o percentual de mistura de biodiesel ao diesel, gerando mercado mais potencial para oleaginosas. A mamona, no nordeste semiárido surge como alternativa de matéria prima à produção de biodiesel especialmente pela qualidade do óleo (PAULA JÚNIOR; VENZON, 2007). Dentre os parâmetros climáticos, além da altitude, a temperatura do ar e o índice de umidade são os mais importantes para o zoneamento das culturas (MONTEIRO, 2009).

O Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas indica para o semiárido, incrementos de temperatura e queda no total de chuvas com a ocorrência maior de eventos extremos (PBMC, 2012). Esse cenário pode impactar negativamente levando a queda na área zoneada à cultura e afetando a renda (PEREIRA; PAIVA, 2012).

## OBJETIVOS

Esse trabalho teve por objetivo simular o zoneamento para cultura da mamona no estado do Ceará considerando dois cenários de alterações climáticas, um cenário mais otimista - Cenário B1 e outro mais pessimista Cenário A2, com o fim de fornecer subsídios a estratégias de mitigação e adaptação da cultura.

## MATERIAL E MÉTODOS



O Ceará está localizado na região Nordeste do Brasil, limitando-se a Norte com o Oceano Atlântico; ao Sul com o Estado de Pernambuco; a Leste com os Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba e a Oeste com o Estado do Piauí. Com 148.886,3 km<sup>2</sup>, quase integralmente inserido no semiárido, limita-se ao norte na ponta de Jericoacoara ( $\phi = 2^{\circ} 47' 00''$  S e  $\lambda = 40^{\circ} 28' 54''$ ), ao sul em Pena Forte ( $\phi = 07^{\circ} 51' 30''$  S e  $\lambda = 39^{\circ} 05' 28''$  W), ao leste na praia de Timbaú ( $\phi = 04^{\circ} 49' 53''$  S e  $\lambda = 37^{\circ} 15' 11''$  W) e a oeste pela Serra de Ibiapaba ( $\phi = 03^{\circ} 22' 11''$  S e  $\lambda = 41^{\circ} 26' 10''$  W). O clima predominante é tropical quente semiárido com pequenas manchas de tropical quente subúmido e úmido e resquícios de tropical subquente úmido localizados em superfícies topograficamente elevadas.

Foram simulados um cenário otimista (B1) e outro pessimista (A2) de temperatura e chuva com intervalos até 2040, 2070 e 2100 (Tabela 1).

**Tabela 1:** Cenários de chuva e temperatura avaliados

Cenário*	Período	Temperatura	Chuva
Normais	1961-1990	Normais	Normais
B1	2040	+0,5 °C	-10%
B1	2070	+1,5 °C	-25%
B1	2100	+3,5 °C	-40%
A2	2040	+1,0 °C	-25%
A2	2070	+2,5 °C	-35%
A2	2100	+4,5 °C	-50%

**\*Fonte PBMC (2012)**

A temperatura do ar foi estimada conforme procedimentos sugeridos por Oliveira *et al.* (2013). (OLIVEIRA *et al.*, 2013):

$$T_i = A_0 + A_1 \cdot h + A_2 \cdot h^2 + A_3 \cdot \lambda + A_4 \cdot \lambda^2 + A_5 \cdot \phi + A_6 \cdot \phi^2 + A_7 \cdot h \cdot \phi + A_8 \cdot h \cdot \lambda + A_9 \cdot \phi \cdot \lambda$$

T<sub>i</sub> - temperaturas normais médias mensais;

φ - latitude da estação em graus e décimos;

h - modelo digital de elevação;

A<sub>n</sub> - coeficientes da equação de regressão.

O índice de umidade (Iu) foi calculado a partir do balanço hídrico de Hídrico de Thornthwaite e Mather conforme Vianello e Alves (2012)

Considerando que o índice de umidade (Iu) e a temperatura do ar contemplam os indicadores hídricos e térmicos, foram gerados mapas desses parâmetros anuais os quais foram cruzados para obtenção dos mapas de aptidão com o programa computacional Idrisi Selva®

Foram avaliadas três classes de aptidão: Apta, clima adequado sem nenhuma restrição; Restrita, clima limitado por um dos indicadores e; Inapta, com o indicadores climáticos fora da faixa adequada ao desenvolvimento (Tabela 2)

**Tabela 2:** Cenários de chuva e temperatura avaliados

Classificação	Temperatura*	Índice de Umidade**
Apta	20°C < Tm < 35°C	-20 < Iu < 20
Restrita	14°C < Tm < 20°C e 35°C < Tm < 40°C	-40 < Iu < -20 e Iu > 20
Inapta	< 14°C e Tm > 40°C	Iu < -40

**Fonte:** \*MAPA (2021) e Monteiro (2009); \*\* Barros *et al.* (2012)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Cenário B1 - No cenário mais otimista, nos anos de 2040 e 2070, ainda se percebe uma capacidade produtiva devido as áreas de maior incidência de chuva, de acordo com o mapa de normais climatológicas. Porém, se mantendo esses padrões climáticos previstos, para o ano de 2100, haverá apenas uma região mínima para o cultivo de forma restrita.

O Cenário A2 - Nesse cenário que se apresenta como o menos favorável, 2040 e 2070, apresentam uma pequena capacidade produtiva, também pelas áreas de maiores precipitações do Estado e para 2100, não se vislumbra nenhuma área apta para o cultivo de mamona, nem mesmo com restrições.

## CONCLUSÃO

As mudanças climáticas são fatores preponderantes para a manutenção do cultivo da mamona no estado do Ceará, tais cenários levantados devem servir de base para a tomada de decisões quanto aos tipos de ações antrópicas que podem ser realizadas para que não se alcance a tais cenários.

## REFERÊNCIAS

BARROS, A. H. C.; VAREJÃO-SILVA, M. A.; TABOSA, J. N. Aptidão Climática do Estado de Alagoas para Culturas Agrícolas. Embrapa Solos. Recife: 2012, p.104. 2012.

IPECE. **Ceará em mapas:** informações georreferenciadas e especializadas para os 184 municípios cearenses, Fortaleza, 2007. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/>. Acesso em: 05 mar. 2021.

KHAN, A. S.; BRAGA, F. L. P.; MAYORGA, R. D. Nível tecnológico e balanço econômico de produção de mamona para obtenção do biodiesel no estado do Ceará. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, v. 6, n. 1, p.105-131, 2008.

MARENGO, J. A.; Cunha, A. P.; Alves, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Climanálise**, v. 3, n. 1, p. 1-6, 2016

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Portaria 209/2021. Brasília: MAPA. 22 jun., 2021.

MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.) Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2009. 530 p.

OLIVEIRA, J. B.; ARRAES, F. D. D.; VIANA, P. C. 2013. Methodology for the spatialisation of a reference evapotranspiration from SRTM data. **Ciência Agrônômica**, 44, 3, 445-454.

PBMC. 2012. Sumário executivo do volume 1. Base Científica das Mudanças Climáticas: contribuição do Grupo de Trabalho 1 para o 1º Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Volume Especial para a Rio+20. PBMC, Rio de Janeiro. 34 p.

PEREIRA, A. Q.; PAIVA, A. L. de L. A produção de mamona no semiárido cearense: entre os saberes técnicos e a educação ambiental crítica. *In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO*, 7., 2012, Palmas, 2012. **Anais** [...]. Palmas: CONNEPI, 2012. p. 1-5

SANTOS, A. A. R.; Lyra, G. B.; Lyra, G. B.; Lima, E. P.; Souza, J. L.; Delgado, R. C. Evapotranspiração de referência em função dos extremos da temperatura do ar no Estado do Rio de Janeiro. *Irriga*, v. 21, n. 3, p. 449-465, 2016. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v21n3p449-465>

TOSTES, J. O.; Lyra, G. B.; Oliveira-Júnior, J. F.; Francelino, M. R. Assessment of gridded precipitation and air temperature products for the State of Acre, Southwestern Amazonia, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 4, 153, 2017. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6467-2>

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. 2 ed. Viçosa: UFV, 2012. 460 p.

# ZONEAMENTO DA SOJA NO CEARÁ SOB CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

**Ismael de Oliveira Cavalcante**<sup>1</sup>; **Joaquim Branco de Oliveira**<sup>2</sup>; **Anderson Cândido Vieira**<sup>1</sup>; **Maria Fernanda da Silva Vieira**<sup>1</sup>; **Mateus Lima Silva**<sup>1</sup>; **Mairton Oliveira de Lima**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Discente. Rodovia Iguatu - Várzea Alegre Km 05 Vila Cajazeiras Iguatu - CE CEP: 63500-000. INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ESTADO DO CEARÁ - IFCE CAMPUS IGUATU; <sup>2</sup>Docente. Rodovia Iguatu - Várzea Alegre Km 05 Vila Cajazeiras Iguatu - CE CEP: 63500-000. INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ESTADO DO CEARÁ - IFCE CAMPUS IGUATU

## RESUMO

Exigências térmicas, hídricas e, principalmente, fotoperiódicas determinam a adaptabilidade de cultivares de soja em determinadas regiões. No estado do Ceará as condições apresentadas para o cultivo dessa leguminosa são muito favoráveis, podendo contribuir para o aumento do volume da produção nacional. É apresentado nesse trabalho, simulações de zoneamento do cultivo da soja no estado do Ceará considerando dois cenários de alterações climáticas, um cenário mais otimista - Cenário B1 e outro menos otimista Cenário A2, a fim de que se tenha conhecimento das condições que se apresentarão para que se busque mitigar os problemas, em uma situação de cenário desfavorável, e se obtenha um melhor desempenho nos cenários favoráveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Exigências; Adaptabilidade; Soja;;

## INTRODUÇÃO

No Brasil, a soja é cultivada em todas as regiões do país (ROCHA et al., 2006). A recomendação de cultivares adaptados à região com alta produção de grãos, proteína e óleo deve ser precedida por análises em diferentes ambientes, uma vez que o desempenho do genótipo, tratando-se de caracteres contínuos, resulta não só dos efeitos do genótipo, mas também dos efeitos de ambiente e da interação genótipo x ambiente (G x E) (ALLARD; BRADSHAW, 1964; EBERHART; RUSSELL, 1966; NUNES, R. P, 1998; CRUZ et al. 2004). Quando verificado a existência da interação significativa entre genótipos e ambientes, utilizam-se técnicas para identificar genótipos adaptados e estáveis a ambientes específicos. Segundo Eberhart e Russell (1966), a adaptabilidade refere-se à capacidade dos genótipos apresentarem vantajosamente os estímulos do ambiente. Já o estudo da estabilidade fenotípica permite sintetizar o enorme volume de informações obtido, caracterizando a capacidade produtiva, a adaptação às variações de ambiente e a estabilidade de novos genótipos (RAIZER; VENCOSKY, 1999).

A adaptabilidade de cultivares de soja a determinadas regiões depende das exigências térmicas, hídricas e, principalmente, fotoperiódicas. A sensibilidade ao fotoperíodo é uma característica variável entre cultivares, nos quais, a faixa de adaptabilidade pode ser restrita ou ampla ao longo das latitudes (SHIGIHARA; HAMAWAKI, 2005). Em razão disto, grande parte da área mundial cultivada com essa cultura está localizada em latitudes maiores que 30°, onde prevalecem condições de clima temperado. O Brasil representa uma exceção dentro desse contexto (ALMEIDA *et al.*, 1999). Os estados da região Nordeste que se destacam na produção deste grão são Bahia, Maranhão e Piauí, no entanto, o Ceará apresenta condições muito favoráveis para o cultivo desta leguminosa e pode contribuir nos próximos anos para aumentar o volume da produção nacional (OLIVEIRA FILHO, 2011).

## OBJETIVOS

Esse trabalho visa apresentar simulações de zoneamento do cultivo da soja no estado do Ceará considerando dois cenários de alterações climáticas, um cenário mais otimista - Cenário B1 e outro

menos otimista Cenário A2, a fim de que se busque mitigar os problemas para uma situação de cenário desfavorável.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido para o Estado do Ceará, localizado no nordeste brasileiro entre as latitudes 2,5° e 8° sul e longitudes 37° e 42° oeste. De acordo com a classificação climática de Koppen a área de estudo apresenta três climas: BSh, Aw e Cw, com predominância do clima BSh (semiárido) em 80% da área.

Para que fosse possível a obtenção dos dados de precipitação pluviométrica, foram utilizados dados de 294 estações, oriundos de postos pluviométricos e estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME) e da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), localizados no Estado do Ceará e em estados vizinhos, para que fosse possível a interpolação (Figura 1). Para a simulação, foram utilizados dois cenários, presentes no Tabela 1, onde B1 seria o mais otimista quando comparada com A2, que prevê um aumento maior da temperatura e uma diminuição do número de chuvas.

A temperatura média do ar foi estimada e espacializada a partir de um modelo de regressão linear múltipla tendo como variáveis dependente altitude, latitude e longitude conforme procedimentos descritos por Oliveira *et al.* (2013).

$$T_i = A_0 + A_1 \cdot h + A_2 \cdot h^2 + A_3 \cdot \lambda + A_4 \cdot \lambda^2 + A_5 \cdot \varphi + A_6 \cdot \varphi^2 + A_7 \cdot h \cdot \varphi + A_8 \cdot h \cdot \lambda + A_9 \cdot \varphi \cdot \lambda$$

T<sub>i</sub> - temperaturas normais médias mensais;

λ - longitude da estação em graus e décimos;

φ - latitude da estação em graus e décimos;

h - modelo digital de elevação;

A<sub>n</sub> - coeficientes da equação de regressão.

Foram construídos mapas de zoneamentos considerando o cenário padrão a partir das normais climatológicas de 1961-1990. Tanto o cenário otimista quanto o pessimista tiveram sofreram alterações de temperatura e chuva (Tabela 1).

**Tabela 1:** Cenários de chuva e temperatura avaliados.

CENÁRIOS*	PERÍODO	TEMPERATURA	CHUVA
Normais	1961-1990	Normais	Normais
B1 2040	Até 2040	+0,5 °C	-10%
B1 2070	2041 - 2070	+1,5 °C	-25%
B1 2100	2071 - 2100	+3,5 °C	-40%
A2 2040	Até 2040	+1,0 °C	-25%
A2 2070	2041 - 2070	+2,5 °C	-35%

**\*PBMC (2012)**

Foram gerados mapas de temperatura e chuva para cada cenário, os quais foram cruzados para obter os mapas de zoneamento por cenário estudado utilizando o programa Idrisi Selva©. Os mapas foram categorizados em três classes de aptidão (Apta, Restrita e Inapta) de acordo com os índices propostos para o caupi por Barros et al. (2012) e Andrade Júnior et al. (2002) e descritos no Tabela 2.

**Tabela 2:** Classes de aptidão

Aptidão	Temperatura*	Deficiência hídrica(**)
Apta	25 < Ta < 30	500 < Chv < 600
Restrita	15 < Ta < 25 e 30 < Ta < 35	400 < Chv < 500 e 600 < Chv < 800
Inapta	Ta < 15; Ta > 35	Chv < 400; Chv > 800

**Fonte:** \* FAO 33 E RAES, \*\*EMBRAPA (2019)

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os cenários estudados apresentam mudanças que podem ser consideráveis, uma vez que a soja não é uma cultura forte no estado do Ceará. Visto que em algumas situações a mudança climática pode ser favorável para a implantação dessa cultura no estado.

**O Cenário B1** - No cenário mais favorável, em 2040, percebe-se um aumento da área de cultivo na periferia da área já cultivada, Sertão dos Inhamuns, para o ano de 2070 essa área periférica ganha mais abrangência e para 2100, já é observado um cenário mais favorável em toda região central do estado (Figura 1).

**O Cenário A2** - No cenário menos favorável, em 2040 percebe-se a presença da cultura em todas as regiões do estado, para o ano de 2070 apenas áreas da região norte e sul do estado serão propícias para o cultivo, regiões essas que pelo mapa das aptidões atuais 1961-1990 são consideradas inaptas, porém, para 2100, apenas a Região Norte do estado possuirá algumas áreas próprias tendo a maior parte do estado como inaptas para o cultivo (Figura 1).

**CONCLUSÃO**

Em um cenário menos favorável para 2100 é que se identifica uma grande área inapta para o seu cultivo, mesmo assim cerca de 50% da área do estado ainda se apresenta favorável ao cultivo com restrições. Desta forma, pode-se concluir que é uma cultura a ser explorada, porém a longo prazo precisa haver atenção para que sejam mitigados os riscos de inviabilidade em todo o território estadual.

**REFERÊNCIAS**

ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype environment interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, v. 4, n. 02, p. 503-507, 1964.

ALMEIDA, L. A.; KIIHL, R. A. S.; MIRANDA, M. A. C.; CAMPELO, G. J. A. Melhoramento da soja para regiões de baixa latitude. In: **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro**. Brasília: Embrapa Semiárido, 1999.

- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2004. 480p.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. Yield response to water. Rome: FAO, 1979. 257 p. (Irrigation and drainage paper, 33).
- EBERHART, S. A.; RUSSEL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v. 1, n. 05, p. 36-40, 1966.
- EMBRAPA. **Soja**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: Embrapa, 2019. 274p.
- IPECE. **Ceará em mapas**: informações georreferenciadas e especializadas para os 184 municípios cearenses, Fortaleza, 2007. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/>. Acesso em 05 mar. 2021.
- NUNES, R. P. **Métodos para a Pesquisa Agronômica**. Fortaleza: UFC/Centro de Ciências Agrárias, 1998. 564p.
- OLIVEIRA, J. B.; ARRAES, F. D. D.; VIANA, P. C. 2013. Methodology for the spatialisation of a reference evapotranspiration from SRTM data. **Ciência Agrônômica**, 44, 3, 445-454.
- OLIVEIRA FILHO, F. A. Produção e área colhida de soja no Nordeste. 2011. Informe Rural ETENE. Ano V. Vol. 13.
- PAULA JÚNIOR, T. J.; VENZON, N. **101 culturas**: manual de tecnologias agrícolas. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 800 p. em: 05 mar. 2021.
- PBMC. 2012. Sumário executivo do volume 1. Base Científica das Mudanças Climáticas: contribuição do Grupo de Trabalho 1 para o 1º Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Volume Especial para a Rio+20. PBMC, Rio de Janeiro. 34 p.
- RAIZER, A. J.; VENCOSKY, R. Estabilidade fenotípica de novas variedades de cana-de-açúcar para o estado de São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 12, p. 2241-2246, 1999.
- RAES, D. et al. AquaCrop: reference manual. Rome: FAO, 2018. 87 p. (Annexes AquaCrop, versio 6.0-6.1)
- ROCHA, M. M. et al. Correlações entre parâmetros de adaptabilidade e estabilidade da produtividade de óleo em soja. **Ciência Rural**, v. 36, n. 03, p. 772-777, 2006.
- SHIGIHARA, D; HAMAWAKI, O. T. Seleção de Genótipos para Juvenildade em Progenies de soja (*Glycinemax*(L.) Merrill). **Bioscience Journal**. Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia-MG, p. 01-26, 2005.

# CARACTERIZAÇÃO DA ESTAÇÃO CHUVOSA DA MICRORREGIÃO DE ARAGUAÍNA - TOCANTINS, BRASIL

**Vinicius Cirqueira dos Santos**<sup>1</sup>; **Roberta Araújo e Silva**<sup>3</sup>; **Girlene Figueiredo Maciel**<sup>2</sup>; **Pedro Paulo Jácome Ribeiro**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Discente do curso de graduação em Engenharia Ambiental. Quadra 109 Norte, Av. NS 15, ALCNO-14, Plano diretor Norte, 77001-090, Palmas/TO. Universidade Federal do Tocantins; <sup>2</sup>Docente do curso de graduação em Engenharia Ambiental. Quadra 109 Norte, Av. NS 15, ALCNO-14, Plano diretor Norte, 77001-090, Palmas/TO. Universidade Federal do Tocantins; <sup>3</sup>Meteorologista do Laboratório de Meteorologia e Climatologia. Quadra 109 Norte, Av. NS 15, ALCNO-14, Bloco II, sala 40, Plano diretor Norte, 77001-090, Palmas/TO. Universidade Federal do Tocantins

## RESUMO

A microrregião de Araguaína, um dos principais centros econômicos do Tocantins, vem se destacando no cenário de pecuária bovina no estado, contando com cerca de 19% de todo o rebanho tocantinense. Essa atividade está vinculada, de maneira direta, com a produção de forrageiras, empregadas na formação de pastagens, e suplementos, tais como a milho, sorgo e soja. Sabendo que o cultivo dessas culturas se dá em regime de sequeiro, ou seja, completamente dependente do regime da chuva para satisfazer a demanda hídrica das culturas, o conhecimento à cerca da estação chuvosa na região é crucial para promover a melhor eficácia e eficiência no manejo, além de reduzir os impactos ambientais da atividade. Dentro desse contexto, o conhecimento dos tipos e análise descritiva da estação chuvosa dessa região, bem como a identificação de possíveis tendências, foi o objetivo do presente trabalho. Os resultados indicaram que o início e fim da estação chuvosa, em média, ocorrem nos dias 29 de novembro e 22 de maio, respectivamente, apresentando total médio de precipitação durante a estação chuvosa de 1.428 mm. Foram verificadas presença de tendências para todos os parâmetros analisados, indicando tendências crescentes para os dias de início e término da estação chuvosa e tendências de decréscimo para a duração e total acumulado de precipitação durante a estação chuvosa, demonstrando - dessa maneira - mudanças no padrão de distribuição da precipitação durante a estação chuvosa nessa região.

**PALAVRAS-CHAVE:** estação chuvosa; tendência; pecuária;;

## INTRODUÇÃO

O estado do Tocantins vem se destacando no cenário nacional como um grande produtor e exportador de grãos, sendo nesses quesitos o maior e mais promissor da região norte do país (SEAGRO, 2022). Paralelamente, vem ganhando, também, espaço na cultura de pecuária, já respondendo pelo 10º maior estado detentor de rebanho bovino do Brasil (IBGE,2022).

Nesse cenário insere-se a microrregião de Araguaína, um dos principais centros econômicos do estado, sendo veementemente relevante no cenário de pecuária bovina do Tocantins. Essa atividade, está diretamente vinculada à produção de forrageiras (pastagens), que apresentam, como demais culturas, eficiência de produção diretamente associada à disponibilidade hídrica, sendo evidente nesse contexto a influência da qualidade da estação chuvosa. Ademais, inserem-se nesse quadro o cultivo de suplementos, tais como o milho, sorgo, soja, entre outros alimentos utilizados como complementos para a dieta animal, produzidos em regime de sequeiro, ou seja, diretamente dependentes do regime pluviométrico (GOMES et al., 2015), necessitando de especial e correto manejo para não agravamento dos impactos ambientais decorrentes da atividade.

Diante da conjuntura da microrregião de Araguaína, sabendo que a data de início da estação chuvosa é um parâmetro agroclimático fundamental para regiões na qual se têm período seco bem delimitado (Silva e Ferreira, 2011) e partindo do pressuposto que está ocorrendo uma mudança no padrão de distribuição da precipitação durante a estação chuvosa na região, como já identificado por Santos, Silva e Maciel (2023) para a capital do estado - Palmas, é de suma importância a realização de uma



caracterização da estação chuvosa dessa área, bem como a identificação de possíveis tendências que possam ocorrer para a microrregião.

## **OBJETIVOS**

O presente trabalho apresenta por objetivo a realização de análise descritiva da estação chuvosa da microrregião de Araguaína, bem como a identificação de tendência para cada parâmetro analisado por intermédio do método de análise de regressão.

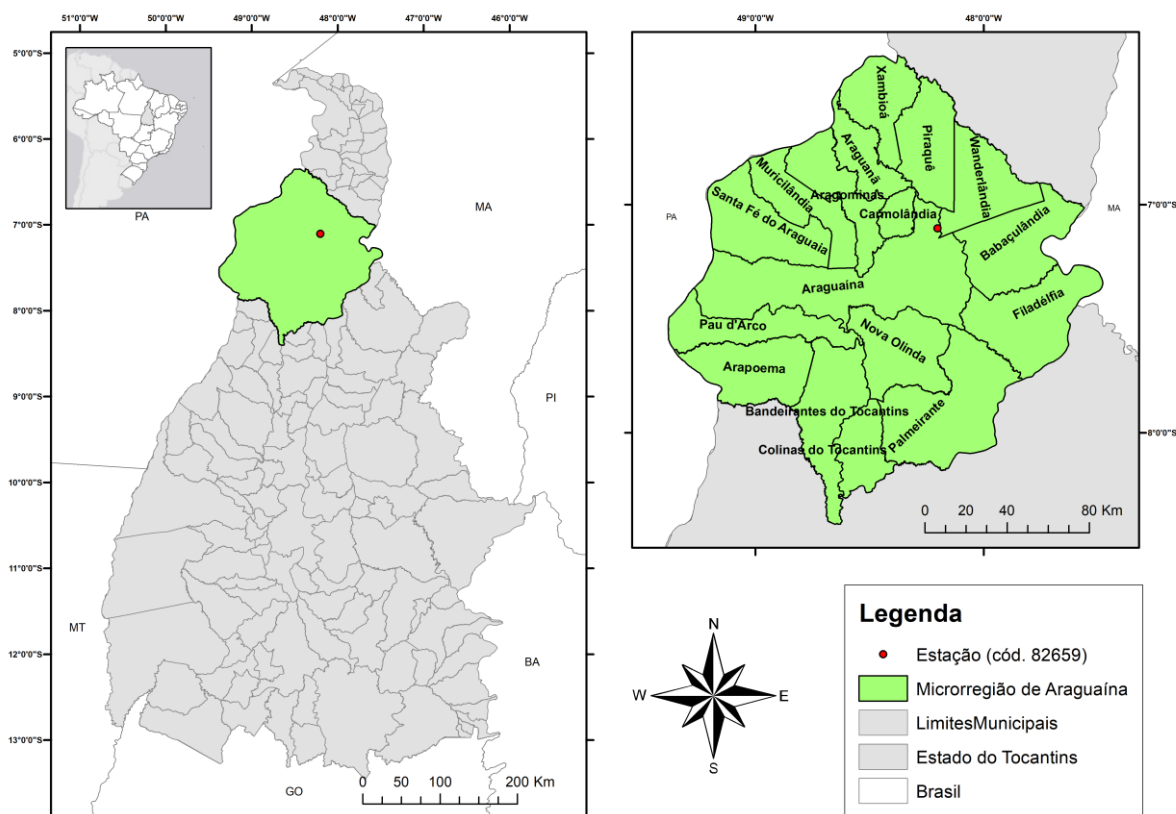
## **MATERIAL E MÉTODOS**

A microrregião de Araguaína abrange uma área de 26.436,57 Km<sup>2</sup>, sendo a 6<sup>a</sup> maior microrregião do estado do Tocantins correspondendo a cerca de 9,5% do seu território. e englobando 17 municípios, sendo eles: Aragominas, Araguanã, Araguaína, Arapoema, Babaçulândia, Bandeirantes do Tocantins, Carmolândia, Colinas do Tocantins, Filadélfia, Muricilândia, Nova Olinda, Palmeirante, Pau d' Arco, Piraquê, Santa Fé do Araguaia, Wanderlândia e Xambioá (NASCIMENTO, SOUZA e OLIVEIRA, 2021). O clima predominante na região, de acordo com a classificação de Thornthwaite, é úmido com moderada deficiência hídrica B1wA'a' (SEPLAN, 2015; ROLDÃO e FERREIRA, 2019).

De acordo com Guedes e Brito (2014), a atividade de pecuária representa o elemento fundamental na produção socioeconômica dessa região, possuindo cerca de 19,4% de todo o rebanho do estado (IBGE, 2019). Essa microrregião conta, também, com o Distrito Agroindustrial de Araguaína (DAIARA), localizado no município de Araguaína, contendo indústrias e 3 frigoríficos de referência nacional: Bertin. Minerva e Boi Forte (França e Costa, 2016).

Quanto às culturas agrícolas de milho e soja, notadamente as mais produzidas no Tocantins (CONAB, 2021), a microrregião de Araguaína faz-se pouco presente no cenário do estado. Referente à safra de 2016 a 2017, foi responsável pela produção de 34.167 toneladas de milho em grão, correspondendo a cerca de 4,7% de todo o total produzido pelo Tocantins, destacando-se o município de Santa Fé do Araguaia, responsável pela produção de 53,32% desse quantitativo. Referente a soja para o mesmo período, foi responsável pela produção de 52.416 toneladas, correspondendo à aproximadamente 2,71% do total produzido pelo estado, nesse quantitativo o município de Palmeirante foi responsável pela produção de 42,2%, destacando-se perante os demais (IBGE, 2019).

Posto isto, para a realização do presente estudo foram utilizados dados de precipitação diários provenientes da estação meteorológica convencional pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instalada no município de Araguaína (cód. 82659), localizada nas coordenadas geográficas 7° 6' 14.000" de latitude sul e 48° 12' 5.000" de longitude oeste de Greenwich (Figura 1), possuindo uma altitude de 231.85 metros acima do nível do mar.



**Figura 1:** Área de estudo e localização da estação meteorológica utilizada.

Os dados obtidos foram posteriormente organizados e tratados em planilhas utilizando o *software* Microsoft Office Excel. Para realização dos cálculos de caracterização da estação chuvosa e de cálculos para detecção de tendências utilizou-se o mesmo software. Como mecanismo de filtragem de dados, optou-se por utilizar o critério proposto por Teixeira (2010), eliminando intervalos anuais que apresentam  $\geq 10\%$  de falhas, contínuas ou não. Como nenhum dos 38 anos analisados (1984-2021) apresentou tais percentuais de falhas, seguiu-se normalmente com a aplicação dos cálculos.

### Caracterização da estação chuvosa

A definição da data do início da estação chuvosa (IEC) foi obtida através do critério proposto por Sansigolo (1989), considerando a primeira data após determinada data específica, em que ocorreu 20 mm de chuva em dois dias consecutivos, desde que não ocorra períodos secos superiores a sete dias durante os 30 dias subsequentes. Como a região está predominantemente localizada dentro do bioma de Cerrado (GUEDES e BRITO, 2014), apresenta como característica a concentração das chuvas no verão do hemisfério Sul.

A data do fim da estação chuvosa (FEC) considera o primeiro dia após a data de 1<sup>a</sup> de março, de uma sequência igual a 15 dias sem chuva. Essa data foi escolhida por ser a mais provável para regiões em que a estação chuvosa se concentra no verão.

Após o cálculo das datas inicial e final da estação chuvosa foi calculada a duração da estação chuvosa (DEC), determinada para cada ano da série histórica, e em dias. A DEC é obtida pela diferença entre a data do FEC e o IEC, como mostra a Equação (1). Também será obtido os totais de precipitação durante a estação chuvosa (T.PEC), obtendo assim uma análise climatológica da distribuição da precipitação na microrregião de Araguaína.

$$DEC = \begin{cases} (365 + (FEC - IEC)), \text{ ano não bissexto} \\ (366 + (FEC - IEC)), \text{ ano bissexto} \end{cases} \quad (1)$$

### Identificação e caracterização de tendência

A caracterização da tendência temporal foi alcançada traçando uma reta de regressão linear. A regressão linear é um modelo adequado para representar matematicamente o comportamento de uma variável dependente ( $y$ ) (a precipitação), em função de uma variável independente ( $x$ ) (anos), se a relação entre elas é aproximadamente linear (TRIOLA, 2005).

$$y = a + bx \quad (2)$$

O coeficiente angular ( $b$ ) define o grau de inclinação da reta. Onde  $b > 0$  denota que a reta tem uma inclinação positiva e quando  $b < 0$ , a inclinação da reta é negativa.

Assim, em uma série temporal histórica, esse coeficiente irá indicar se a tendência é crescente (positiva) ou decrescente (negativa) no decorrer do tempo. O coeficiente angular também mostra se essa variação ocorre de maneira brusca ou suave.

Para verificação da significância estatística do coeficiente angular (inclinação da reta), do modelo de regressão, foi utilizada a estatística  $t$  de Student. O teste de hipótese para a inclinação da reta baseia-se na hipótese nula ( $\beta = 0$ ) que não há tendência (TRIOLA, 2005).

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estação chuvosa da microrregião de Araguaína inicia-se, em média, no dia 29 de novembro (dia juliano 333). A série de IEC apresentou desvio padrão de cerca de 49 dias, denotando alta variabilidade de dispersão de dados para o respectivo parâmetro. Quanto aos máximos e mínimos registrados, verificou-se que no ano de 1992 ocorreu o início mais precoce da estação chuvosa na região para a série em estudo, ocorrendo no dia 09 de setembro (dia juliano 253), sendo essa data 24% inferior à data média de IEC para a microrregião, conforme Tabela 1. Por outro lado, verificou-se no ano de 2005 o IEC mais tardio para a série histórica, ocorrendo no dia 28 de março do ano posterior (correspondendo ao dia juliano 452), sendo essa data 36% superior à data média de IEC para a área de estudo. Referente a detecção de tendência, verificou-se coeficiente angular  $b$  igual a aproximadamente 1,0, sem significância estatística.

**Tabela 1:** Análise descritiva do IEC para a microrregião de Araguaína.

Média (dia juliano)	D.P. (dias)	Mínimo (dia juliano)	Máximo (dia juliano)	$b$
333,1	49,4	254	452	1,0

Fonte: Os autores (2023)

Concernente ao FEC, verificou-se que esse ocorre, em média, no dia 22 de maio (dia juliano 142). O FEC mais precoce para a região ocorreu em 1992, precisamente no dia 02 de março (dia juliano 62), sendo essa data 56% inferior à data média de fim da estação chuvosa identificada. De outro modo, constatou-se que o FEC mais tardio para a região ocorreu em 1989, no dia 10 de julho (dia juliano 191), sendo, a respectiva data, 35% superior à data média de FEC para a microrregião. O desvio padrão encontrado para a série foi de aproximadamente 22 dias, denotando média a baixa dispersão

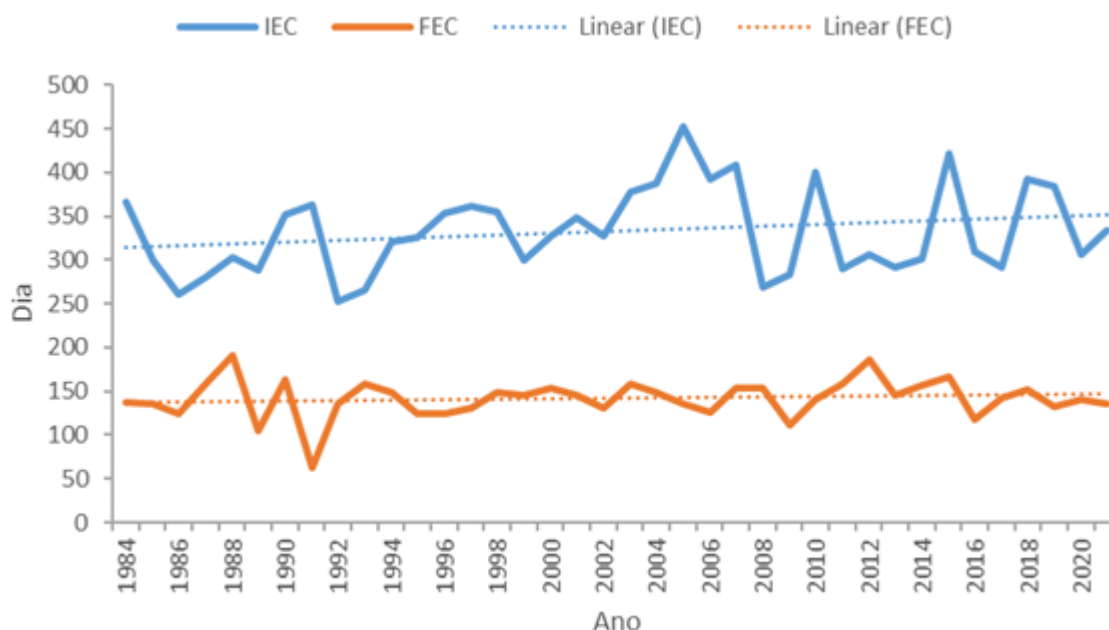
de dados para esse parâmetro. Quanto à detecção de tendência na série, verificou-se coeficiente angular  $b$  igual a aproximadamente 0,3, sem significância estatística (Tabela 2).

**Tabela 2:** Análise descritiva do FEC para a microrregião de Araguaína.

Média	D.P.	Mínimo	Máximo	$b$
(dia juliano)	(dias)	(dia juliano)	(dia juliano)	
141,6	22,3	62	191	0,27

Fonte: Os autores (2023)

Os respectivos valores de IEC e FEC - para cada ano analisado - são visíveis na Figura 2. Observe, de maneira nítida, maior similaridade para a série do FEC, fenômeno esse atrelado às condições de estabilidade atmosférica ocorrentes durante esse período. Fenômeno inverso é observado para a série de IEC, esse atrelado às condições de instabilidade atmosférica que ocorrem durante o mesmo período.



**Figura 2:** Variabilidade interanual do Início da Estação Chuvosa (IEC), linha sólida azul, e do Final da Estação Chuvosa (FEC), linha sólida laranja, da Microrregião de Araguaína - TO no período de 1984 a 2021.

A duração média da estação chuvosa (DEC) para a microrregião de Araguaína é de aproximadamente 174 dias, sendo que a menor DEC foi registrada no ano de 2005, compreendendo 49 dias e sendo 72% inferior à duração média da EC para a região. De outra forma, no ano de 1993 foi verificada a maior DEC para a série em estudo, contendo 257 dias, 48% a mais que a duração média da EC para a área. O desvio padrão detectado para a série foi de aproximadamente 55 dias, representando, dessa maneira, alta dispersão de dados para esse parâmetro. O coeficiente  $b$  identificado para a série foi de aproximadamente -0,76, porém sem significância estatística (Tabela 3).

**Tabela 3:** Análise descritiva da DEC para a microrregião de Araguaína.

<b>Média</b>	<b>D.P.</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b><i>b</i></b>
<b>(dias)</b>	<b>(dias)</b>	<b>(dias)</b>	<b>(dias)</b>	
173,8	54,8	49	257	-0,76

Fonte: Os autores (2023)

Quanto ao total acumulado de precipitação durante a estação chuvosa (T.PEC), constatou-se que esse é, em média, 1.428 milímetros (mm). O ano que apresentou o menor T.PEC para a série em estudo foi 2015, correspondendo a 561,7 mm, 61% inferior ao total médio registrado para a área, enquanto 1999 foi ano que apresentou o maior T.PEC, correspondendo a 2076,5 mm, 45% superior à média de TPREC para a região. Verificou-se, ainda, desvio padrão igual a 419,7 mm, denotando assim alta dispersão de dados. O coeficiente *b* constatado foi de aproximadamente -9,7, com significância estatística (Tabela 4).

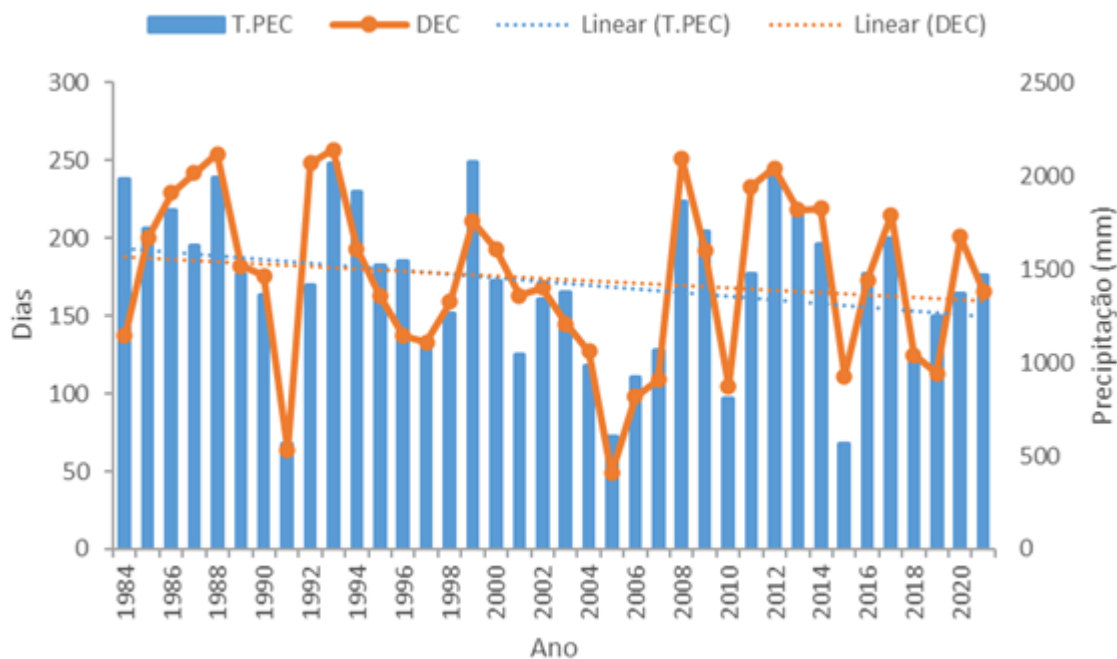
**Tabela 4:** Análise descritiva do T.PEC para a microrregião de Araguaína.

<b>Média</b>	<b>D.P.</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b><i>b</i></b>
<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>	
1.427,7	419,7	561,7	2076,5	-9,72*

\*tendência estatisticamente significativa

Fonte: Os autores (2023)

Os valores de DEC e T.PEC, para cada ano analisado, são visíveis na Figura 3. É possível observar o não relacionamento estreito entre a duração e o total acumulado de precipitação na estação chuvosa da microrregião, ou seja, não necessariamente uma estação chuvosa mais longa culminará em um total de chuva acumulada maior, e vice-versa. Exemplos dessa afirmação são os anos de 1984 e 2011, na estação chuvosa do ano de 1984 choveu 1982,8 mm em 137 dias, por outro lado na estação chuvosa de 2011 choveu 1475,3 mm em 233 dias, demonstrando, dessa maneira, dessemelhança entre as duas variáveis.



**Figura 3:** Variabilidade interanual da Duração da estação Chuvosa (DEC), linha sólida laranja, e do Total Acumulado da Precipitação da Estação Chuvosa (T.PEC), em barra, da Microrregião de Araguaína - TO no período de 1984 a 2021.

### Discussões

O IEC médio identificado de 29 de novembro mostrou-se ser condizente com os resultados obtidos por Roldão e Ferreira (2019) para a região, indicando que - embora apresente total precipitado considerável no mês de outubro, esse se dá de chuvas isoladas, desse modo não configurando-se, ainda, como mês chuvoso.

Em comparação direta com Palmas, o IEC médio na microrregião de Araguaína dá-se 13 dias após ao IEC médio da capital do estado, uma vez que, como identificado por Santos, Silva e Maciel (2023), a estação chuvosa no município inicia-se em 16 de novembro. O coeficiente  $b = 1,0$  indica uma baixa, porém presente, tendência de atraso para o IEC na região, indicando que a microrregião de Araguaína segue a mesma propensão constatada para demais regiões, como encontrado por Serafim e Lima (2019) para o Distrito Federal, identificado por Santos, Silva e Maciel (2023) para o município de Palmas e apontado por Lukovi? et al. (2021) para o estado da Califórnia (EUA). Considerando-se que períodos chuvosos que apresentam inícios precoces são eminentemente superiores na produção agrícolas (SILVA e FERREIRA, 2011), se tem - dessa forma - indiretamente uma tendência da redução no potencial de produtividade de culturas de sequeiro na microrregião.

Quanto ao FEC médio, foi que ocorre no dia 22 de maio, 13 dias após o térmico médio da estação chuvosa de Palmas - TO, 09 de maio, conforme Santos, Silva e Maciel (2023). O coeficiente  $b$ , para esse parâmetro, de 0,27 indica uma baixa, porém presente, tendência de atraso para o fim da estação chuvosa na região.

Por outro lado, embora apresentem suas especificidades locais, a DEC média encontrada para a microrregião de Araguaína igualou-se à DEC encontrada por Santos, Silva e Maciel (2023) para Palmas - TO, sendo de 174 de dias. Paralelamente, o coeficiente  $b$  de -0,76 indica a presença de encurtamento para a estação chuvosa na área, demonstrando uma mudança adversa na quantidade de dias com precipitações regulares nessa.

O T.PEC médio identificado para a área foi de 1.427,7 mm, sendo condizente com a especificação local (ROLDÃO e FERREIRA, 2019). Para esse parâmetro o coeficiente  $b$  de -9,72 identificado denota tendência estatisticamente significativa de decréscimo do total acumulado de precipitação durante a estação chuvosa, sendo essa tendência estatisticamente significativa.

Dessa forma, não foi verificado comportamento homogêneo para nenhum dos parâmetros da estação chuvosa analisados, comprovados pela existência de tendências de acréscimo - como observado para o IEC e FEC, e de decréscimo, observadas para a DEC e o T.PEC.

Sendo essa região notoriamente dependente do regime hídrico para produção agrícola, que por sua vez subsidia a pecuária da região, o cenário identificado no presente trabalho - quanto à qualidade da estação chuvosa - é de mudança adversa, o que pode estar atrelado à evolução de uso e ocupação do solo na área e em regiões circunvizinhas, resultando, desse modo, na indireta redução do potencial de produção de culturas de sequeiro na localidade.

## CONCLUSÃO

A estação chuvosa da microrregião de Araguaína inicia-se, em média, no dia 29 de novembro, finaliza - em média - no dia 22 de maio, dura aproximadamente 174 dias e apresenta total médio acumulado de precipitação de 1.427,5 mm. Paralelamente, está ocorrendo uma mudança na distribuição da precipitação durante estação chuvosa nessa região.

Há, para a região, tendência de retardamento para o IEC, tendência de atraso para o FEC, tendência de encurtamento da estação chuvosa e tendência de diminuição do T.PEC. Fica evidente, dessa forma, uma mudança no padrão de distribuição da precipitação durante a estação chuvosa para a área, corroborando com outros resultados obtidos por demais pesquisadores para outras regiões do globo, indicando um cenário de mudança climática.

Ademais, recomenda-se a realização de um estudo de análise interanual referente à presença de períodos de estiagem durante a estação chuvosa (veranicos) para microrregião de Araguaína, bem como a identificação de possível tendência, tendo em vista os seus impactos em culturas de sequeiro.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC).

## REFERÊNCIAS

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **TOCANTINS - Produção de grãos na safra 2021/22 tende a superar 5,5 milhões de toneladas no estado.** [S.l.], 2021. Disponível em: <[FRANÇA, Andison Antonio de Oliveira; COSTA, Kênia Gonçalves. A Construção do Território Tocantinense por meio da Cartografia das Microrregiões. \*\*Revista Tocantinense de Geografia\*\*, Araguaína, TO, ano 17, n. 08, p. 198-208, jul./dez. 2016. Disponível em: <<https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/geografia/article/view/2415>>. Acesso em: 20 maio 2023.](https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4432-tocantins-producao-de-graos-na-safra-2021-22-tende-a-superar-5-5-milhoes-de-toneladas-no-estado#:~:text=Soja%20e%20milho%20s%C3%A3o%20os%20principais%20produtos%20cultivados%20no%20estado.></a>. Acesso em: 10 maio 2023.</p></div><div data-bbox=)

GOMES, Rodrigo da Costa; NUÑES, Amoracyr José Costa; MARINO, Carolina Tobias; DE MEDEIROS, Sérgio Raposo. Estratégias alimentares para gado de corte: suplementação a pasto, semiconfinamento e confinamento. In: DE MEDEIROS, Sérgio Raposo; GOMES, Rodrigo da Costa; BUNGENSTAB, Davi José. **Nutrição de bovinos de corte: Fundamentos e aplicações**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Gado de Corte, 2015, p. 119-140. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/120040/1/Nutricao-Animal-livro-em-baixa.pdf>>. Acesso em: 27 maio 2023.

GUEDES, Luciano da Silva; BRITO, Jorge Luis Silva. Caracterização Socioeconômica da Microrregião Geográfica de Araguaína (TO). **Revista Eletrônica de Geografia**, v. 6, n. 17, p. 91-103, 2014. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/Observatorium/article/view/45818#:~:text=De%20forma%20geral%20C%20a%20microrregi%C3%A3o,pela%20constru%C3%A7%C3%A3o%20da%20BR%2D153.>>. Acesso em: 27 maio 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa da Pecuária Municipal de 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bovinos/br>>. Acesso em: 27 jun. 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEPGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

LUKOVI?, Jelena; CHIANG, John C. H.; BLAGOJEVI?, Dragan; SEKULI?, Aleksandar. A Later Onset of the Rainy Season in California. **Geophysical Research**, v. 48, n. e2020GL090350, 2021. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1029/2020GL090350>>. Acesso em: 20 maio 2023.

NASCIMENTO, Renan Loureiro Xavier; SOUZA, Camilo Cavalcante de; OLIVEIRA, Marcos Antonio das Neves de. **Caderno de Caracterização Estado do Tocantins**. Brasília, DF: Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba - CODEVASF, 2021. Disponível em: <<https://www.codevasf.gov.br/aceso-a-informacao/institucional/biblioteca-geral-do-rocha/publicacoes/outras-publicacoes/caderno-de-caracterizacao-estado-do-tocantins.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2023.

ROLDÃO, Aline de Freitas; FERREIRA, Vanderlei de Oliveira. Climatologia do estado do Tocantins-Brasil. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 59, p. 1161-1181, 2019. Disponível em: <<http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/21629>>. Acesso em: 20 maio 2023.

SANSIGOLO, A. S. Variabilidade Interanual da estação chuvosa em São Paulo. **Climanálise**, São Paulo, v. 9, p. 40-43, 1989.

SANTOS, Vinicius Cirqueira dos; SILVA, Roberta Araújo e; MACIEL, Girlene Figueiredo. AVALIAÇÃO DE TENDÊNCIA DO INÍCIO, FIM, DURAÇÃO E TOTAL DE PRECIPITAÇÃO DA ESTAÇÃO CHUVOSA DE PALMAS - TO. **Desafios - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 2, n. 1, p. 103-120, 2023. Disponível em: <<https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/desafios/article/view/15434>>. Acesso em: 20 maio 2023.

SEAGRO - SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E AQUICULTURA. **Agricultura**. [S.l.], 2022. Disponível em: <<https://www.to.gov.br/seagro/agricultura/4i8bn98apzb6>>. Acesso em: 10 maio 2023.

SEPLAN - SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO. Diretoria de Pesquisa e Informações Econômicas. **Perfil Socioeconômico do Municípios: Araguaína**. Palmas:



SEPLAN/DPI, 2015. Disponível em: < <https://central3.to.gov.br/arquivo/467579/>>. Acesso em: 20 maio 2023.

SERAFIM, TAYLINE Alencar Marques; LIMA, Carlos Henrique Ribeiro. Modelagem e avaliação de tendências nos dias de início, pico e fim da estação chuvosa no Distrito Federal. *In: **Simpósio Brasileiro de Recurso Hídricos***, 23, 2019, Foz do Iguaçu, Anais... Foz do Iguaçu, 2019, p. 1-10. ISSN 2318-0358. Disponível em: < <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/107/XXIII-SBRH0534-1-20190811-233926.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2023.

SILVA, Mariana Mendes; FERREIRA, Vanderlei de Oliveira. Estação Chuvosa e Ocorrência de Veranicos em Araçuaí, Itamarandiba e Pedra Azul, na Porção Mineira da Bacia do Rio Jequitinhonha. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 4, n. 5, p. 1068-1081, 2011. Disponível em: < <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/232715/26722>>. Acesso em: 30 maio 2023.

TEIXEIRA, Mateus da Silva. **Caracterização física e dinâmica de episódios de chuvas intensas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil**. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, p. 219, 2010. Disponível em: < <http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2010/02.05.00.27/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

TRIOLA, Mário F. Introdução à Estatística. 9ª Edição. **Editora LTC**. Rio de Janeiro, p. 656, 2005.

# **CRESCIMENTO DE MUDAS DE *Eucalyptus* SOB DIFERENTES NÍVEIS DE ÁGUA NO SOLO**

**Elbya Leão Gibson**<sup>1</sup>; **José Eduardo Macedo Pezzopane**<sup>5</sup>; **Aline Ramalho dos Santos**<sup>2</sup>; **João Vitor Toledo**<sup>2</sup>; **Marcello Zatta Péres**<sup>1</sup>; **Jéssica Tetzner de Oliveira**<sup>6</sup>; **Talita Miranda Teixeira Xavier**<sup>2</sup>; **Lara Arêas Tertuliano**<sup>3</sup>; **Elayne Kátia dos Santos Galvão**<sup>1</sup>; **Williana Alves Ramos**<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Doutorando (a). Avenida Governador Lindemberg, 316, Centro. Jerônimo Monteiro, ES. Universidade Federal do Espírito Santo; <sup>2</sup>Pós-Doutorando (a). Avenida Governador Lindemberg, 316, Centro. Jerônimo Monteiro, ES. Universidade Federal do Espírito Santo; <sup>3</sup>Mestrando (a). Avenida Governador Lindemberg, 316, Centro. Jerônimo Monteiro, ES. Universidade Federal do Espírito Santo; <sup>4</sup>Graduanda. Avenida Governador Lindemberg, 316, Centro. Jerônimo Monteiro, ES. Universidade Federal do Espírito Santo; <sup>5</sup> Docente. Avenida Governador Lindemberg, 316, Centro. Jerônimo Monteiro, ES. Universidade Federal do Espírito Santo; <sup>6</sup>Pesquisadora. Avenida Governador Lindemberg, 316, Centro. Jerônimo Monteiro, ES. Universidade Federal do Espírito Santo

## **RESUMO**

Estudos mostram que as mudanças climáticas globais devem aumentar a frequência de episódios de seca intensa, particularmente em regiões áridas e semiáridas do mundo. O declínio na disponibilidade hídrica pode exercer impactos negativos sobre a transpiração e resultar na redução da produtividade das florestas plantadas. Neste sentido, compreender o crescimento de mudas de *Eucalyptus* submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico é fundamental pra dimensionar o impacto das alterações no padrão de precipitação no crescimento e produtividade de mudas do clone I144. O experimento foi realizado na área experimental do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, localizada em Jerônimo Monteiro, ES, Brasil (latitude 20° 47' 25" S, longitude 41° 23' 48" W, e altitude de 120 m), em delineamento em blocos casualizados, com cinco tratamentos, um controle (100 % da capacidade máxima de retenção de água - MWRC) e quatro com déficit hídrico (80, 60, 40 e 20 % da MWRC), com quatro repetições. Durante o experimento, foi determinado o consumo de água pelas plantas e ao final à altura (H, cm), diâmetro do caule (CD, mm), o número de folhas (LN), área total de folha (LA) e massa seca total (MST). Os resultados indicam que plantas do tratamento com maior disponibilidade de água no solo apresentaram maior crescimento e produtividade, sendo que a maior área foliar implicou em maior consumo de água pelas plantas, enquanto plantas dos tratamentos com menor disponibilidade de água tiveram seu crescimento limitado pelo déficit hídrico, resultando em menor consumo de água.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estresse hídrico; Transpiração; Produtividade;;

## **INTRODUÇÃO**

No Brasil, as plantações de *Eucalyptus* ocuparam, aproximadamente, 7,47 milhões de hectares no ano de 2020, representando 73% das florestas plantadas. A preferência por plantações comerciais desse gênero está associada aos usos múltiplos da madeira, a alta taxa de crescimento e a sua adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas (IBÁ, 2021). No entanto, as mudanças climáticas tem sido um dos maiores desafios da atualidade e o mundo busca soluções e alternativas para enfrentá-los. De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2021), as mudanças climáticas podem ser um dos fatores que impactaram na queda de produtividade média por ano no plantio de *Eucalyptus* de 38,6 m<sup>3</sup>/ha, em 2019, para 36,8 m<sup>3</sup>/ha, em 2020.

As florestas plantadas tem sua produtividade diretamente correlacionada com as condições climáticas do ambiente que estão inseridas (BOURNE et al., 2017). Nos estágios iniciais de plantio, por exemplo, as mudas apresentam baixa capacidade de manter a hidratação adequada, assim como estão sujeitos a maior exposição das condições climáticas, adversas, no pós-transplante, podendo acarretar no aumento da taxa de mortalidade e diminuição do crescimento (ELLI et al., 2020). De acordo com as últimas projeções do IPCC, os efeitos das mudanças climáticas poderão prejudicar a produtividade e a qualidade de muitas culturas com forte relevância socioeconômica em todo o mundo,

especialmente durante a temporada de verão, devido a fatores de estresse intensos e prolongados (ELLI et al., 2020).

Embora o aumento da temperatura seja o efeito mais perceptível das mudanças climáticas, outros fatores importantes para a sobrevivência das mudas em campo também sofrerão alterações, como o padrão de precipitação, a duração e intensidade de secas, podendo afetar negativamente a eficiência hidráulica das plantas do gênero *Eucalyptus* em algumas regiões (IPCC, 2018).

O desequilíbrio entre oferta e demanda de água leva a situações de déficit hídrico, que afeta todos os processos celulares, expansão da folha, condutância estomática, atividades fotossintéticas, remobilização de nutrientes, senescência e abscisão foliar, e taxas de transpiração (SANTOS et al., 2017). Segundo Thumma et al. (2012), as respostas do gênero *Eucalyptus* à baixa disponibilidade de água incluem aumentos na fotorrespiração e mudanças na alocação de biomassa. Nesse sentido, compreender o crescimento de mudas de *Eucalyptus* submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico é fundamental para compreender o impacto das alterações no padrão de precipitação, causados pelas mudanças climáticas, no crescimento e desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus*.

## OBJETIVOS

O objetivo da presente pesquisa foi avaliar o impacto da redução da disponibilidade hídrica no solo na transpiração, crescimento e produção de biomassa de mudas de *Eucalyptus*.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo (DCFEM-UFES), localizada em Jerônimo Monteiro, ES, Brasil. As mudas do clone I144 (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*), foram plantadas em vasos de 12 litros, contendo substrato comercial, adubado com 4 g dm<sup>-3</sup> de fertilizante de liberação controlada Basacote® Mini 9M, com formulação NPK 16-8-12. As mudas foram submetidas a um período de adaptação de 30 dias no local do experimento, recebendo irrigação diária, após esse período, foram submetidas a cinco tratamentos, um controle (100 % da MWRC) e quatro com déficit hídrico (80, 60, 40 e 20 % da MWRC), com quatro repetições.

Para a caracterização dos níveis de água no solo, foi calculada a capacidade máxima de retenção de água no substrato (MWRC), usado a equação  $MWRC = W_{vs} - w_v - ((W_{sv} * W_{ds}) / W_s)$ , em que  $W_{vs}$  = peso do vaso com substrato saturado (g);  $W_v$  = peso do vaso vazio (g);  $W_{sv}$  = peso do substrato inserido no vaso (g);  $W_{ds}$  = peso da amostra de controle a seco (g); e  $W_s$  = peso da amostra de controle saturado (g).

O MWRC de cada vaso foi determinado utilizando-se a equação anterior e o  $W_{sv}$  de cada vaso. A irrigação foi realizada com base na pesagem dos vasos diariamente, com reposição da água perdida por transpiração. Para o tratamento com 100 % da MWRC, as mudas eram irrigadas diariamente, para os tratamentos com estresse hídrico, a irrigação foi aplicada quando atingiu os valores de 80, 60, 40 e 20 % da MWRC.

Ao final do experimento foi determinado a altura (H, cm), medida com régua milimétrica; diâmetro do caule (SD, mm), com paquímetro digital (precisão de 0,01 mm), o número de folhas (NL), através da contagem do número de folhas visíveis e totalmente expandidas; área total de folha (LA), medida utilizando um integrador de área foliar LI-3100 (Li-Cor Inc, Lincoln, NE, USA). Para determinação da massa seca da parte aérea (MSPA, g) e massa seca de raízes (MSR, g), o material vegetal foi dividido em parte aérea e raiz, acondicionado em sacos de papel kraft e secado em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por 72 horas, sendo em seguida pesado em balança de precisão 0,0001 g. A massa seca total (TDM) foi quantificada pela soma dos valores MSPA e MSR.

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk, para a pressuposição de normalidade, e teste de Bartlett para homocedasticidade. Em seguida os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao verificar diferenças significativas pelo teste F a 5%, comparou-se a média dos níveis de água no solo pelo teste de Tukey ao nível de 5% e 1% de probabilidade. As análises foram realizadas utilizando-se o programa R Core Team (2018) versão 3.5.0.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância evidenciaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os níveis de disponibilidade hídrica no substrato (100, 80, 60, 40 e 20 % capacidade máxima de retenção de água no substrato) sobre as variáveis de crescimento e biomassa de mudas do clone I144.

O maior crescimento em diâmetro do coleto, altura, número de folhas, massa seca total e área foliar foram observados para os níveis de 80 e 100 % da MWRC (Tabela 1), enquanto que os níveis de 20 e 40% da MWRC tiveram os menores valores de crescimento e produção de biomassa ao final do experimento, resultando em menor consumo de água pelas plantas, devido a menor área foliar.

**Quadro 1:** Variáveis de crescimento e produção de biomassa: Diâmetro do coleto (SD), altura (H), número de folhas (NL), massa seca total (TDM) e área total de folha (LA).

Níveis	SD (mm)	H(cm)	LN (unidade planta <sup>-1</sup> )	MST(g)	LA (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> )
100%	12,8 ± 0,5 <sup>a</sup>	88,5 ± 7,9 <sup>a</sup>	328 ± 22,9 <sup>a</sup>	128,9 ± 11,1 <sup>a</sup>	9563,4 ± 526 <sup>a</sup>
80%	12,1 ± 0,5 <sup>a</sup>	77,0 ± 3,9 <sup>b</sup>	350,5 ± 28,3 <sup>a</sup>	115,9 ± 11,2 <sup>a</sup>	8446,7 ± 898 <sup>a</sup>
60%	105 ± 0,7 <sup>b</sup>	72,9 ± 5,1 <sup>b</sup>	266,3 ± 22,3 <sup>b</sup>	92,9 ± 8,2 <sup>b</sup>	6243,2 ± 600 <sup>b</sup>
40%	8,9 ± 0,3 <sup>c</sup>	61,1 ± 2,6 <sup>c</sup>	175,3 ± 37,1 <sup>c</sup>	48,6 ± 3 <sup>c</sup>	3448,2 ± 278 <sup>c</sup>
20%	8,1 ± 0,9 <sup>c</sup>	57,9 ± 1,8 <sup>c</sup>	112,3 ± 11,7 <sup>d</sup>	35,3 ± 2,4 <sup>c</sup>	2176,1 ± 164 <sup>d</sup>

\* Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

Com base nos resultados, observou-se que os tratamentos com maior disponibilidade de água no solo (80 e 100 % da MWRC) e com maior crescimento em área foliar proporcionaram um maior consumo de água pelas plantas. O volume final de água consumido ao final de 25 dias foi de 25,8 e 21,1 litros de água para o nível de 100 % e 80 % da MWRC, respectivamente, enquanto para os níveis de 40 e 20 % da MWRC o consumo de água foi de 5,4 e 3,2 litros, respectivamente ao final do experimento.

**Figura 1:** Consumo de água médio durante o período do experimento para o clone de eucalipto I144 cultivadas em função de diferentes níveis de disponibilidade de água (100, 80, 60, 40 e 20 % da capacidade de campo). Os dados são média ± erro padrão (n = 4).

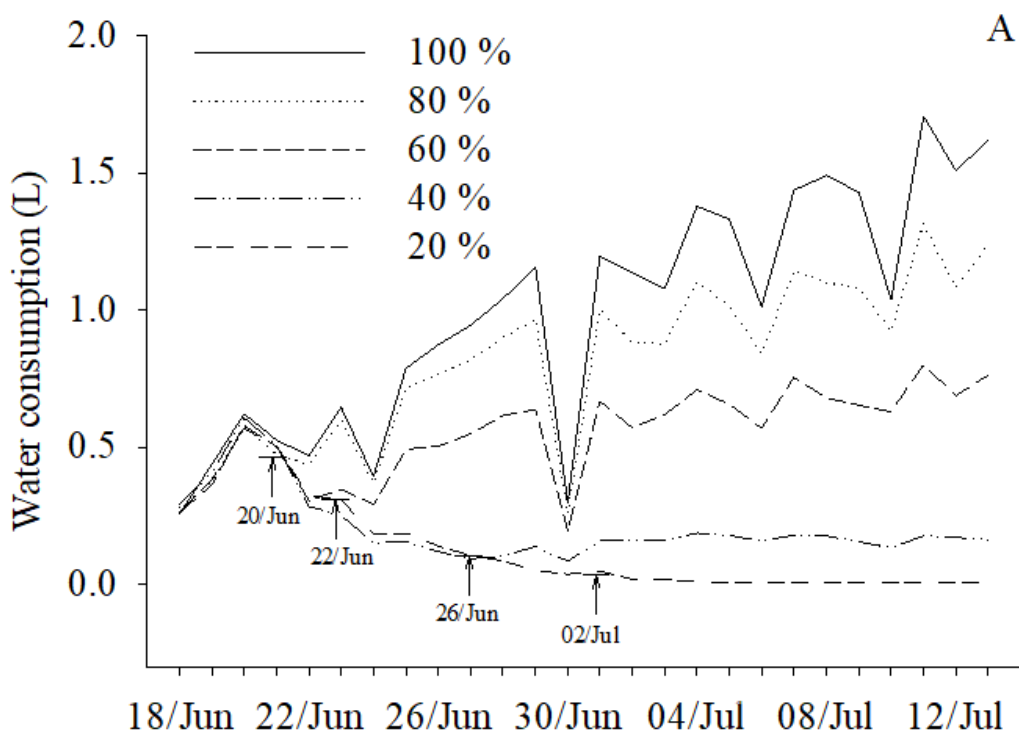


Figura 1: Consumo de água médio durante o período do experimento para o clone de eucalipto I144 cultivadas em função de diferentes níveis de disponibilidade de água (100, 80, 60, 40 e 20 % da capacidade de campo). Os dados são média  $\pm$  erro padrão ( $n = 4$ ).

O aumento do uso da água está associado ao aumento da área foliar Zhu et al. (2015). Em estudo realizado por Otto et al. (2014) avaliando clones de *E. grandis* e *E. urophylla*, observaram que árvores com maior tamanho (dominantes) transpiram mais e produzem maior quantidade de biomassa por água utilizada.

Em dias nublados observamos uma redução na transpiração para os tratamentos com maior disponibilidade de água no solo (80 e 100 % da MWRC). A transpiração e o consumo de água na planta são comandados pela demanda atmosférica e pelo controle estomático (Carlesso, 1995).

## CONCLUSÃO

A redução da disponibilidade de água no solo limitou a produção de biomassa de mudas de *Eucalyptus*.

A área foliar influencia no consumo de água de mudas de *Eucalyptus*.

A limitação da disponibilidade de água no solo resultou no fechamento estomático e na redução da transpiração.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, pelo apoio e concessão da bolsa. A Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES).

## REFERÊNCIAS

BOURNE, A. E.; CREEK, D.; PETERS, J. M. R.; ELLSWORTH, D. S.; CHOAT, B. Species climate range influences hydraulic and stomatal traits in Eucalyptus species. **Annals of Botany**, v. 120, n. 1, p. 123-133, 2017.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus água extraível e a produtividade das culturas. *Ci. Rural*, 25:183-188, 1995.

ELLI, E. F.; SENTELHAS, P. C.; BENDER, F. D. Impacts and uncertainties of climate change projections on Eucalyptus plantations productivity across Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 474, p. 118365, 2020.

IPCC, 2018. **Summary for Policymakers**. In: ALLEN, M.; BABIKER, M.; CHEN, Y.; CONINCK, H.; CONNORS, S., et al., IPCC (eds.) *Global Warming of 1.5 °C: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Geneva: World Meteorological Organization, 1-32.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório anual 2021**. Brasília: IBÁ. 2021. 178 p.

OTTO, M.S.G et al. Dominant clonal Eucalyptus grandis x urophylla trees use water more efficiently. *Forest Ecology and Management*. v. 328, p. 117-121, 2014.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. 1. ed. Guaíba: Agropecuária, 2002.

R Core Team (2017) R: a language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna.

SANTOS, D. F.; MARTINS, F. B.; TORRES, R. R. Impacts of climate projections on water balance and implications on olive crop in Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 77-82, 2017.

THUMMA, B. R.; SHARMA, N.; SOUTHERTON, S. G. Transcriptome sequencing of Eucalyptus camaldulensis seedlings subjected to water stress reveals functional single nucleotide polymorphisms and genes under selection. **BMC Genomics**, v. 13, n. 364, p. 1-21, 2012.

ZHU, L.W. Stomatal and hydraulic conductance and water use in a eucalypt plantation in Guangxi, southern China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 202, p. 61-68, 2015.

# **ZONEAMENTO DA CULTURA DO ABACAXIZEIRO NO CEARÁ SOB CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

**Mateus Lima Silva** <sup>1</sup>; **Joaquim Branco de Oliveira** <sup>2</sup>; **Pedro Felipe Soares Lima** <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Discente. Rodovia Iguatu / Várzea Alegre, km 05 s/n - Cajazeiras, Iguatu - CE, 63500-000. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará; <sup>2</sup>Docente. Rodovia Iguatu / Várzea Alegre, km 05 s/n - Cajazeiras, Iguatu - CE, 63500-000. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará;

<sup>3</sup>Discente. Rodovia Iguatu / Várzea Alegre, km 05 s/n - Cajazeiras, Iguatu - CE, 63500-000. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

## **RESUMO**

O abacaxizeiro é uma cultura que possui exigências específicas em relação às condições edafoclimáticas, sendo muito sensível ao frio mas também não sendo muito tolerante a diminuição de umidade e aumento da temperatura. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi zonear as áreas aptas, restritas e inaptas no estado do Ceará para o cultivo do abacaxizeiro em diferentes cenários climáticos. Utilizou-se dados de temperatura e de mais de 294 postos pluviométricos. Para a simulação, foram utilizados dois cenários, onde B1 seria o mais otimista quando comparada com A2, que prevê um aumento maior da temperatura e uma diminuição do número de chuvas. A redução das zonas aptas são evidentes em todas as previsões. No geral, em 2100 nos dois cenários previstos nenhuma porção do estado apresentará aptidão climática para desenvolvimento agrícola do abacaxizeiro.

**PALAVRAS-CHAVE:** abacaxi; umidade; temperatura;

## **INTRODUÇÃO**

O abacaxizeiro é uma planta com metabolismo ácido das crassuláceas, também conhecido como CAM. Isso significa que a planta realiza a fotossíntese durante o dia, quando os estômatos estão fechados para evitar a perda de água, e a fixação de CO<sub>2</sub> ocorre durante a noite, quando os estômatos se abrem para permitir a entrada do ar. Essa característica, resulta em uma planta muito sensível ao frio, mas que resiste bem às secas, embora seja planta tropical, nos dias de sol muito intenso, os frutos podem sofrer queimaduras, quando não são protegidos. (GRANADA et al., 2004). Segundo o IBGE, em 2021 o Brasil colheu cerca de 63.589 hectares de abacaxi, onde o Ceará apresenta apenas 20 hectares colhidos. O Nordeste corresponde a 33,8% dessa produção total do país. O zoneamento agrícola, ou pedoclimático, pode ser utilizado como uma ferramenta de suporte à decisão para os produtores rurais e técnicos com o fim de escolher os cultivos e as práticas adequadas para minimizar os riscos e aumentar a produtividade. Essa ferramenta também possibilita aos órgãos do governo definir critérios para o estabelecimento de políticas de financiamento visando o desenvolvimento regional. Um zoneamento tem por objetivo delimitar áreas dentro do espaço geográfico, com base em critérios pré-estabelecidos. Assim sendo, um zoneamento agrícola define áreas preferenciais, toleradas e inaptas para os cultivos agrícolas, com base nas características dos solos e do clima de determinada região, uma vez que são esses os dois principais fatores que condicionam o potencial produtivo dos cultivos (FONSECA et al, 2004). Quanto as mudanças climáticas, segundo Marengo et al., (2011) locais de clima semiáridos serão um dos locais mais afetados com o aumento de temperatura e diminuição da umidade, esses fatores influenciam diretamente na produção de culturas agrícolas e na aptidão climática das regiões.

## **OBJETIVOS**

O propósito deste estudo foi analisar as mudanças na adequação climática do estado do Ceará para o plantio de abacaxi, em comparação com as condições climáticas atuais e possíveis alterações no clima no futuro.

## MATERIAL E MÉTODOS

O Ceará está localizado na região Nordeste do Brasil, limitando-se a Norte com o Oceano Atlântico; ao Sul com o Estado de Pernambuco; a Leste com os Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba e a Oeste com o Estado do Piauí. Com 148.886,3 km<sup>2</sup>, quase integralmente inserido no semiárido. O clima predominante é tropical quente semiárido com pequenas manchas de tropical quente subúmido e úmido e resquícios de tropical subquente úmido localizados em superfícies topograficamente elevadas. Para estimativa de temperatura média, máxima e mínima do ar utilizou-se o método proposto por Oliveira, Arraes e Viana (2013):

$$T_i = A_0 + A_1 \cdot h + A_2 \cdot h^2 + A_3 \cdot \lambda + A_4 \cdot \lambda^2 + A_5 \cdot \varphi + A_6 \cdot \varphi^2 + A_7 \cdot h \cdot \varphi + A_8 \cdot h \cdot \lambda + A_9 \cdot \varphi \cdot \lambda$$

T<sub>i</sub> - temperaturas normais médias mensais (i = 1, 2..., 12); e anual (i=13) estimadas;

l - longitude da estação (INMET) em graus e décimos (valores negativos);

j - latitude da estação em graus e décimos (valores negativos);

h - modelo digital de elevação; A<sub>n</sub> - coeficientes da equação de regressão.

Para obtenção dos dados de precipitação pluviométrica foram utilizados dados de 294 estações, provenientes de postos pluviométricos e estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME) e da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), localizados no Estado do Ceará e vizinhos, tornando possível a interpolação. Para a simulação, foram utilizados dois cenários, presentes no quadro 1, onde B1 seria o mais otimista quando comparada com A2, que prevê um aumento maior da temperatura e uma diminuição do número de chuvas.

**Tabela 1:** Cenários de chuva e temperatura avaliados.

CENÁRIOS*	PERÍODO	TEMPERATURA	CHUVA
Normais	1961-1990	Normais	Normais
B1 2040	Até 2040	+0,5 °C	-10%
B1 2070	2041 - 2070	+1,5 °C	-25%
B1 2100	2071 - 2100	+3,5 °C	-40%
A2 2040	Até 2040	+1,0 °C	-25%
A2 2070	2041 - 2070	+2,5 °C	-35%
A2 2100	2070 - 2100	+4,5 °C	-50%

\* PBMC (2012)

Os índices de temperatura e umidade para o abacaxi utilizados foram os propostos por Monteiro (2009) e Medeiros et al. (2015). Com os valores da temperatura e umidade encontrados para o estado, inseriu-se os dados no mapa através do software de geoprocessamento Idrisi Selva®. No mesmo software, classificou-se as zonas em aptas, restritas ou inaptas, de acordo com os dados do Tabela 2.

**Tabela 2:** Faixa de aptidão da cultura do abacaxi, temperatura e índice de umidade.

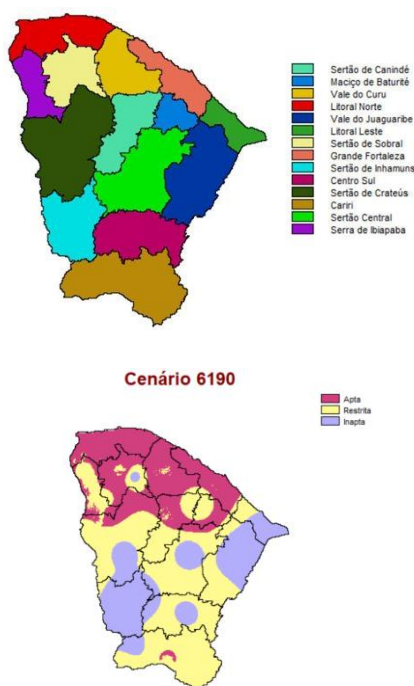


Aptidão	Temperatura (Tm)*	Índice de umidade (Iu)**
Apta	22°C < Tm < 32°C	-20 ≤ Iu ≤ 20
Restrita	32°C < Tm < 40°C 16°C < Tm < 22°C	> 20 e -40 ≤ Iu ≤ -20
Inapta	Tm < 16°C e Tm > 40°C	Iu < -40

\* Monteiro (2009); \*\* Medeiros (2015)

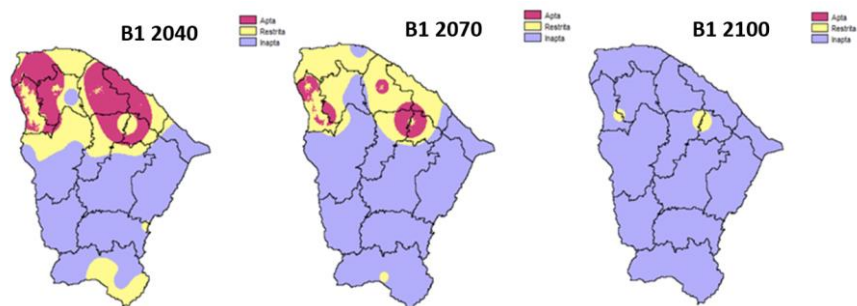
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parte das regiões do Litoral Norte, Litoral Oeste e da Grande Fortaleza são aptas climaticamente à produção de abacaxi (Figura 1), algumas faixas que se estendem até o Sertão de Sobral, Sertão de Canindé e Maciço de Baturité também apresentam aptidão, cerca de 31,47% do estado. Uma pequena porção apta é observada na região do Cariri. A região dos Inhamuns juntamente com as regiões do Litoral Leste e Vale do Jaguaribe são na maioria do seu território inaptas à produção do abacaxizeiro. 44,64% do estado apresenta uma situação restrita climaticamente quanto à produção.



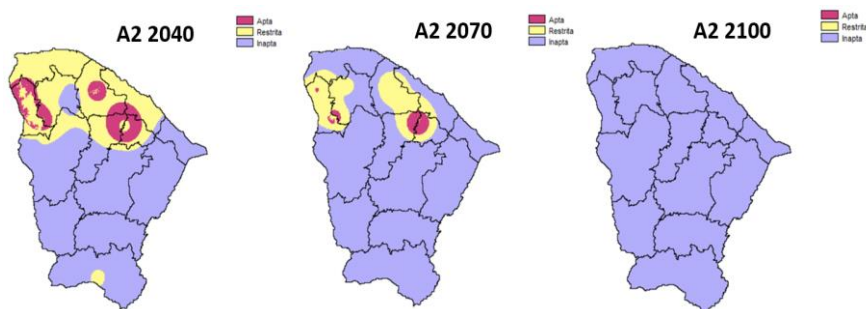
**Figura 1:** Aptidão climática do abacaxizeiro no Ceará para cenários normais (1961-1990).

Quanto aos cenários futuros, o mais otimista dos cenários apresenta em 2040 uma expansão da faixa inapta (+ 23,89%) e uma redução de 19,56% da faixa restrita, é possível observar na figura 2, que as zonas aptas mesmo reduzidas, continuam concentradas. Em 2070, segue-se o mesmo padrão citado anteriormente, o aumento das zonas inaptas e redução das zonas aptas, apenas pequenas porções entre o Maciço de Baturité, Sertão do Canindé, Litoral Oeste e Serra da Ibiapaba apresentam aptidão. Quanto ao cenário em 2100, 98,48% do estado é inapto à produção.



**Figura 2:** Aptidão climática do abacaxizeiro no Ceará para cenário B1 2040, 2070 e 2100.

Observa-se o zoneamento diante do pior cenário na figura 3, em 2040 cerca de 8,82% do estado apresenta aptidão, 13,41% é restrita e 77,77% inapta, a faixa litorânea ao Norte e Oeste apresentam aptidão. Em 2070, apenas pontos entre a região do Maciço de Baturité, Sertão do Canindé e Serra da Ibiapaba apresentam aptidão (cerca de 2% do estado), em relação a 2040 existe um decréscimo na aptidão e aumento da inaptidão. Em 2100, 100% do estado apresentou ser inapto à produção do abacaxizeiro, segundo Rabelo et al., (2016), devido as altas temperaturas e umidade muito baixa, visto que, esta cultura é bastante sensível ao aumento da temperatura ambiente.



**Figura 3:** Aptidão climática do abacaxizeiro no Ceará para cenário A2 2040, 2070 e 2100.

## CONCLUSÃO

Conclui-se que, todos os cenários projetados apresentam uma redução na aptidão do estado do Ceará, e em 2100 nenhuma porção do estado apresentará aptidão para desenvolvimento agrícola do abacaxizeiro devido ao aumento da temperatura e diminuição do índice de umidade.

## REFERÊNCIAS

FONSECA, E. L.; BOLFE, E. L.; DA SILVA JÚNIOR, J. F. **Zoneamento agrícola para espécies frutíferas tropicais do Centro-Sul do Estado de Sergipe-Abacaxi, Banana, Mamão e Mangaba.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 19p. 2004.

GRANADA, G. G.; ZAMBAZI, R. C.; MENDONÇA, C.R. B. **Abacaxi: produção, mercado e subprodutos.** Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos, Curitiba, v. 22, n. 2, p. 405-422, jul./dez. 2004.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; & LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas,** v. 1, p. 385-422, 2011.

MEDEIROS, R. M. et al. Caracterização climática e diagnóstico da aptidão agroclimática de culturas para Barbalha - CE. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 461-476, 2015.

MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.) Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: **INMET**, 2009. 530 p.

RABELO, A C P.; NASCIMENTO M S N.; REIS, N S S.; SANTOS, P V C J.; FRANÇA, V. L. **TENDÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA E A INFLUÊNCIA NA CULTURA DO ABACAXI**. In: Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental; Porto Alegre, 10. Anais... PUCRS, 2016.

## ***Nitrogênio mineral do solo e resíduos vegetais da sucessão trigo-soja no cerrado***

**Alexsandra Duarte de Oliveira**<sup>1</sup>; **Marcos Vinícius Araújo dos Santos**<sup>7</sup>; **Jorge Cesar dos Anjos Antonini**<sup>1</sup>; **Artur Gustavo Muller**<sup>1</sup>; **Gabriella da Silva Pinto**<sup>3</sup>; **Camila Xavier da Costa**<sup>4</sup>; **Fabiana Piontekowski Ribeiro**<sup>7</sup>; **Rudah Duarte Guimarães Soares**<sup>5</sup>; **Maria Emília Borges Alves**<sup>1</sup>; **Altair Cesar Moreira de Andrade**<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Pesquisador. BR 020, km 18. Planaltina, DF. Empresa Cerrados; <sup>2</sup>Estudante de graduação. Área universitária 1, vila Nossa Senhora de Fátima. Universidade de Brasília, campus Planaltina; <sup>3</sup>Estudante de graduação. Rua 64, s/n. Parque Lago. Instituto Federal de Goiás, campus Formosa; <sup>4</sup>Estudante de graduação. Rua Antônio Barros de Castro, 119 Cidade Universitária, Rio de Janeiro/RJ, Brasil CEP: 21941-853. Universidade Federal do Rio de Janeiro; <sup>5</sup>Estudante de graduação. UnB - Asa Norte, Brasília - DF, 70910-900. Universidade de Brasília, campus Brasília; <sup>6</sup>Bolsista Pós-Doc. CNPq. BR 020, km 18. Planaltina, DF. Embrapa Cerrados; <sup>7</sup>Bolsista Graduado do consórcio de pesquisa do café. BR 020, km 18. Planaltina, DF. Embrapa Cerrados

### **RESUMO**

O objetivo do trabalho foi quantificar a disponibilidade de N-mineral ( $\text{NO}_3^-$ ) e ( $\text{NH}_4^+$ ) em diferentes profundidades e os resíduos vegetais provenientes da sucessão trigo-soja. O experimento foi realizado no campo experimental da Embrapa Cerrados, delineamento em blocos casualizados, com 3 repetições e 4 tratamentos, representados pelo momento de irrigação quando o consumo da cultura atingia 20%, 40%, 60% e 80% de esgotamento da capacidade de água disponível no solo (CAD), sendo que na fase soja, o tratamento de 80% foi substituído por sequeiro. Os resíduos foram coletados utilizando um gabarito de 0,50 m x 0,50 m com posterior determinação do peso seco. A amostragem do solo foi realizada nas profundidades: 0 cm-10 cm; 10 cm-20 cm; 20 cm-30 cm; e 30 cm-40 cm, composta por 7 subamostras em cada parcela experimental. A determinação do N Mineral do solo foi realizada por análise de injeção em fluxo (FIA). No sistema de produção cultivado com trigo de inverno em sucessão a soja e nas condições edafoclimáticas do Cerrado central, a forma amoniacal foi predominante quando comparada a nítrica e de modo geral, difere em profundidade, com predominância na camada mais superficial (0-10 cm). A quantidade de resíduos se diferenciou em função do esgotamento de água no solo aplicado, e apresentou quantidade superior a 6,0 Mg. ha<sup>-1</sup> nos níveis de 20% e 40%.

**PALAVRAS-CHAVE:** gramínea-leguminosa; nitrato; amônio;;

### **INTRODUÇÃO**

No Brasil, a estimativa da produção de soja em 2023 é de de 155 milhões de toneladas de grãos, sendo mais de 50% obtida na região Centro-Oeste. Enquanto o trigo, na safra 22/23, produziu 9,77 milhões de toneladas de grãos e, nesse período, o consumo foi de 12,05 milhões toneladas (CONAB, 2023). Essa lacuna entre consumo e produção do trigo mostra que é necessário aumentar a oferta para atender o consumo interno. No entanto, o aumento da produção demandará por maiores quantidades de fertilizantes, em especial o nitrogênio, assim, a possibilidade da sucessão de cultivo trigo-soja, pode contribuir com parte dessa necessidade.

O sistema plantio direto (PD) com sucessão cultural é beneficiado pela entrada de diferentes aportes orgânicos. A qualidade e quantidade desses aportes significam diferentes taxas de ciclagem. Nesse contexto, a quantidade e qualidade dos resíduos orgânicos, irá interferir substancialmente não só na ciclagem de C e N, mas também, na dinâmica dos microrganismos que for estabelecida. Baixas quantidades de N disponível ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ) implicam em reduzidas imobilizações, em contraste, favorece perdas de N (Baggs et al., 2000).

### **OBJETIVOS**

Quantificar a disponibilidade de N-mineral ( $\text{NO}_3^-$ ) e ( $\text{NH}_4^+$ ) em diferentes profundidades e os resíduos vegetais provenientes da sucessão trigo-soja no Cerrado.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido após as colheitas de trigo (27/09/2022) e da soja (15/03/2023), na área experimental da Embrapa Cerrados, localizada em Planaltina, DF, Brasil (15°33'33,99" S, 47°44'12,32" W e altitude de 1.035 m). O clima da região corresponde ao tipo Aw-tropical chuvoso. A precipitação média anual em Planaltina é de 1346 mm, temp. do ar oscilando entre 16,5°C a 27,7°C e UR do ar entre 37,6% a 97,7%. O delineamento em blocos casualizados, com três repetições, com quatro tratamentos, representados pelo momento de irrigação quando o consumo da cultura atingia 20%, 40%, 60% e 80% de esgotamento da capacidade de água disponível no solo (CAD), sendo que na fase soja, o tratamento de 80% foi substituído por sequeiro. Os resíduos foram coletados utilizando um gabarito de 0,50 m x 0,50 m (0,25 m<sup>2</sup>). A palhada retirada na área dos quadrados foi acondicionada em sacos de papel e submetida à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 60°C, por 72 horas, para a determinação da massa seca dos resíduos vegetais. A amostragem do solo, foi realizada nas profundidades: 0 cm-10 cm; 10 cm-20 cm; 20 cm-30 cm; e 30 cm-40 cm, composta por 7 subamostras em cada parcela experimental, formando uma amostra composta. De cada amostra de solo foi retirada uma alíquota para determinação da umidade do solo por gravimetria. A determinação do nitrogênio mineral do solo foi realizada segundo o método proposto por Bremner e Mulvaney (1982) e a determinação foi realizada por análise de injeção em fluxo (FIA). Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey HSD (p = 0,05).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o N-mineral, após a colheita do trigo, foi observado que os teores de  $\text{NO}_3^-$  não diferiram estatisticamente para os tratamentos, nem para profundidades, e variaram em média de 1,43 mg kg<sup>-1</sup> a 3,14 mg kg<sup>-1</sup>. Enquanto os teores de  $\text{NH}_4^+$  variaram em média de 3,0 mg kg<sup>-1</sup> a 9,75 mg kg<sup>-1</sup>, com diferenças significativas apenas para o momento de 40%, nas profundidades de 0-10cm e 30-40 cm (Tabela 1).

**Tabela 1:** Teores de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) em mg.kg-1, em diferentes momentos de irrigação e profundidades, após colheita do trigo.

	$\text{NO}_3^-$ mg kg <sup>-1</sup>			
	20%	40%	60%	80%
0-10 cm	1,85aA	2,08aA	2,43aA	3,14aA
10-20 cm	1,94aA	1,72aA	1,48aA	2,03aA
20-30 cm	2,23aA	1,60aA	1,43aA	1,64aA
30-40 cm	1,58aA	1,46aA	1,13aA	1,55aA

	$\text{NH}_4^+$ mg kg <sup>-1</sup>			
	20%	40%	60%	80%
0-10 cm	7,43aA	6,85aA	6,40a	6,66aA
10-20 cm	7,71aA	5,86aAB	5,76a	6,13aA
20-30 cm	5,28aA	4,52aAB	4,22a	4,74aA
30-40 cm	4,48aA	3,00aB	3,67a	9,75aA

Após a colheita da soja, em sucessão ao trigo, considerando as profundidades, os teores de  $\text{NO}_3^-$  diferiram no tratamento 60%, sendo observado que a camada de 0-10 cm ( $0,94 \text{ mg kg}^{-1}$ ) foi maior quando comparada a camada de 30-40 cm ( $0,59 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Para o  $\text{NH}_4^+$ , houve diferença nas profundidades avaliadas e apresentou tendência de maiores teores nas camadas mais superficiais, resultados que corroboram com o trabalho de Neres et al., (2022). Para os níveis de esgotamento estudados, as formas de N mineral não apresentaram diferenças significativas pelo teste Tukey a 5% (Tabela 2). De modo geral, na sucessão trigo-soja, os maiores valores observados foram para o  $\text{NH}_4^+$ .

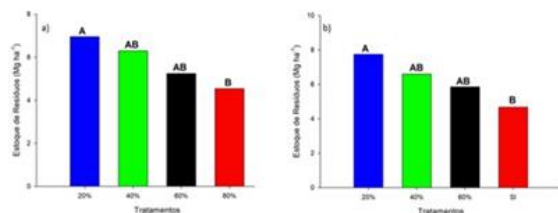
**Tabela 2:** Teores de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) em  $\text{mg.kg}^{-1}$ , em diferentes momentos de irrigação e profundidades, após colheita da soja.

$\text{NO}_3^- \text{ mg kg}^{-1}$				
	20%	40%	60%	80%
<b>0-10 cm</b>	0,99aA	0,95aA	0,94aA	0,91aA
<b>10-20 cm</b>	0,90aA	0,79aA	0,72aAB	0,76aA
<b>20-30 cm</b>	0,87aA	0,72aA	0,94aA	0,92aA
<b>30-40 cm</b>	0,75aA	0,55aA	0,59aB	0,72aA

$\text{NH}_4^+ \text{ mg kg}^{-1}$				
	20%	40%	60%	80%
<b>0-10 cm</b>	5,12aA	5,20aA	5,43aA	4,60aA
<b>10-20 cm</b>	3,46aAB	3,65aAB	3,27aB	4,19aAB
<b>20-30 cm</b>	2,91aAB	2,55aB	2,47aB	2,76aAB
<b>30-40 cm</b>	2,35aB	2,22aB	2,45aB	2,30aB

Para o estoque de resíduos, houve diferença significativa (figs. 1a e b), a relação observada foi: (20% > 80% = 40% e 60%). A manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo, contribui com a oferta de nutrientes para os cultivos em sucessão através da ciclagem pela atividade biológica (Rosolem et al., 2003). Segundo Torres et al. (2005), com o aumento do teor de matéria orgânica no solo, têm-se possibilidades de maior suprimento de nitrogênio (N) às plantas cultivadas, que pode ser adicionado ao solo, via mineralização dos resíduos vegetais durante a entressafra. Para Cruz et al. (2002), o ideal é que os sistemas de produção insiram, em média,  $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  ano ou mais de matéria seca. No presente estudo, a quantidade média de resíduos vegetais encontrados para o sistema de produção após colheita do trigo/2022 foi de  $5,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ , enquanto após soja em 2023 foi de  $6,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ , sendo observado maior estoque de resíduos, após cultivo da soja.



**Figura 1:** Estoque médio de resíduos culturais, após colheita do trigo/2022 (a) e da soja/2023 (b)

## CONCLUSÃO

No sistema de produção cultivado com trigo de inverno e soja em sucessão, nas condições edafoclimáticas do Cerrado central, a forma amoniacal foi predominante quando comparada a nítrica e de modo geral, difere em profundidade, com predominância na camada mais superficial. A quantidade de resíduos se diferenciou em função do esgotamento de água no solo aplicado, e apresentou quantidade superior a  $6,0 \text{ Mg. ha}^{-1}$  nos níveis de 20% e 40%.

## AGRADECIMENTOS

Embrapa Cerrados, FAPDF (Projeto N° 00193.00001136/2021-13), CNPq

## REFERÊNCIAS

BAGGS, E. M.; REES, R. M.; SMITH, K. A.; VINTEN, A. J. A. Nitrous oxide emission from soils after incorporating crop residues. **Soil Use and Management**, v. 16, n. 2, p. 82-87, 2000.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **9º Levantamento de safras**, 2023. Available from: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Accessed: jun. 28, 2023.

CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; NOVOTNY, E. H.; PEREIRA FILHO, I. A.; SANTANA, D. P.; PEREIRA, F. T. F.; HERNANI, L. C. Cultivo do milho: sistema plantio direto. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 7 p. (Embrapa Milho e Sorgo. **Comunicado técnico**, 51).

NERES, J. F.; Oliveira, A. D. de; Muller, A. G.; Antonini, J. C. dos A.; Santos, M. V. A. dos; Jesus, D. R. Estoque de Resíduos Vegetais e Disponibilidade do Nitrogênio Mineral do Solo após o Cultivo do Trigo e Soja em Diferentes Momentos de Irrigação. **Encontro de Iniciação Científica da Embrapa Cerrados: Jovens Talentos** (11.: 2022: Planaltina, DF). Resumos do 11º Encontro de Iniciação Científica da Embrapa Cerrados: Jovens Talentos 2022. - Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2022. 105 p. (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111, ISSN on-line 2176-5081; 399).

ROSOLEM, C. A.; SILVA, R. H.; ESTEVES, J. A. F. Potassium supply to cotton roots as affected by potassium fertilization and liming. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 635-641, 2003.

SANTOS, M. V. A. dos; OLIVEIRA, A. D. de; CARVALHO, A. M. de; JESUS, D. R. de; SILVA, F. R. da C.; FONSECA, A. C. P. de. N Mineral no Solo Cultivado com Café Consorciado com *Brachiaria decumbens* (*Urochloa decumbens*). **Encontro de Iniciação Científica da Embrapa Cerrados: Jovens Talentos** (11.: 2022: Planaltina, DF). Resumos do 11º Encontro de Iniciação Científica da Embrapa Cerrados: Jovens Talentos 2022. - Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2022. 105 p. (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111, ISSN on-line 2176-5081; 399).

SINGH, G., Singh, Kaur, G., Williard, K.W.J., et al., 2021. **Cover crops and tillage effects on carbon-nitrogen pools: a lysimeter study**. *Vadose Zone J.* 20, e20110. 10.1002/vzj2.20110

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C. & FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 609-618, 2005.



## emissões de óxido nitroso do solo cultivado com café no cerrado

**Alexsandra Duarte de Oliveira**<sup>1</sup>; **Arminda Moreira de Carvalho**<sup>1</sup>; **Marcos Vinícius de Araújo Santos**<sup>2</sup>; **Thais Rodrigues de Sousa**<sup>6</sup>; **Douglas Rodrigues de Jesus**<sup>6</sup>; **Ana Caroline Pereira da Fonseca**<sup>6</sup>; **Heloisa Carvalho Ribeiro**<sup>5</sup>; **Fernando Antonio Macena da Silva**<sup>1</sup>; **Gabriella da Silva Pinto**<sup>4</sup>; **Fabiana Piontekowski Ribeiro**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pesquisador. BR 020, km 18. Planaltina, DF. Embrapa Cerrados; <sup>2</sup>Bolsista Graduado do consorcio de pesquisa do café. BR 020, km 18. Planaltina, DF. Embrapa Cerrados; <sup>3</sup>Bolsista Pós-Doc. CNPq. BR 020, km 18. Planaltina, DF. Embrapa Cerrados; <sup>4</sup>Estudante de graduação. Área universitária 1, vila Nossa Senhora de Fátima. Universidade de Brasília, campus Planaltina; <sup>5</sup>Estudante de graduação. UnB - Asa Norte, Brasília - DF, 70910-900. Universidade de Brasília, campus Brasília; <sup>6</sup>Estudante de Pós-graduação. UnB - Asa Norte, Brasília - DF, 70910-900. Universidade de Brasília, campus Brasília

### RESUMO

O objetivo do estudo foi quantificar os fluxos de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) no solo em função do manejo na cultura do café (sequeiro e irrigado), com e sem a presença da *Brachiaria decumbens*. O estudo foi conduzido na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. Os tratamentos foram: SCB (sequeiro com braquiária); SSB (sequeiro sem braquiária); ICB (irrigado com braquiária) e ISB (irrigado sem braquiária). Para avaliação dos fluxos de N<sub>2</sub>O do solo foi utilizado o método de câmaras estáticas. Os maiores fluxos diários de N<sub>2</sub>O no período da fertilização, aconteceram uma semana após a prática, com os maiores fluxos para os tratamentos irrigados (ICB 107,65 µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> e ISB 103,56 µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). A emissão acumulada de N<sub>2</sub>O da primeira irrigação só foi diferente estatisticamente para o ICB (0,13 kg ha<sup>-1</sup>), enquanto no período acumulado não houve diferença significativa. Sendo assim, a combinação de água no solo e a prática da fertilização nitrogenada com a presença da *Brachiaria decumbens* contribuíram para os maiores fluxos de N<sub>2</sub>O.

**PALAVRAS-CHAVE:** mudanças climáticas; N<sub>2</sub>O; Braquiária;

### INTRODUÇÃO

O café está entre as mais importantes commodities agrícolas do Brasil, apresentando grande potencial de expansão em áreas no Cerrado. Assim, para o desenvolvimento e altos rendimentos são necessárias correções de solo e adubações constantes, com altas quantidades de fertilizantes aplicadas (Soares, 2016). O Cerrado tem se tornado região de destaque na cafeicultura com essa adubação e correção do solo (Lopes & Guilherme, 2016). Porém, essas demandas elevadas podem impactar no contexto das emissões de gases do efeito estufa (GEEs), sobretudo o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).

Considerando que as emissões de GEEs representam perdas da matéria orgânica e de fertilizantes, torna-se necessário monitorar os fluxos de GEEs, principalmente N<sub>2</sub>O do solo sob irrigação. Segundo Oliveira Júnior et al. (2020) a condução da lavoura cafeeira emite 123,81 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> de GEE, sendo que adubação nitrogenada e corretivos são as fontes que mais contribuem para essas emissões. Deste modo, o desenvolvimento de novas tecnologias, como o consórcio com braquiária, é extremamente necessário para que a agricultura se mantenha produtiva e sustentável. Diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos a fim de mitigar a emissão dos GEE na agricultura, porém na cafeicultura, os trabalhos e dados coletados ainda são relativamente escassos, o que requer novas pesquisas sobre o assunto, principalmente, os fluxos de N<sub>2</sub>O no solo.

### OBJETIVOS

o objetivo do estudo foi quantificar os fluxos de óxido nitroso no solo em função da prática da fertilização nitrogenada e do manejo na cultura do café (sequeiro e irrigado), com e sem a presença de Braquiária.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no campo experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF (15°35'30" S, 47°42'30" W e 1050 m). O clima da região é estacional e corresponde ao tipo Aw-tropical chuvoso (Köppen). A área experimental está sob um Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa. Os tratamentos consistiram em dois regimes hídricos: regime irrigado e sequeiro, sob manejo com e sem braquiária nas entrelinhas do cafeeiro. Foram avaliados os níveis de água com irrigação plena e de sequeiro, e da quantidade de N adicionada ao sistema por meio das fertilizações. Os tratamentos foram definidos assim: SCB (sequeiro com braquiária); SSB (sequeiro sem braquiária); ICB (irrigado com braquiária) e ISB (irrigado sem braquiária).

O manejo de irrigação fundamentou-se no monitoramento do conteúdo de água do solo, sendo que o momento de irrigação ocorria sempre que a umidade na profundidade de 0,10 m correspondia ao consumo de 50% da água disponível (Rocha et al., 2008). O monitoramento do conteúdo de água foi realizado com auxílio de sonda de umidade ML1 (Delta-T Devices).

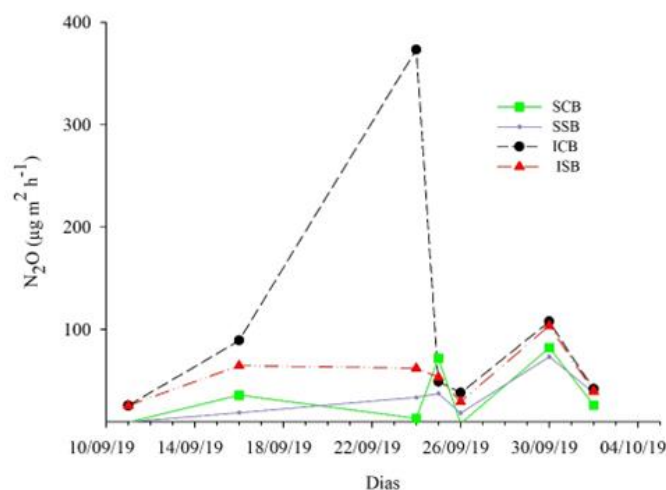
Foi realizada adubação no café, em 23 de set de 2019. Com as seguintes recomendações: 400 kg de N/ha, a fonte de N foi ureia. 400 kg de K/ha (cloreto de potássio) e 300 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (2/3 em Set = 120 g/planta e 1/3 em Nov = 60 g/planta) e 100 kg de FTE/ha - 25 g/planta.

O método utilizado para coletas de GEEs foi de câmaras estáticas, conforme protocolo apresentado em Zanatta et al. (2014), para avaliação dos fluxos de N<sub>2</sub>O do solo. Foram utilizadas 12 câmaras por tratamento. Em uma das câmaras por parcela, foi acoplado um termômetro digital para monitoramento da temperatura do ar, dentro das câmaras. Outro termômetro foi inserido no solo para determinação da temperatura do solo, a 5 cm de profundidade, nos tempos determinados para coletas de gases (T0, T15` e T30`, após fechamento das câmaras). As amostragens de gases foram realizadas entre 09:00 e 11:00 horas, seguindo metodologia apresentada em Oliveira et al., (2021).

As análises das concentrações de N<sub>2</sub>O foram realizadas por cromatografia gasosa no Laboratório de Cromatografia Gasosa da Embrapa Cerrados. Os fluxos foram medidos pela variação linear da concentração de gás em relação ao tempo de incubação nas câmaras de amostragem e calculado pela equação (1), tal como proposto por Bayer et al. (2015): Fluxo =  $\delta C/\delta t (V/A) m/V_m$ . Onde o fluxo (mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>);  $\delta C/\delta t$  é a mudança de concentração do gás (nmol N<sub>2</sub>O) na câmara no intervalo de incubação (h); V e A são respectivamente o volume da câmara (L) e a área de solo coberta pela câmara (m<sup>2</sup>); m é o peso molecular de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> (mg), e V<sub>m</sub> é o volume molar na temperatura de amostragem (L). Os dados de N<sub>2</sub>O acumulado foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5%. As emissões acumuladas foram estimadas, por integração, utilizando-se o software Sigmaplot® Versão 10 (Systat Software Inc., Chicago, USA, 2007).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 1 apresenta os fluxos diários de N<sub>2</sub>O, que variaram de 8,44 a 373,28 µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, para os tratamentos SCB e ICB, respectivamente. Foi realizada a primeira adubação com NPK+FTE, no dia 23/09/2019. Após o primeiro dia, observou-se o valor mais elevado no ICB (373,28 µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), cerca de 28 vezes maior quando comparado ao SCB (13,25 µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), enquanto os demais tratamentos SSB e ISB, no mesmo dia, apresentavam valores de 33,52 e 62,07 µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, respectivamente.



**Figura 1:** Fluxos diários de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) nos tratamentos: SCB, SSB, ICB e ISB, no mês de setembro e no dia 04 de outubro de 2019, na cultura do café.

Os maiores fluxos diários observados, em média, ocorreram no sétimo dia após fertilização (30/09/2019), com os maiores valores para os tratamentos irrigados (ICB 107,65 µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> e ISB 103,56 µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) e os de sequeiro (SCB 82,24 µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) e (SSB 73,34 µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) (Figura 1). Adicionalmente, o espaço poroso preenchido por água, era de 44% para os tratamentos de sequeiro e acima de 54% para os tratamentos irrigados (dados não mostrados).

A adubação nitrogenada é um dos fatores que mais contribui para emissão N<sub>2</sub>O (Santos et al., 2016), visto que a maioria dos fertilizantes nitrogenados são solúveis em água, como a ureia, propiciando liberação de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo, formas prontamente disponíveis às plantas e suscetíveis aos processos de nitrificação e desnitrificação. Belizário (2013) ao estudar fontes de N, verificou perdas de 0,27 kg ha<sup>-1</sup> de ureia para cada aplicação de N no café. De maneira geral, fertilizantes amoniacais podem diminuir as emissões de N<sub>2</sub>O quando comparados aos fertilizantes nítricos, cujo processo de desnitrificação é o principal processo de formação de N<sub>2</sub>O (Signor, 2010). Estudos no Cerrado, verificam que os fatores que mais influenciaram as emissões de N<sub>2</sub>O no solo foram o tipo de fertilizante e a umidade do solo, com fluxos de N<sub>2</sub>O mais altos quando associados a EPPA entre 50-60% (Campanha et al., 2019).

Os valores de N<sub>2</sub>O acumulado em relação ao período que compreende à fertilização (24/09/2019 a 02/10/2019), se diferenciaram em relação aos tratamentos, com maior acumulado de 0,131 kg ha<sup>-1</sup> para o tratamento ICB, enquanto os demais não diferiram estatisticamente. Em relação ao acumulado de N<sub>2</sub>O para o período de setembro/2019 a janeiro/2020, não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 1). O maior acumulado no tratamento irrigado e com presença de braquiária na entrelinha, apenas em valor absoluto (magnitude), destaca o efeito da decomposição dos resíduos vegetais de braquiária que disponibiliza mais N (Gonçalves et al., 2019), para o processo de mineralização de N e formação de N<sub>2</sub>O no solo.

**Tabela 1:** Emissão acumulada de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) em função da primeira fertilização (24/09/2019 a 02/10/2019) e em todo o período de avaliação (11/09/2019 a 14/01/2020) na cultura do café, em kg ha<sup>-1</sup>

Tratamento/Período	ICB	ISB	SCB	SSB
1ª fertilização	0,13a	0,08b	0,06b	0,06b
Acumulado período	8,56b	6,08b	5,35b	5,65b

## CONCLUSÃO

Para as condições de cultivo do café no Cerrado, a fertilização nitrogenada associada a irrigação e a presença da braquiária propiciou maior pico de fluxo diário, e promoveu maior emissão acumulada de N<sub>2</sub>O, mostrando o impacto que a prática pode propiciar. Porém, no acumulado total de N<sub>2</sub>O, não foi observado o mesmo comportamento.

## AGRADECIMENTOS

Embrapa Cerrados, Consórcio pesquisa café, CNPq

## REFERÊNCIAS

- Belizário, M. H. (2013). **Estoque de carbono do solo e fluxo de gases de efeito estufa no cultivo do café**. Tese de Doutorado. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 143p.
- Campanha, M. M.; De Oliveira, A. D.; Marriel, I.E.; Neto, M. M. G.; Malaquias, J. V.; Landau, E. C.; De Carvalho, A. M. (2019). Effect of soil tillage and N fertilization on N<sub>2</sub>O mitigation in maize in the Brazilian cerrado. **Science of the Total Environment**, vol. 692, p.1165-1174. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.315>
- Gonçalves, A. D. M. A. de; Carvalho, A. M. de.; Veiga, A. D.; Rocha, O. C. (2019). **Decomposição e ciclagem de nitrogênio no consórcio entre café e braquiária no cerrado**. X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Lavras: vol.1, p.1-5.
- Lopes, A. S. & Guilherme, L. R. G. (2016). Chapter One-A Career Perspective on Soil Management in the Cerrado Region of Brazil. **Advances in Agronomy**, vol.137, p.1-72. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.12.004>.
- Oliveira Júnior, G. G. de.; Silva, A. B. da.; Lima, M. A. de.; Silva, J. C. T. R. da.; Florentino, L. A. & Aparecido, L. E. de O. 2020. Estimativa da emissão de CO<sub>2</sub> equivalente em operações mecanizadas na cultura do cafeeiro. Embrapa Meio Ambiente-Artigo em periódico indexado. [cit. 2022-04-23] <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1123911/estimativa-da-emissao-de-co2-equivalente-em-operacoes-mecanizadas-na-cultura-do-cafeeiro>
- Santos, I. L.; Oliveira, A. D.; Figueiredo, C. C.; Malaquias, J. V.; Santos Junior, J. D. G.; Ferreira, E. A. B.; Sa, M. A. C. & Caralho, A. M. (2016). Soil N<sub>2</sub>O emissions from long-term

agroecosystems: interactive effects of rainfall seasonality and crop rotation in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, vol. 233, n.3, p.111-120.  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.027>

Signor, D. (2010). **Estoques de carbono e nitrogênio e emissões de gases do efeito estufa em áreas de cana-de-açúcar na região de Piracicaba**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 119. p.

Soares, D. de A. (2016). **Emissões de gases de efeito estufa por fertilizantes nitrogenados em lavoura cafeeira irrigada**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) Universidade Federal de Lavras. 128 p.

# CENÁRIOS FUTUROS DA MANCHA-ALVO DA SOJA NO ESTADO DO MATO GROSSO SIMULADA COM MODELO DINÂMICO

**Gustavo de Angelo Luca**<sup>1</sup>; **Izabel Martins Fattori Junior**<sup>2</sup>; **Fábio Ricardo Marin**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Discente. Av. Pádua Dias, 11 - Piracicaba (SP). Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz; <sup>2</sup>Doutorando. Av. Pádua Dias, 11 - Piracicaba (SP). Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz; <sup>3</sup>Docente. Av. Pádua Dias, 11 - Piracicaba (SP). Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz

## RESUMO

O estudo dos fatores que afetam o desenvolvimento da soja é importante para a correta tomada de decisão e análise de risco, especialmente para uma cultura de tamanha importância econômica para o Brasil. Com o aumento da população mundial, a demanda pelos subprodutos da soja deve ser ainda maior, sob um cenário de mudanças climáticas, que ameaçam a produção agrícola ao alterarem as condições básicas do desenvolvimento fisiológico das plantas. Além disso, as mudanças climáticas podem alterar fatores redutores da produção, como pragas, doenças e plantas daninhas. Neste contexto, é importante avaliar as novas condições fitopatogênicas, bem como as novas dinâmicas populacionais de doenças em cenários futuros, com o intuito de tomar as melhores decisões possíveis. Atualmente, uma das doenças mais importantes para a cultura da soja no Brasil é a mancha-alvo. Assim, este projeto buscou avaliar as mudanças que ocorrerão com a doença foliar mancha-alvo na cultura da soja, em relação à sua severidade, em Diamantino-MT. Para tanto, num primeiro momento, foi criado um modelo epidemiológico específico para o fungo causador desta doença, a partir da adaptação dos modelos disponíveis na literatura, que foi posteriormente acoplado, de forma dinâmica, ao modelo CROPGRO-Soybean, tornando possível a simulação da interação planta-patógeno. Como resultados, os cenários com maiores emissões de CO<sub>2</sub> apresentaram queda nas perdas de produtividade causadas pela doença, entre -27,6% e -23%, evidenciando que o aumento exagerado da temperatura e gás carbônico comprometem o desenvolvimento da doença, ao passo que o cenário mais otimista apresentou condições favoráveis para o fungo, com aumento na perda de produtividade de 3,1%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mudanças climáticas; Modelagem; Mancha-alvo; Soja; Severidade

## INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas, causadas por fatores naturais e antropogênicos, possivelmente alterarão o processo produtivo e o estilo de vida dos seres humanos do século XXI (MARIN; NASSIF, 2013). De acordo com o relatório mais recente do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), é necessário que haja grandes cortes na emissão de gases do efeito estufa para manter o aumento da temperatura global em 1,5°C (IPCC, 2022). No cenário com maiores emissões de carbono (SSP5-8.5), o planeta pode aquecer até 3,0°C entre 2041 e 2060 e 5,7°C entre 2081 e 2100 (IPCC, 2022).

Tais mudanças, que ameaçam a produção agrícola, causam impactos diretos, através de mudanças fisiológicas nas plantas, e indiretos, como mudanças no comportamento de pragas e agentes fitopatogênicos (NEWBERY; QI; FITT, 2016). De acordo com (CAUBEL et al.,2012), o aumento da temperatura e da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera deve promover o aumento da produção de biomassa pelas plantas, que por sua vez consistiria numa grande reserva trófica onde fungos poderiam colonizar e se multiplicar. Além disso, noites mais quentes e com umidade mais alta no dossel, devido ao aumento da produção de biomassa e da densidade do mesmo, favorecem o desenvolvimento da maioria dos fungos, especialmente nos processos de esporulação e infecção foliar (CAUBEL et al.,2012).

Assim, ao modificar as condições do ambiente determinantes para o desenvolvimento dos patógenos, seu comportamento é consequentemente alterado, acarretando possíveis danos econômicos, sociais e

ambientais. É, portanto, importante analisar o impacto das mudanças climáticas sobre as doenças de plantas, para que seja possível a adoção de medidas preventivas que garantirão a melhor adaptação possível em relação aos novos cenários climáticos e sociais.

Atualmente, estudos que correlacionam as mudanças climáticas com doenças fitopatológicas são escassos para a maioria das culturas, assim como é o caso da soja, cultura de extrema importância econômica para o Brasil.

Dentre as doenças mais significantes para esta cultura, a mancha-alvo, causada pelo fungo *Corynespora cassiicola* (Berk. & Curt.) Wei, é uma doença foliar cuja importância aumentou significativamente nos últimos anos, principalmente no continente americano, com perdas nas plantações variando entre 10 e 42% em cultivares mais suscetíveis (EDWARDS MOLINA et al., 2022). Esta doença, considerada pouco limitante para a soja desde sua primeira aparição, registrada em 1976 no Brasil, tornou-se cada vez mais importante entre os anos de 2010 e 2020, principalmente devido à adoção cada vez mais frequente de cultivares suscetíveis e à perda de sensibilidade do fungo aos principais ingredientes ativos dos fungicidas utilizados atualmente (EDWARDS MOLINA et al., 2022).

Nesse sentido, entender como tal doença irá se comportar em relação às mudanças climáticas é de suma importância para previsão de risco e políticas de segurança alimentar. Até onde se sabe, não há pesquisas que correlacionam o desenvolvimento da mancha-alvo com a soja em condições de mudanças climáticas.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os cenários futuros de severidade da doença mancha-alvo na cultura da soja, causada pelo fungo *Corynespora cassiicola* (Berk. & Curt.) Wei, comparando com as condições atuais em Diamantino-MT. Para isso, a doença teve seu crescimento simulado através de um modelo epidemiológico escrito em Fortran, e acoplado de forma dinâmica ao CROPGRO-Soybean, a fim de avaliar a interação planta-patógeno e sua futura severidade.

## **OBJETIVOS**

O objetivo deste trabalho foi avaliar os cenários futuros de severidade da doença mancha-alvo na cultura da soja, causada pelo fungo *Corynespora cassiicola* (Berk. & Curt.) Wei, comparando com as condições atuais em Diamantino-MT, através de um modelo epidemiológico específico que foi acoplado, de forma dinâmica, ao modelo de cultura CROPGRO-Soybean, da plataforma DSSAT.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Neste projeto, o modelo epidemiológico genérico desenvolvido por (CAUBEL et al., 2012) foi utilizado como base, mas com adaptações necessárias notadamente no processo de infecção, tendo como fundamento o modelo criado por (VALERIANO et al., 2021), e incorporado ao modelo baseado em processo para a cultura da soja CROPGRO-Soybean v.4.6.1 (CPG), disponível na plataforma Decision Support System for Agrotechnology Transfer - DSSAT (JONES et al., 2003), em que foi possível prever o comportamento e severidade da doença mancha-alvo na cultura da soja em cenários de mudanças climáticas.

O modelo epidemiológico foi integrado ao CROPGRO-Soybean através de uma subrotina programada em Fortran, tendo como base o trabalho realizado por (FATTORI; SENTELHAS; MARIN, 2022). A calibração do modelo de cultura e os dados de entrada tiveram como fundamento as recomendações propostas por (BATTISTI; SENTELHAS; BOOTE, 2017).

Tal modelo é dividido em 5 módulos, cada um representando uma etapa no ciclo da doença, que são: a) dispersão dos esporos, b) deposição dos esporos no órgão-alvo, c) infecção, d) período de latência

e e) produção do inóculo secundário, sendo que o tempo de vida das lesões e dos esporos também foram considerados no modelo. As variáveis fornecidas pelo modelo da cultura caracterizam o microclima no dossel e o status da soja, e os efeitos do desenvolvimento do patógeno sobre o metabolismo da planta não foram considerados, bem como o efeito da arquitetura da planta sobre o desenvolvimento do fungo, competição e predação (CAUBEL et al., 2012).

### ***Dispersão***

O processo de dispersão seguiu com a mesma regra proposta por (CAUBEL et al., 2012), que é considerado constante caso seja realizado pelo vento. O fungo *C.cassicola* tem seus conídios dispersados a longas distâncias através do vento em condições de seca (EDWARDS MOLINA et al., 2022), e desse modo, a dispersão sempre ocorre, visto que os ventos são interpretados como fatores de transporte não limitantes.

Esta etapa fornece esporos disponíveis de inóculo primário (cuja densidade, dada em esporos/m<sup>2</sup>, é fixada por um parâmetro de entrada) ou de inóculo secundário calculado pelo modelo epidemiológico a partir do segundo ciclo. Tal parâmetro de entrada foi fixado com valor de 300.000 esporos/m<sup>2</sup>.

### ***Deposição***

O processo de deposição é majoritariamente controlado pelas informações fornecidas pelo CROPGRO-Soybean e depende da presença do órgão-alvo, da superfície disponível para infecção e da receptividade do órgão (CAUBEL et al., 2012).

A presença do órgão-alvo foi formalizada por uma função binária de acordo com o estágio fenológico da soja; a superfície disponível para infecção é a superfície verde da folha menos a superfície exposta pela lesão (CAUBEL et al., 2012); a receptividade do órgão varia de acordo com a idade da planta, e portanto, assume-se que acima (ou abaixo) de determinada idade, o órgão alvo é suscetível.

A taxa de interceptação dos esporos (IR), que foi utilizada para calcular o número de esporos depositados nas folhas, é o valor mínimo entre a proporção de esporos dispersos que foram interceptados pelo dossel (pisDSSAT), com os esporos dispersos que o dossel pode suportar (CAUBEL et al., 2017).

A SuperfLesão corresponde a um valor constante e específico do patógeno, sendo de 10 a 15mm de diâmetro (EDWARDS MOLINA et al., 2019), e o pisDSSAT corresponde por analogia à fração de radiação fotossinteticamente ativa absorvida fornecida pelo DSSAT.

$$IR = \min (\text{pisDssat}, \text{SuperfSuscetível} / \text{SuperfLesão} * N^{\circ}\text{esporos dispersados}) \quad (1)$$

$$\text{SuperfSuscetível} = \text{iafDssat} * \text{SuperfLatente} \quad (2)$$

O número de esporos depositados é, portanto, igual ao produto do número de esporos dispersos com taxa de interceptação (CAUBEL et al., 2017).

### ***Infecção***

Em relação ao processo de infecção, foram utilizadas as equações propostas por (VALERIANO et al., 2021), que corresponde à função de temperatura (FT), e (CAUBEL et al., 2017), que corresponde à taxa de infecção, que dependem da temperatura e do tempo de molhamento foliar. Além disso, houve uma mudança de natureza autoral no modelo, no que tange ao cálculo da função de temperatura e sua aplicação no processo de germinação de esporos, que não é especificado nos trabalhos citados. Assim, para aumentar a confiabilidade do modelo, foi adicionado um cálculo de função de temperatura para considerar este processo, que é fundamental para o início da infecção.



Abaixo, seguem as equações utilizadas:

$$f(T) = (T_{max} - T / T_{max} - T_{opt}) * (T - T_{min} / T_{opt} - T_{min}) ^ (T_{opt} - T_{min} / T_{max} - T_{opt}) \quad (3)$$

$$InfectRate = Y_{max} * f(T) * (1 - \exp(-(A * lwdDssat) ^ B)) \quad (4)$$

em que  $F(T)$  é uma função de resposta à temperatura do ar,  $InfectRate$  é a taxa de infecção (0-1),  $Y_{max}$  é a eficiência máxima de infecção,  $A$  é a taxa intrínseca de aumento da eficiência de infecção em relação ao molhamento foliar (0-1),  $lwdDssat$  é período de molhamento foliar fornecido pelo DSSAT,  $B$  é a parte do período de umidade a qual a resposta desacelera (horas) e  $T$ , em graus celsius, é a temperatura horária diária (VALERIANO et al., 2021). Neste trabalho, como o cálculo ocorreu de forma diária,  $T$  foi a média da temperatura diária.

As temperaturas  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  e  $T_{opt}$  correspondem aos valores de temperatura que regem os processos de germinação dos esporos e do desenvolvimento do fungo em folhas de soja determinados por (MESQUINI, 2012), já que valores específicos de temperatura do processo de infecção não foram encontrados. Assim, a função de temperatura utilizada em  $InfectRate$  é a multiplicação da função de germinação com a de desenvolvimento, o que reduz o valor da taxa resultante ao retirar os esporos que não germinaram, a não ser que as condições sejam as ideais para a germinação.

O período de molhamento foliar foi calculado tal como no trabalho de (CAUBEL et al., 2012), de modo que corresponde ao número de horas em que a umidade relativa do dossel foi maior que 95% em dias chuvosos. Além disso, assumiu-se que tal período também corresponde ao número de horas em que a temperatura da superfície foliar está abaixo do ponto de orvalho em dias não chuvosos.

Além disso, para que a simulação do processo de infecção seja mais fiel possível, foi levado em consideração a resistência do hospedeiro, através de um parâmetro varietal (HR) que varia de 0 a 1, sendo 1 atribuído a uma cultivar altamente suscetível, sendo multiplicado com o parâmetro citado anteriormente (CAUBEL et al., 2012).

Desse modo, o número de esporos latentes é igual ao produto do número de esporos depositados com a taxa de infecção, e a superfície latente  $SuperfLatente$  é igual ao produto do número de esporos latentes pela superfície de uma lesão  $SuperfLesão$  (CAUBEL et al., 2017). A senescência natural da cultura pode reduzir a superfície latente, tornando a folha inadequada para o estabelecimento do período de latência do fungo, devendo ser reduzida diariamente de acordo com a superfície foliar senescente  $SuperfSenesc$  diária fornecida pelo DSSAT (CAUBEL et al., 2017).

### ***Latência***

O período de latência é definido como sendo o intervalo entre a germinação dos esporos e a produção do inóculo secundário. Para representá-lo no modelo, foi utilizada a equação proposta por (CAUBEL et al., 2017) que segue abaixo:

$$LatRate = f(T) / LDmin \quad (5)$$

em que  $LatRate$  é a progressão da latência e  $LDmin$  (dias) é a duração mínima do período de latência que, para o patógeno, é de 5 dias (EDWARDS MOLINA et al., 2022). Os valores que foram utilizados em  $f(T)$  correspondem àqueles referentes ao desenvolvimento do patógeno nas folhas de soja, determinados por (MESQUINI, 2012).

O número diário de novas lesões esporulantes é, portanto, igual aos indivíduos latentes que cumpriram seu período de latência (soma das taxas de progressão diária consecutiva igual a 1). A superfície infecciosa não fotossintética  $Superfinfec$  é igual ao produto do número de lesões

esporulantes pela superfície de uma lesão SuperfLesão; quando a lesão se torna não esporulante, a área resultante é retirada do sistema (CAUBEL et al., 2017).

### ***Produção do inóculo secundário***

A produção de inóculo secundário é avaliada através da eficiência de esporulação, cuja equação que a representa, proposta por (CAUBEL et al., 2017) segue abaixo:

$$\text{SpoRate} = \text{PotSpoRate} * \text{SuperfLesao} * f(T) * \text{Larf} \quad (6)$$

$$\text{PotSpoRate} = (\text{n(d-1)} + \text{RVERHULST} * \text{n(d-1)} * (\text{KVERHULST} * \text{laiDssat(d)} - \text{n(d-1)}) / \text{KVERHULST} * \text{laiDssat(d)}) / \text{SuperfInfect} \quad (7)$$

em que PotSpoRate é taxa de produção de esporos potenciais por unidade de superfície esporulante, Larf é o fator de redução relacionado à idade da lesão, RVERHULST é a taxa de crescimento intrínseco na população (número de indivíduos por dia), n(d-1) é o tamanho real da população do dia anterior (correspondente à soma de indivíduos latentes e esporos) e KVERHULST é o número máximo de indivíduos por unidade IAF (inverso do tamanho médio de uma lesão, já que considera-se que todo o LAI poderia ser coberto por lesões) (CAUBEL et al., 2017).

O fator de redução Larf aumenta linearmente para 1 (valor atingido para a idade ótima de produção) e depois diminui para 0, quando a lesão morre (CAUBEL et al., 2017). Tais parâmetros do fungo em estudo foram obtidos dos experimentos realizados por (MESQUINI, 2012)

### ***Vida útil de esporos e lesões***

Os esporos e lesões tem seu próprio tempo de vida. O tempo de vida dos esporos foi assumido como 1 dia, e o das lesões depende da temperatura da cultura (CAUBEL et al., 2017). Uma taxa de progressão diária do tempo de vida da lesão LesLifeRate foi calculada usando um tempo de vida máximo LESLIFEMAX a uma temperatura ideal TLESLIFEOPT, dividido por F(T) (CAUBEL et al., 2017).

$$\text{LesLifeRate} = 1 / (f(T) * \text{LESLIFEMAX}) \quad (8)$$

No final da vida útil de uma lesão (soma da taxa de progressão diária igual a 1), sua superfície SuperfLesão será retirada da Superfinfec. Durante o período esporulante, a senescência natural da cultura irá afetar a atividade da lesão, e desse modo, a superfície infecciosa será reduzida diariamente com a mesma taxa de redução que a taxa de senescência foliar fornecida pela DSSAT.

### ***Cálculo da severidade***

Só é possível simular um dano removendo área foliar da soja. Para tanto, primeiramente, o modelo de cultura fornece a superfície foliar verde, que é utilizada para calcular a superfície disponível (suscetível) para a infecção, que corresponde à subtração da superfície foliar verde com a superfície latente.

Inicialmente, a superfície latente será igual a zero, logo a superfície disponível será igual à superfície foliar fornecida pelo modelo (CAUBEL et al., 2012). A superfície latente, que se desenvolve durante a infecção, corresponde à multiplicação do número de esporos latentes com a superfície média de uma lesão que, de acordo com (EDWARDS MOLINA et al., 2019), gira em torno de 10 a 15 mm de diâmetro.

A superfície infecciosa, que é assumida como não fotossintética e se desenvolve no período de latência, é descontada da superfície foliar verde fornecida pelo modelo de cultura, e corresponde à

multiplicação do número de lesões esporulantes com a superfície média de uma lesão; quando a lesão se torna não esporulante, a área resultante é retirada do sistema (CAUBEL et al., 2012).

Desse modo, a severidade da doença é calculada como a razão entre a área de superfície foliar fotossinteticamente-inativa e a área de superfície foliar total (superfícies ativas + inativas) (CAUBEL et al., 2017). A área de superfície foliar fotossinteticamente-inativa é o total de tecidos esporulantes, cloróticos e necróticos (CAUBEL et al., 2017).

### ***Calibração do modelo de cultura e dados de entrada***

A calibração e validação do CROPGRO foi feita por (BATTISTI; SENTELHAS; BOOTE, 2017) para cultivares brasileiras, cujo estudo foi conduzido em 7 diferentes locais distribuídos pelo Brasil, (Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo e Mato grosso do Sul), para duas safras agrícolas e diferentes datas de plantio, de janeiro a outubro, em que os experimentos seguiram as recomendações de manejo de cada local. A cultivar utilizada foi a BRS 284 grupo de maturação 6.5. Conforme a recomendação de (BATTISTI; SENTELHAS, 2019), foi selecionado o grupo de maturação correta para cada zona: para latitudes maiores que 23°S, o grupo de maturação utilizado foi 5.8; para latitudes entre 15° e 22,9°S, foi 6.8; para latitudes abaixo de 14,9°, foi o 7.8. Os coeficientes de cada grupo de maturação foram obtidos por (BATTISTI, 2016).

As condições de manejo utilizadas no CROPGRO serão datas de semeadura entre 15 de setembro a 25 de novembro, para as regiões sul e centro e 05 de outubro a 15 de dezembro para a zona Norte, seguindo as datas recomendadas e possíveis para cada região. A população de planta utilizada será de 30 plantas por m<sup>2</sup> para todos os locais, em condição de sequeiro e sem considerar perdas de rendimento por falta de nutrientes no solo.

### ***Local de estudo***

Neste estudo, optou-se por selecionar o município de Diamantino (MT) para a realização de uma simulação preliminar do modelo com a cultura. Tal município foi escolhido devido a sua relevância como uma importante região agrícola, especialmente reconhecida pela significativa produção de soja que, segundo os dados obtidos do IBGE, em 2021 apresentou uma área plantada de 384.605 ha, 1.315.239 toneladas de grãos e 3.420 kg/ha de rendimento médio.

Além disso, este município apresenta como classificação climática Aw segundo Köppen e Geiger, ou seja, clima tropical com inverno seco, com estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro. Tais características são favoráveis à ocorrência da doença mancha-alvo durante a safra de verão.

### ***Dados meteorológicos e cenário futuro***

Os cenários climáticos futuros foram gerados pelo CMIP6, que são composto por 5 modelos (GFDL-ESM4, IPSL-CM6A-LR, MPI-ESM1-2-HR, MRI-ESM2-0 e UKESM1-0-LL), que representam três períodos futuros: 2019-2039, 2040-2069, e 2070-2100 (LANGE et al., 2019). Ademais, para cada modelo serão considerados três cenários futuros diferentes SSP (SSP1- RCP2.6 (baixa emissão), SSP2-RCP4.5 (emissão moderada) e SSP3-RCP7.0 (altas emissões). Conforme esses cenários foram utilizados diferentes valores de CO<sub>2</sub>, que variaram ano a ano, como dado de entrada para o modelo. Portanto, para cada local estudado foram gerados 15 cenários diferentes (5 modelos e 3 RCPs). Tais cenários futuros apresentam as mesmas variáveis climáticas da base histórica.

A Nasa Center for Climate Simulation forneceu os arquivos climáticos no formato .AgMip, que foram posteriormente convertidos em .WTH. Este conjunto de dados corresponde a uma série de dados das regiões em estudo, havendo dois tipos principais, a exemplo: BR010PXX.AgMIP, que é um arquivo

com dados climáticos históricos de 1979 a 2019, e BR0171X1.AgMIP, arquivo que representa um cenário climático futuro, de 1850 a 2100.

No arquivo de clima futuro, o quinto caractere, que no caso é 7, representa o caminho futuro de emissões (SSP-RCP). Se o número for "7", o arquivo é o histórico completo de 1850 a 2100 e SSP1-RCP2.6 do século XXI; se for "8", o arquivo é o histórico completo de 1850 a 2100 e SSP3-RCP7.0 do século XXI; se for "9", é o histórico completo de 1850 a 2100 e SSP5-RCP8.5 do século XXI.

O sexto caractere, que no caso é 1, representa qual modelo CMIP6-GCM usado. Caso o caractere seja "X", nenhum modelo climático foi utilizado; se for "P", o modelo é W5E5 (ERA-5 ajustado); se for "1", o modelo é o GFDL-ESM4 (ISIMIP); se for "2", o modelo é IPSL-CM6A-LR (ISIMIP); se for "3", o modelo é MPI-ESM1-2-HR (ISIMIP); se for "4", o modelo é MRI-ESM2-0 (ISIMIP); se for "5", o modelo é UKESM1-0-LL (ISIMIP).

### **Análise dos dados**

Para analisar os danos causados pela Mancha-Alvo, foi calculada a variação de produtividade causada pela doença DPMA, tanto em termos relativos e diretos, calculados pelas equações propostas por (FATTORI; SENTELHAS; MARIN, 2022).

$$DPMA(\text{kg/ha}) = \text{ProdSD} - \text{ProdCD} \quad (9)$$

$$DPMA(\%) = (\text{ProdCD} / \text{ProdSD} - 1) * 100 \quad (10)$$

em que ProdSD é a produtividade sem doença e ProdCD é a produtividade com doença.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Após conduzir as simulações da doença mancha alvo da soja em Diamantino sob três cenários futuros de mudanças climáticas, os resultados obtidos revelaram tendências distintas quanto à severidade da doença e a produtividade da cultura, para os três RCPs analisados.

A simulação base com dados de 1981 a 2019 foi muito próxima das simulações do mesmo período para os três cenários, a produtividade apresentou uma variação de 1,0% para simulação com doença, 1,1% para simulação sem doença e a perda teve um aumento de 2,6% (Tabela 2). Isso mostra que os dados climáticos base, para o período do passado estão alinhados com os dados dos três RCPs, não apresentando grandes vieses.

Ao comparar os modelos, pode-se inferir que no período de 2020-2039 a produtividade de grãos, nos 3 cenários são muito semelhantes, porém a perda de produtividade em decorrência da mancha-alvo é maior no cenário SSP1-RCP2.6 (205 kg/ha), o que representa um aumento de 7,2% se comparado com a base (Figura 1). Portanto, as condições para o desenvolvimento da doença foram mais favoráveis no cenário com os menores aumentos de CO<sub>2</sub>. Isso ocorre, pois a temperatura do ciclo se manteve próxima às ótimas para o desenvolvimento e colonização, que na folha de soja é em torno de 27°C (MESQUINI, 2012). Nos outros cenários, o aumento no teor de CO<sub>2</sub> do ar pode ter se apresentado como um compensante, aumentando a produção de massa foliar e diminuindo a severidade da doença (relação % de doença sob folha).

No período de 2040-2069, a menor perda de produtividade ocorre no cenário SSP5-RCP8.5, 3368 e 3194 kg/ha com e sem doença respectivamente, porém há ganho de produtividade, com e sem a doença, em todos os cenários, que pode ser devido ao efeito do aumento de concentração de gás carbônico na atmosfera.

No período de 2070-2100, nota-se uma diminuição menos acentuada da perda de produtividade causada pela doença no cenário SSP1-RCP2.6, ao contrário do que acontece com os demais. O cenário SSP3-RCP7 e SSP5-RCP8.5 apresentam, respectivamente, perdas de 138 kg/ha e 147 kg/ha que, se comparadas com as dos períodos anteriores (Figura 2), pode-se concluir que as perdas decorrentes da mancha-alvo diminuíram com o aumento da temperatura e CO<sub>2</sub>, já que as condições para o desenvolvimento do fungo estão distantes das ideais.

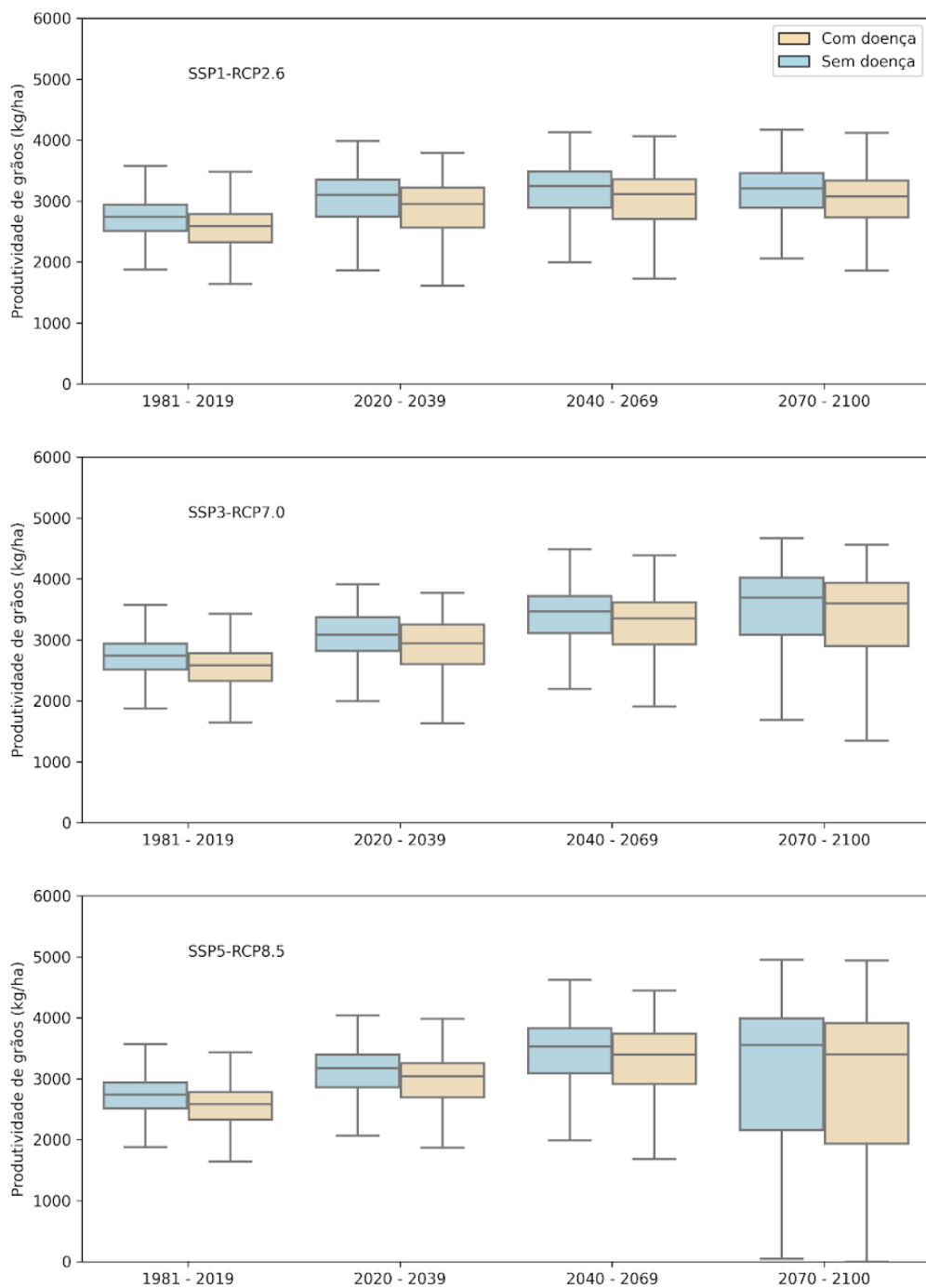


Figura 1. Produtividade da soja simulada com e sem dano da doença mancha alva, para três cenários futuros. Valores entre parênteses representam a variação em relação ao clima base.

Cenário	Produtividade (kg/ha)	1981 - 2019	2020 - 2039	2040 - 2069	2070 - 2100
Base	Com doença	2433	-	-	-
	Sem doença	2624	-	-	-
	Perda pela doença	191	-	-	-
SSP1-RCP2.6	Com doença	2457 (1.0%)	2762 (13.5%)	2904 (19.4%)	2910 (19.6%)
	Sem doença	2652 (1.1%)	2967 (13.1%)	3106 (18.4%)	3107 (18.4%)
	Perda pela doença	196 (2.4%)	205 (7.2%)	201 (5.3%)	197 (3.1%)
SSP3-RCP7.0	Com doença	2457 (1.0%)	2810 (15.5%)	3169 (30.3%)	3259 (34.0%)
	Sem doença	2652 (1.1%)	3007 (14.6%)	3336 (27.2%)	3397 (29.5%)
	Perda pela doença	196 (2.5%)	198 (3.4%)	167 (-12.6%)	138 (-27.6%)
SSP5-RCP8.5	Com doença	2457 (1.0%)	2870 (18.0%)	3194 (31.3%)	2914 (19.8%)
	Sem doença	2652 (1.1%)	3056 (16.5%)	3368 (28.4%)	3061 (16.7%)
	Perda pela doença	196 (2.6%)	186 (-2.6%)	174 (-9.1%)	147 (-23.0%)

Figura 2: Produtividade da soja simulada com e sem o dano da doença mancha alvo e a perda de produtividade média por cenário futuro e cenário base.

## CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a futura severidade da doença mancha-alvo da soja em três cenários de mudanças climáticas. Os cenários futuros com maiores aumentos de temperatura e CO<sub>2</sub> apresentaram uma queda na perda de produtividade pela doença mancha alvo de -2,6% a -23%. Esse pode estar ligado tanto a condições menos favoráveis para desenvolvimento do fungo, que pode ter seu crescimento e desenvolvimento inibidos ou desacelerados sob condições climáticas mais extremas, resultando em menores danos e, conseqüentemente, em perdas de produtividade reduzidas, quanto uma compensação do dano pela maior concentração de CO<sub>2</sub> que favorece a maior produção de biomassa pela cultura da soja.

O conhecimento gerado por este estudo contribui significativamente para o entendimento dos desafios que os agricultores enfrentarão diante das mudanças climáticas para garantir a sustentabilidade do setor em Diamantino.

## AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) concedeu apoio financeiro ao projeto de pesquisa, de número 2023/00305-8.

## REFERÊNCIAS

BATTISTI, Rafael; SENTELHAS, Paulo C.; BOOTE, Kenneth J. Inter-comparison of performance of soybean crop simulation models and their ensemble in southern Brazil. **Field Crops Research**,

[S. l.], v. 200, p. 28-37, 2017. DOI:10.1016/j.fcr.2016.10.004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2016.10.004>

CAUBEL, J.; LAUNAY, M.; LANNOU, C.; BRISSON, N. Generic response functions to simulate climate-based processes in models for the development of airborne fungal crop pathogens.

**Ecological Modelling**, [S. l.], v. 242, p. 92-104, 2012. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2012.05.012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.05.012>.

CAUBEL, Julie; LAUNAY, Marie; RIPOCHE, Dominique; GOUACHE, David; BUIS, Samuel; HUARD, Frédéric; HUBER, Laurent; BRUN, François; BANCAL, Marie Odile. Climate change effects on leaf rust of wheat: Implementing a coupled crop-disease model in a French regional application. **European Journal of Agronomy**, [S. l.], v. 90, n. September 2016, p. 53-66, 2017. DOI: 10.1016/j.eja.2017.07.004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2017.07.004>.

EDWARDS MOLINA, J. P. et al. Effect of target spot on soybean yield and factors affecting this relationship. **Plant Pathology**, [S. l.], v. 68, n. 1, p. 107-115, 2019. DOI: 10.1111/ppa.12944

EDWARDS MOLINA, J. P.; NAVARRO, B. L.; ALLEN, T. W.; GODOY, C. V. Soybean target spot caused by *Corynespora cassiicola*: a resurgent disease in the Americas. **Tropical Plant Pathology**, [S. l.], v. 47, n. 3, p. 315-331, 2022. DOI: 10.1007/s40858-022-00495-z. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40858-022-00495-z>.

FATTORI, I. M.; SENTELHAS, P. C.; MARIN, F. R. Assessing the Impact of Climate Variability on Asian Rust Severity and Soybean Yields in Different Brazilian Mega-Regions. **International Journal of Plant Production**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 17-28, 2022. DOI: 10.1007/s42106-021-00169-x. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42106-021-00169-x>.

**IPCC. Summary for Policymakers: Climate Change 2022\_ Impacts, Adaptation and Vulnerability\_ Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** [s.l: s.n.].

MARIN, Fábio; NASSIF, Daniel S. P. Climate change and the sugarcane in Brazilian: Physiology, conjuncture and future scenario. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 232-239, 2013. DOI: 10.1590/S1415-43662013000200015.

MESQUINI, R. M. Componentes monocíclicos e quantificação de danos no patossistema *Corynespora cassiicola* - soja. p. 1-93, 2012.

NEWBERRY, Fay; QI, Aiming; FITT, Bruce DL. Modelling impacts of climate change on arable crop diseases: progress, challenges and applications. **Current Opinion in Plant Biology**, [S. l.], v. 32, p. 101-109, 2016. DOI: 10.1016/j.pbi.2016.07.002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2016.07.002>.

**Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA.** Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>.

VALERIANO, Taynara Tuany Borges; DE SOUZA ROLIM, Glauco; MANICI, Luisa Maria; GIUSTARINI, Laura; BREGAGLIO, Simone. A process-based model to simulate sugarcane orange rust severity from weather data in Southern Brazil. **International Journal of Biometeorology**, [S. l.], v. 65, n. 12, p. 2037-2051, 2021. DOI: 10.1007/s00484-021-02162-5.



# SISAL: ESTUDO DA SITUAÇÃO DA CULTURA NO ESTADO DO CEARÁ EM CENÁRIOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

**Maria Fernanda da Silva Vieira <sup>1</sup>; Joaquim Branco de Oliveira <sup>2</sup>; Pedro Felipe Soares Lima <sup>3</sup>; Mairton Oliveira de Lima <sup>4</sup>; Igor Oliveira da Silva <sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Discente. Iguatu. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará; <sup>2</sup>Docente. Iguatu. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará; <sup>3</sup>Discente. Iguatu. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará; <sup>4</sup>Discente. Iguatu. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará; <sup>5</sup>Discente. Iguatu. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

## RESUMO

O sisal desempenha um papel fundamental como cultura agrícola de destaque, especialmente em regiões com escassez hídrica, destacando-se por sua notável capacidade de adaptação em ambientes semiáridos. O objetivo central deste estudo é realizar uma análise do zoneamento da cultura do sisal, considerando diferentes cenários de alterações climáticas, no estado do Ceará. Nessa abordagem, são consideradas as perspectivas otimistas e pessimistas relacionadas às mudanças climáticas. Foram gerados mapas de temperatura e precipitação tanto para o estado do Ceará como para seus estados vizinhos, como condição de contorno. Foram analisados seis cenários, um padrão, três cenários otimistas e 3 cenários pessimistas até 2040, 2070 e 2100 respectivamente. Em uma perspectiva mais otimista, é possível constatar que até o ano de 2040, o estado do Ceará não enfrentará perdas substanciais em termos de área adequada para o cultivo do sisal. No entanto, no cenário mais pessimista, observa-se que a maior parte do território cearense se tornará inapropriada para o cultivo do sisal até o ano de 2100. Aproximadamente 90% da extensão total do estado não oferecerá condições favoráveis para o cultivo de algodão em regime de sequeiro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Semiárido; Agave sisalana; Temperatura;;

## INTRODUÇÃO

O cultivo do sisal é considerado uma estratégia essencial para a economia da região do sertão nordestino, uma vez que a geração de empregos abrange integralmente todas as fases do processo, desde a produção agrícola até a etapa de industrialização. A exploração do sisal concentra-se, geralmente, em áreas de pequenos produtores, com predomínio do trabalho familiar, sendo, portanto, importante agente de fixação do homem à região semiárida nordestina; serve também como atividade de apoio à pecuária a nível das fazendas, pelo uso direto da planta na alimentação dos bovinos ou através da pastagem nativa nas áreas exploradas com a cultura (BANDEIRA; SILVA, 2006). O sisal é uma planta que se caracteriza por ser monocárpica, perene, plurianual e semixerófila. Tais características conferem à planta uma notável capacidade de resistência em face de secas prolongadas e elevadas temperaturas. Ao longo de sua evolução, diversas características foram desenvolvidas e mantidas nessa espécie, incluindo a redução na densidade de estômatos e a preservação do metabolismo fotossintético do tipo CAM. Como resultado de tais adaptações, o sisal demonstrou uma notável capacidade de ajustamento às condições semiáridas que são características da região nordeste do Brasil. O zoneamento edafoclimático constitui uma análise complementar que incorpora a avaliação da capacidade natural de uma determinada região para o cultivo de uma específica cultura. Para além das condições climáticas, essa análise também abrange fatores edáficos e pedológicos, que geralmente são avaliados na mesma escala do zoneamento agroclimático. Em contrapartida, o zoneamento agrícola de risco climático emprega métodos matemáticos e estatísticos para quantificar de forma precisa o potencial risco de prejuízos nas colheitas, com base em registros históricos de eventos climáticos adversos. Através dessa minuciosa investigação, é viabilizada a tomada de decisões mais acuradas, resultando na mitigação dos riscos associados a perdas econômicas.

## OBJETIVOS

Zonear a cultura do sisal para o Estado do Ceará em cenários de alterações climáticas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estado do Ceará está situado na região Nordeste do Brasil, delimitado pelo oceano Atlântico ao norte e nordeste, pelos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba ao leste, pelo estado de Pernambuco ao sul e pelo estado do Piauí ao oeste. O Ceará engloba 9,37% da área total da região Nordeste e abrange 1,74% da superfície total do país, compreendendo uma extensão territorial total de 148.920,472 km<sup>2</sup>. Exibindo predominantemente um clima de características semiáridas (BSh) e tropicais (As), o estado do Ceará apresenta índices pluviométricos inferiores a 500 mm em certas localidades, enquanto em outras áreas, essa quantidade pode alcançar até 1.000 mm. Nas zonas com clima semiárido mais ameno, como no Cariri, e nas localidades contíguas à faixa litorânea, observa-se temperaturas médias elevadas. Há uma pequena variação anual de aproximadamente 5°C, indo de cerca de 20°C nas altitudes mais elevadas até 28°C nas regiões mais quentes do interior. Para a obtenção de estimativas acuradas das médias, máximas e mínimas das temperaturas do ar, empregamos o método preconizado por Oliveira, Arraes e Viana (2013).

$$T_i = A_0 + A_1 \cdot h + A_2 \cdot h^2 + A_3 \cdot \lambda + A_4 \cdot \lambda^2 + A_5 \cdot \varphi + A_6 \cdot \varphi^2 + A_7 \cdot h \cdot \varphi + A_8 \cdot h \cdot \lambda + A_9 \cdot \varphi \cdot \lambda$$

T<sub>i</sub> - temperaturas normais médias mensais (i = 1, 2..., 12); e anual (i=13) estimadas

λ - longitude da estação (INMET) em graus e décimos (valores negativos);

φ - latitude da estação em graus e décimos (valores negativos);

h - modelo digital de elevação;

Para a aquisição dos dados relativos à precipitação pluviométrica, foram recolhidas informações provenientes de um total de 294 estações. Estas estações consistiram em postos pluviométricos e estações meteorológicas geridas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pela Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME) e pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), localizadas de maneira abrangente no território do Estado do Ceará, bem como em áreas vizinhas. Através de um processo de interpolação, os dados foram homogeneizados para a realização de simulações, sob os parâmetros de dois cenários delineados, conforme explicitado na Tabela 1.

Tabela 1: Cenários de chuva e temperatura avaliados

CENÁRIOS	PERÍODO	TEMPERATURA	CHUVA
Normais	1961-1990	Normais	Normais
B1 2040	Até 2040	+0,5 °C	-10%
B1 2070	2041 - 2070	+1,5 °C	-25%
B1 2100	2071 - 2100	+3,5 °C	-40%
A2 2040	Até 2040	+1,0 °C	-25%
A2 2070	2041 - 2070	+2,5 °C	-35%
A2 2100	2070 - 2100	+4,5 °C	-50%

\*Fonte: PBMC (2012)

Para a avaliação dos indicadores relacionados à temperatura e precipitação, tendo em vista a viabilidade do cultivo do sisal, foram empregadas as abordagens delineadas por Paulo Junior; Venzon (2007), MAPA (2020), Reas (2018) e Monteiro (2009). A partir dos dados obtidos relativos à temperatura e umidade registrados no âmbito do estado, procedeu-se à integração dessas informações no mapa, por meio da utilização do software de geoprocessamento Idrisi Selva®. Paralelamente, realizou-se a categorização das zonas em aptas, restritas e inaptas para o cultivo, de acordo com as definições dispostas na Tabela 2. Tabela 2: Faixa de aptidão da cultura do sisal, temperatura e índice de chuva.

Aptidão	Temperatura	Chuva
Apta	$20^{\circ}\text{C} < T_m < 28^{\circ}\text{C}$	$500 < Chv < 1250$
Restrita	$17^{\circ}\text{C} < T_m < 20^{\circ}\text{C} > 28^{\circ}\text{C}$	$350 < Chv < 500$
Inapta	$T_m < 17^{\circ}\text{C}$	$Chv < 350$

Os mapas de temperatura e chuva foram cruzados a fim de se obter as faixas de aptidão para a cultura.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estado do Ceará abrange um total de 13 sub-regiões, as quais, de maneira geral, apresentam uma estação chuvosa concentrada em meses específicos do ano, resultando em um clima semiárido. A irregularidade na distribuição das precipitações constitui um desafio significativo para as atividades agrícolas e para a disponibilidade de recursos hídricos na área. No entanto, é importante observar que o sisal é uma planta cultivada que demonstra resistência a altas temperaturas. Apesar dessa característica, é crucial realizar estudos aprofundados para compreender como as variações climáticas podem impactar essa cultura de maneira específica.

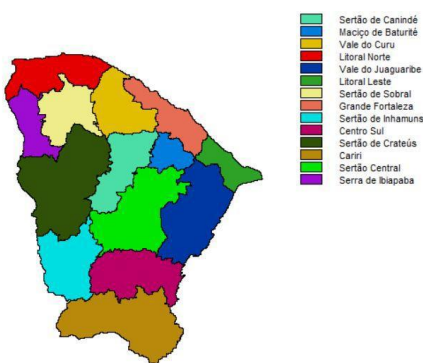


Figura 1: Sub-regiões do estado do Ceará.

Ao examinarmos os mapas subsequentes, é evidente que o quadro mais propício para o cultivo emerge no ano de 2040, no qual a maior parte do estado se revela adequada à produção de sisal. Por outro lado, em 2070, constata-se uma acentuada diminuição nas áreas propícias ao desenvolvimento, restringindo-se principalmente à região sul do estado, englobando apenas parte da região do Cariri e alguns locais isolados em todo o estado. Entretanto, o panorama que suscita maior preocupação para o estado emerge em 2100, no qual a maior parte do território estará limitada quanto ao cultivo, restando apenas diminutas porções de áreas viáveis para essa finalidade, ao passo que vastas extensões já se delineiam como impróprias.

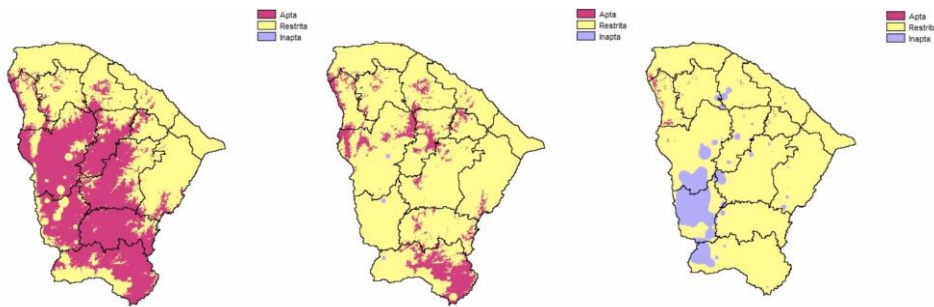


Figura 2: Cenários de

aptidão para a produção do sisal no Ceará A1 2040, 2070 e 2100.

No contexto do zoneamento, constata-se que a perspectiva mais otimista para o estado ocorre no ano de 2040. Nesse período, praticamente todas as regiões do estado exibem extensas áreas viáveis para a produção de sisal, com exceção da região do litoral leste. O ano de 2070 também revela um cenário positivo, com uma redução apenas pontual nas áreas propícias à produção, focando-se nas regiões do Sertão de Inhamuns e Crateús. Entretanto, à medida que se prevê um aumento nas temperaturas e uma diminuição nos índices pluviométricos, a maior apreensão para o estado emerge no ano de 2100. Nessa circunstância, uma parcela significativa do território se encontra restrita ou inapta para o cultivo, suscitando, assim, preocupações substanciais.

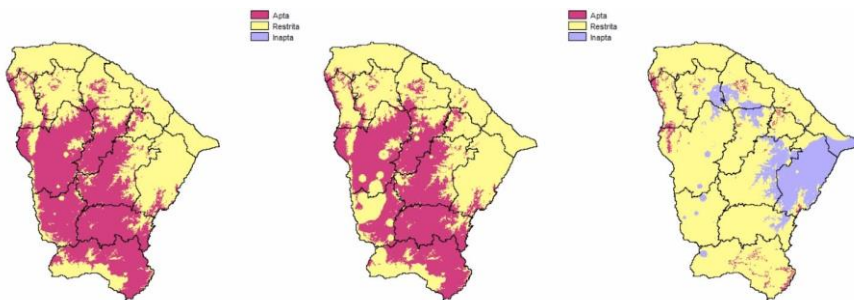


Figura 3: Cenários de aptidão para a produção do sisal no Ceará B2 2040, 2070 e 2100.

## CONCLUSÃO

Tanto no cenário mais otimista quanto no cenário mais pessimista, prevê-se que a maior parte do estado do Ceará estará inadequada para o cultivo de sisal em condições de sequeiro. No cenário mais desfavorável, até o ano de 2100, aproximadamente 90% da área do estado não apresentará condições adequadas para o cultivo de sisal em regime de sequeiro.

## REFERÊNCIAS

BANDEIRA, D.A.; SILVA, O.R.R.F. Aproveitamento de resíduos. In: ANDRADE, W. (org.). O sisal no Brasil. Salvador: SINDIFIBRAS; Brasília, DF. Apex, 2006. cap.5, p.56-61

COSTA, J. M. N.; ANTUNES, F. Z.; SANTANA, D. P. Zoneamento climático e planejamento agrícola. Informe Agropecuário, v. 12, n. 138, p. 14, 1986.

PAULA JÚNIOR, T. J.; VENZON, N. 101 culturas: manual de tecnologias agrícolas. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 800 p.

MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.) Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2009. 530 p.

RAES, D. et al. AquaCrop: reference manual. Rome: FAO, 2018. 87 p. (Annexes AquaCrop, version 6.0-6.1).

# CARACTERIZAÇÃO DA ESTAÇÃO CHUVOSA DA MICRORREGIÃO DE PORTO NACIONAL - TOCANTINS, BRASIL

**Vinicius Cirqueira dos Santos**<sup>1</sup>; **Roberta Araújo e Silva**<sup>2</sup>; **Girlene Figueiredo Maciel**<sup>3</sup>; **Pedro Paulo Jácome Ribeiro**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Discente do curso de graduação em Engenharia Ambiental. Quadra 109 Norte, Av. NS 15, ALCNO-14, Plano diretor Norte, 77001-090, Palmas/TO.. Universidade Federal do Tocantins; <sup>2</sup>Meteorologista do Laboratório de Meteorologia e Climatologia. Quadra 109 Norte, Av. NS 15, ALCNO-14, Bloco II, sala 40, Plano diretor Norte, 77001-090, Palmas/TO. Universidade Federal do Tocantins; <sup>3</sup>Docente do curso de graduação em Engenharia Ambiental. Quadra 109 Norte, Av. NS 15, ALCNO-14, Bloco II, sala 40, Plano diretor Norte, 77001-090, Palmas/TO. Universidade Federal do Tocantins

## RESUMO

A microrregião de Porto Nacional, principal centro econômico do Tocantins, se destaca também no cenário agrícola do estado, principalmente quanto à soja e milho em grãos, as culturas mais cultivadas em território tocantinense. Essa atividade está vinculada diretamente ao regime hidrológico, em especial durante a estação chuvosa, uma vez que o cultivo dessas culturas se dá em regime de sequeiro, sendo dependente completamente da chuva para satisfação da demanda hídrica das culturas. Diante desse cenário, o conhecimento sobre a estação chuvosa na microrregião de Porto Nacional é de suma importância para promoção de melhor eficiência e eficácia no manejo das culturas, bem como reduzir impactos ambientais vinculados à atividade. O objetivo do presente trabalho foi realizar uma caracterização da estação chuvosa dos municípios que compõem a microrregião de Porto Nacional, através de análise descritiva, assim como identificação de possíveis tendências na mesma. Os resultados apontaram que o início da estação chuvosa na região ocorre, em média, a partir da segunda quinzena do mês de novembro, enquanto o final da estação chuvosa ocorre, em média, na primeira quinzena do mês de maio. A estação chuvosa na microrregião dura, em média, cerca de 170 dias, apresentando média de precipitação acumulada total de 1.400 mm. Foi verificada presença de tendência para todos os parâmetros analisados, indicando - dessa forma - mudanças no padrão de distribuição da precipitação durante a estação chuvosa nessa região.

**PALAVRAS-CHAVE:** estação chuvosa; tendência; agricultura;;

## INTRODUÇÃO

O estado do Tocantins vem se destacando no cenário nacional como um grande produtor e exportador de grãos, sendo nesses quesitos o maior e mais promissor da região norte do país (SEAGRO, 2022). Nesse cenário insere-se a microrregião de Porto Nacional, o principal centro econômico do Tocantins, respondendo - também por uma das principais regiões agrícolas do estado (IBGE, 2019). Nessa área são realizados, principalmente, cultivos de grãos, sendo esses produzidos em regime de sequeiro, ou seja, diretamente dependentes do regime pluviométrico para satisfação das necessidades hídricas das plantas.

Referente às plantas herbáceas, incluindo nesse contexto a soja e o milho, a água é o mais importante constituinte do tecido vegetal, correspondendo por cerca de 90% dos seus pesos totais. A água participa de todos os processos bioquímicos e fisiológicos nessas plantas, agindo como solvente no transporte de minerais, gases e solutos, além de atuar como regulador térmico, mantendo e distribuindo o calor na planta (SEIXAS et al., 2020).

Exemplificativamente, segundo Seixas et al. (2020), a água é importante durante todo o ciclo da cultura da soja, destacando-se a fase de germinação e floração-enchimento dos grãos, com exceção à fase pós maturidade fisiológica dos grãos, momento esse na qual a ocorrência de chuvas prolongadas adia o processo de secagem, comprometendo - dessa maneira - a qualidade dos grãos e sementes. A cultura da soja demanda um volume total de água que varia entre 450 mm/ciclo e 800 mm/ciclo, enquanto a cultura do milho necessita de um volume total de água durante seu ciclo de 400 a 700 mm

(ANDRADE et al., 2006), sendo o correto manejo da água um dos elementos fundamentais para o não agravamento dos impactos ambientais decorrentes da atividade.

Diante do contexto da microrregião de Porto Nacional, sabendo que a data de início da estação chuvosa é um parâmetro agroclimático fundamental para regiões na qual se têm período seco bem delimitado (SILVA e FERREIRA, 2011) e partindo do pressuposto que está ocorrendo uma mudança no padrão de distribuição da precipitação durante a estação chuvosa na região, é de suma importância a realização de uma caracterização da estação chuvosa dessa área, bem como a identificação de possíveis tendências que possam ocorrer para a microrregião.

## **OBJETIVOS**

O presente trabalho apresenta por objetivo a realização de análise descritiva da estação chuvosa dos municípios que compõem a microrregião de Porto Nacional, bem como a identificação de tendência para cada parâmetro analisado por intermédio do método de análise de regressão.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Caracterização da área de estudo**

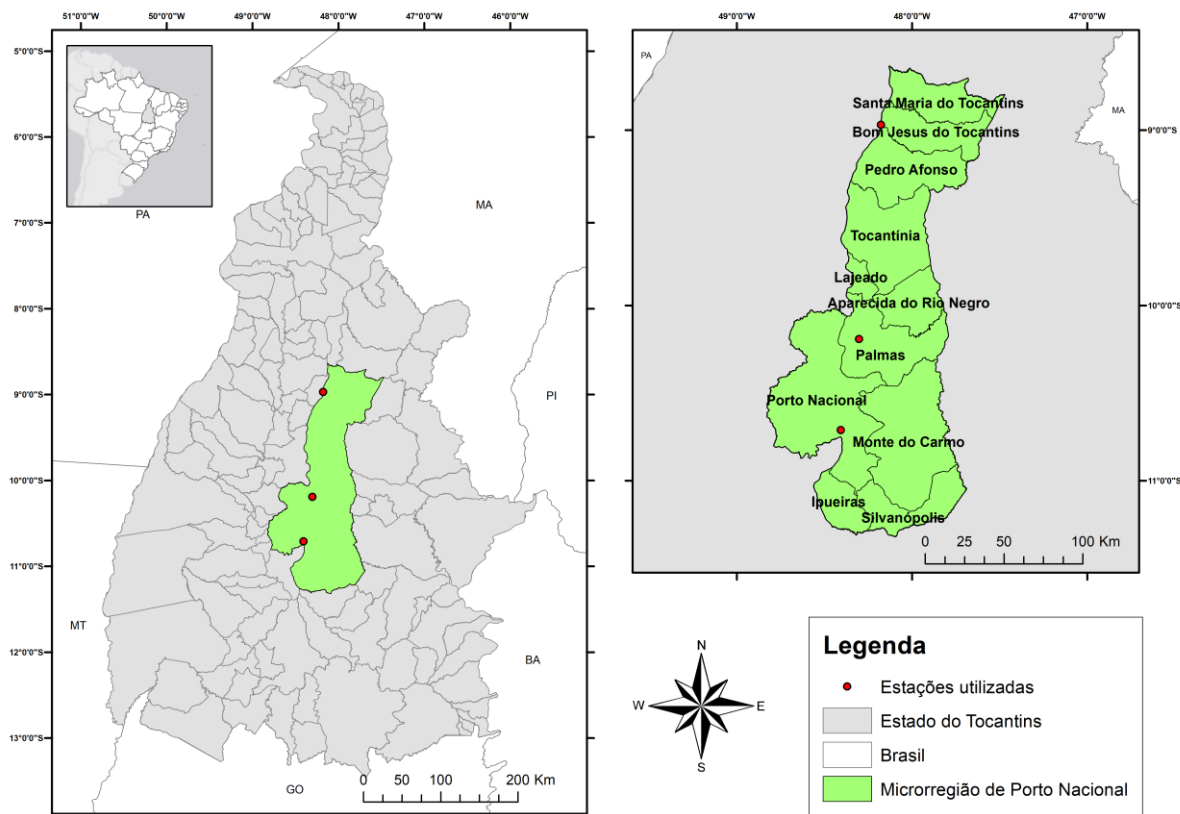
A microrregião de Porto Nacional (MRPN) abrange uma área de 21.189,06 Km<sup>2</sup>, sendo a 7ª maior microrregião do estado do Tocantins, correspondendo cerca de 7,6% do seu território e englobando, no total, 11 municípios, sendo eles: Aparecida do Rio Negro, Bom Jesus do Tocantins, Ipueiras, Lajeado, Monte do Carmo, Palmas, Pedro Afonso, Porto Nacional, Santa Maria do Tocantins, Silvanópolis e Tocantínia (NASCIMENTO, SOUZA e OLIVEIRA, 2021).

Embora a MRPN apresente extensão reduzida frente às demais microrregiões que compõem o estado, quanto às culturas agrícolas de milho e soja, notadamente as mais produzidas no estado (CONAB, 2021), ocupa posição de destaque no cenário do Tocantins. Referente à safra de 2016 a 2017, foi responsável pela produção de 144.416 toneladas de milho em grão, de acordo com o último Censo Agropecuário realizado pelo IBGE (IBGE, 2019), correspondendo por cerca de 19,7% de todo o total produzido pelo estado na respectiva safra, sendo destaque o município de Porto Nacional, atribuído à 26,5% desse quantitativo. Referente à soja, para a safra supracitada, foi responsável pela produção de 368.821 toneladas, correspondendo por cerca de 19,0% do total produzido pelo estado para o período, sendo também ressaltado a participação do município de Porto Nacional, responsável pela produção de 28,8% do total produzido pela microrregião.

Referente à população habitante local, de acordo com o IBGE (2023), conta com uma população estimada de cerca de 415.942 habitantes, representando - dessa maneira - aproximadamente 28% da população total do estado. Desse quantitativo, cerca de 73% residem no município de Palmas, capital do estado do Tocantins.

O clima da área de estudo, de acordo com a classificação climática de Thornthwaite, é classificado como C2wA'a1 - clima subúmido, com deficiência de água moderada no Inverno (SEFAZ, 2019), estando essa área totalmente sob domínio do bioma cerrado (SEPLAN, 2013), esse considerado o berço das águas do país.

Posto isto, para a realização do presente estudo foram utilizados dados de precipitação diários provenientes de três estações meteorológicas convencionais pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas nos municípios de Palmas (Cód. 83033), Pedro Afonso (Cód. 82863) e Porto Nacional (Cód. 83064), conforme Figura 1.



**Figura 1:** Área de estudo e localização das estações meteorológicas utilizadas.

Os dados obtidos foram posteriormente organizados e tratados em planilhas utilizando o *software* Microsoft Office Excel. Para realização dos cálculos de caracterização da estação chuvosa e de cálculos para detecção de tendências utilizou-se o mesmo software. Como mecanismo de filtragem de dados, optou-se por utilizar o critério proposto por Teixeira (2010), eliminando intervalos anuais que apresentam  $\geq 10\%$  de falhas, contínuas ou não, durante o período médio compreendido pela estação chuvosa para o bioma da região.

Foi verificada ausência significativa de dados para os anos compreendidos entre o intervalo de 1990 a 1996 para a estação localizada no município de Porto Nacional, logo as séries das estações chuvosas dos mencionados anos não foram utilizadas. Para a cidade de Pedro Afonso verificou-se ausência significativa de dados somente para o ano de 1978, descartando a série do mesmo nas análises subsequentes. Para Palmas não se verificou percentual  $\geq 10\%$  de falhas anuais.

### Caracterização da estação chuvosa

A definição da data do início da estação chuvosa (IEC) foi obtida através do critério proposto por Sansigolo (1989), considerando a primeira data após determinada data específica, em que ocorreu 20 mm de chuva em dois dias consecutivos, desde que não ocorra períodos secos superiores a sete dias durante os 30 dias subsequentes. Como a região está completamente inserida dentro do bioma de Cerrado (SEPLAN, 2013), apresenta como característica a concentração das chuvas no verão do hemisfério Sul.

A data do fim da estação chuvosa (FEC) considera o primeiro dia após a data de 1<sup>a</sup> de março, de uma sequência igual a 15 dias sem chuva. Essa data foi escolhida por ser a mais provável para regiões em que a estação chuvosa se concentra no verão.



Após o cálculo das datas inicial e final da estação foi calculada a duração da estação chuvosa (DEC), determinada para cada ano da série histórica, e em dias. A DEC é obtida pela diferença entre a data do FEC e o IEC, como mostra a Equação (1). Também será obtido os totais de precipitação durante a estação chuvosa (TPEC), obtendo assim uma análise climatológica da distribuição da precipitação na microrregião de Porto Nacional.

$$DEC = \begin{cases} (365 + (FEC - IEC)), \text{ ano não bissexto} \\ (366 + (FEC - IEC)), \text{ ano bissexto} \end{cases} \quad (1)$$

### Identificação e caracterização de tendência

A caracterização da tendência temporal foi alcançada traçando uma reta de regressão linear. A regressão linear é um modelo adequado para representar matematicamente o comportamento de uma variável dependente ( $y$ ) (a precipitação), em função de uma variável independente ( $x$ ) (anos), indicando se a relação entre elas é aproximadamente linear (TRIOLA, 2005).

$$y = a + bx \quad (2)$$

O coeficiente angular ( $b$ ) define o grau de inclinação da reta. Onde  $b > 0$  denota que a reta tem uma inclinação positiva e quando  $b < 0$ , a inclinação da reta é negativa.

Assim, em uma série temporal histórica, esse coeficiente irá indicar se a tendência é crescente (positiva) ou decrescente (negativa) no decorrer do tempo. O coeficiente angular também mostra se essa variação ocorre de maneira brusca ou suave.

Para verificação da significância estatística do coeficiente angular (inclinação da reta), do modelo de regressão, foi utilizada a estatística  $t$  de Student. O teste de hipótese para a inclinação da reta baseia-se na hipótese nula ( $\beta = 0$ ) que não há tendência (TRIOLA, 2005).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O período analisado para Porto Nacional foi de 1961-1969, 1971-1989 e 1997-2021, totalizando 53 anos. Para Pedro Afonso, o período analisado foi 1977, 1979-1999 e 2001-2021, totalizando 43 anos. E, por último, para Palmas foi analisado o período de 1995 a 2021, totalizando 27 anos. A ausência dos anos de 1970 e 2000 nos municípios de Porto Nacional e Pedro Afonso, respectivamente, ocorreu porque não foi possível aplicar a metodologia proposta para a identificação do início da estação chuvosa, possivelmente por episódios de veranicos.

Os valores de IEC obtidos a partir da metodologia aplicada para cada ano do período analisado são visíveis na Figura 2. Verifica-se que o IEC na MRPN acontece a partir da segunda quinzena do mês de novembro. Sendo que o IEC mais precoce ocorre no município de Palmas, no dia 16 de novembro (dia juliano 320). Seguido por Pedro Afonso, com IEC ocorrendo no dia 19 de novembro (dia juliano 323) e, por fim, Porto Nacional, na qual esse ocorre no dia 26 de novembro, sendo esse o IEC mais tardio. Dentre os municípios analisados, Pedro Afonso foi o que apresentou o início da EC mais precoce e tardia, 13 de setembro do ano de 1982 e 28 de fevereiro do ano de 1991, respectivamente, conforme Tabela 1.

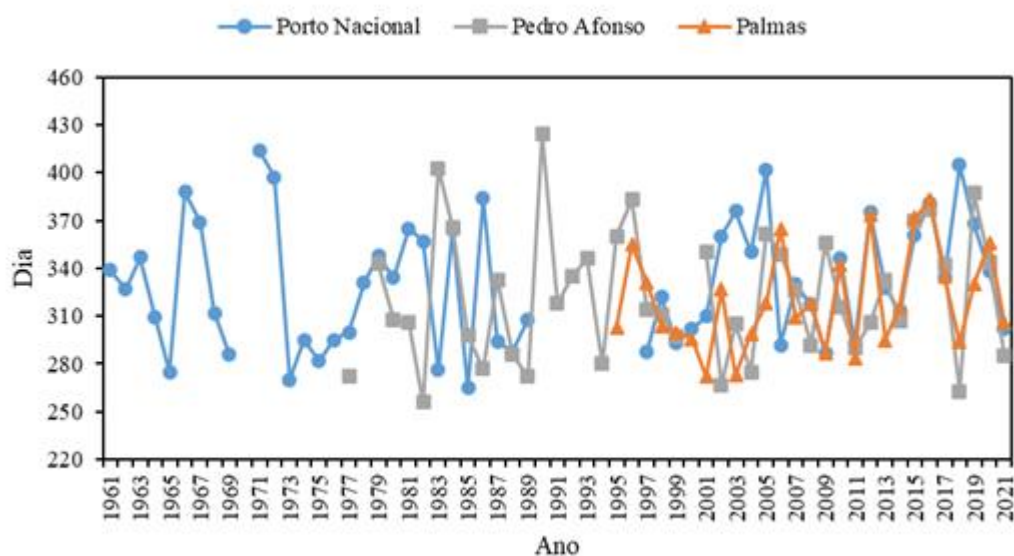
O menor desvio padrão para a data de início de plantio compatível com a data de início das chuvas foi verificado para a cidade de Palmas (cerca de 31 dias), enquanto o maior desvio padrão foi verificado para a cidade de Pedro Afonso (cerca de 41 dias), configurando-se - dessa maneira - como dispersões de magnitude médias em relação às respectivas médias. Referente ao coeficiente  $b$ , esse

foi de 1,11 para Palmas, 0,30 para Pedro Afonso e 0,26 para Porto Nacional. Indicando tendência de atraso no IEC para todos os três municípios analisados.

**Tabela 1:** Análise descritiva do IEC para a microrregião de Porto Nacional (MRPN).

Município	Média (dia juliano)	Desvio Padrão (dias)	Mínimo (dia juliano)	Máximo (dia juliano)	<i>b</i>
Palmas	320,1 (16/11)	31,4	272 (29/09)	383 (17/01)	1,11
Pedro Afonso	323,0 (19/11)	40,6	256(13/09)	424 (28/02)	0,30
Porto Nacional	330,0 (26/11)	39,4	265(22/09)	414 (18/02)	0,26

Fonte: Os autores (2023)



**Figura 2:** Variabilidade interanual do Início da Estação Chuvosa (IEC) para Porto Nacional - linha sólida azul, Pedro Afonso - linha sólida cinza e Palmas - linha sólida laranja.

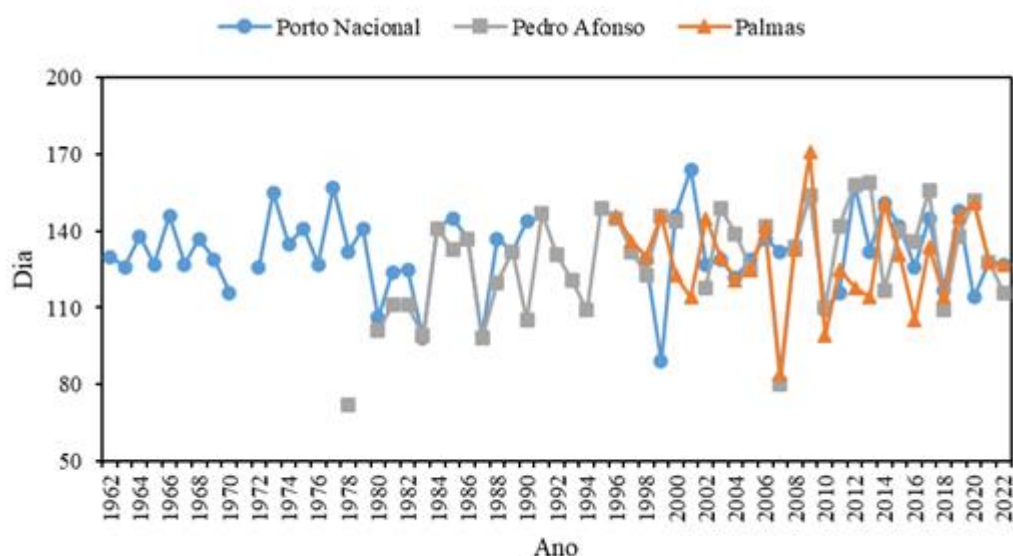
Referente ao FEC, verificou-se que as datas médias prováveis para a MRPN ocorrem na primeira quinzena do mês de maio (Figura 3). Em Palmas ocorre - em média - no dia 09 de maio (dia juliano 129), 08 de maio para Pedro Afonso (dia juliano 128) e 12 de maio para Porto Nacional (dia juliano 132). O FEC mais precoce para o período analisado ocorreu no município de Pedro Afonso, sendo 13 de março do ano de 1978, enquanto o final mais tardio da EC ocorreu no município de Palmas, dia 20 de junho de 2009, conforme Tabela 2.

O menor desvio padrão de FEC foi observado para os dados de Porto Nacional (cerca de 15 dias), enquanto o maior desvio padrão foi identificado para a série de Palmas (cerca de 21 dias), caracterizando-se - dessa maneira, como de média magnitude. Quanto aos coeficientes *b*, esse foi de -0,14 para Palmas, 0,63 para Pedro Afonso e 0,01 para Porto Nacional. Consequentemente, as tendências verificadas indicam acréscimo, ou seja, prolongamento no dia final da estação chuvosa, para os municípios de Pedro Afonso e Porto Nacional, denotando, dessa forma, que há tendência de término da EC cada vez mais tarde para essas cidades. Por outro lado, verificou-se tendência decrescente do FEC para o município de Palmas, traduzindo-se em uma tendência de término da EC cada vez mais adiantado para a cidade.

**Tabela 2:** Análise descritiva do FEC para a microrregião de Porto Nacional (MRPN).

Município	Média (dia juliano)	Desvio Padrão (dias)	Mínimo (dia juliano)	Máximo (dia juliano)	<i>b</i>
Palmas	129,2 (09/05)	18,1	84 (25/03)	171 (20/06)	-0.14
Pedro Afonso	128,1 (08/05)	20,6	72 (13/03)	159 (08/06)	0.63
Porto Nacional	131,8 (12/05)	15,3	89 (30/03)	164 (13/06)	0.01

Fonte: Os autores (2023)



**Figura 3:** Variabilidade interanual do Final da Estação Chuvosa (FEC) para Porto Nacional - linha sólida azul, Pedro Afonso - linha sólida cinza e Palmas - linha sólida laranja.

A DEC média na MRPN é de 170 dias, como mostra a Figura 4. A maior duração da estação chuvosa - em média - ocorre em Palmas, cerca de 174 dias, seguida por Pedro Afonso, aproximadamente 170 dias, e por fim Porto Nacional, contando com 167 dias. A menor DEC identificada ocorreu em Porto Nacional, sendo de 77 dias (referente à EC do ano de 1971), enquanto a maior DEC ocorreu em Pedro Afonso, sendo de 247 dias (referente à EC do ano de 2002), conforme Tabela 3.

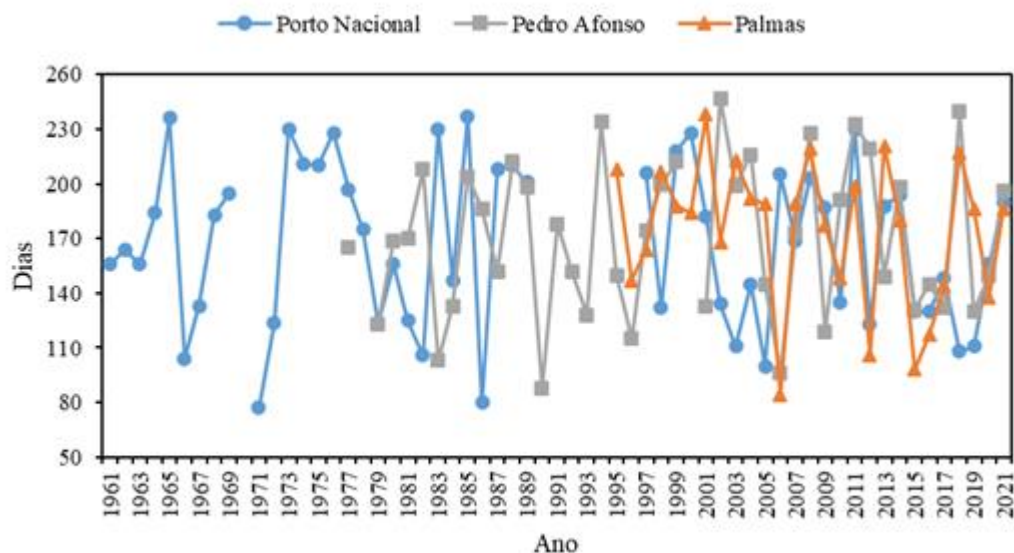
Quanto aos desvios-padrão, esses foram superiores a 30 dias, sendo o máximo valor de desvio encontrado para Porto Nacional, cerca de 45 dias, enquanto o mínimo valor de desvio padrão foi encontrado para Palmas, sendo de 40 dias, caracterizando-se - dessa maneira, como de alta magnitude. Relativo ao coeficiente *b*, esse foi de -1,25 para Palmas e de -0,24 para Porto Nacional, sendo que, em contrapartida, foi verificado coeficiente *b* de 0,33 para a DEC do município de Pedro Afonso. Esses valores indicam que a DEC apresenta tendência decrescente em Palmas e Porto Nacional, ou seja, está diminuindo a duração da EC desses municípios. Em Pedro Afonso verifica-se pequena tendência de aumento na duração da EC.

**Tabela 3:** Análise descritiva da DEC para a microrregião de Porto Nacional (MRPN).

Município	Média (dias)	Desvio Padrão (dias)	Mínimo (dias)	Máximo (dias)	<i>b</i>
-----------	--------------	----------------------	---------------	---------------	----------

Palmas	174,3	40,0	84	238	-1,25
Pedro Afonso	170,3	42,1	88	247	0,33
Porto Nacional	167,0	44,5	77	237	-0,24

Fonte: Os autores (2023)



**Figura 4:** Variabilidade interanual da Duração da Estação Chuvosa (DEC) para Porto Nacional - linha sólida azul, Pedro Afonso - linha sólida cinza e Palmas - linha sólida laranja.

Durante a EC de MRPN chove - em média - 1400 mm. A maior média de TPEC verificada para o período analisado foi observada no município de Palmas, contando com 1567,6 mm, seguido por Pedro Afonso, com 1383,8 mm e, apresentando a menor média, Porto Nacional, com 1308,0 mm. Os valores de TPEC para cada ano, do período analisado são visíveis na Figura 5. O valor mínimo de TPEC observado para as séries analisadas ocorreu em Porto Nacional, sendo de 525,0 mm (referente à estação chuvosa do ano de 1971), enquanto o valor máximo do mesmo parâmetro foi observado para Palmas, sendo de 2397,5 mm (referente à EC do ano de 1999), conforme Tabela 4.

Quanto aos desvios-padrão, o menor valor verificado corresponde ao município de Pedro Afonso, 349,3 mm, enquanto o maior valor foi verificado para a cidade de Palmas, 387,6 mm, caracterizando-se - dessa maneira - como de alta magnitude, indicando alta variabilidade anual nos acumulados de precipitação. Quanto aos coeficientes *b*, constatou-se os valores de -1,45 e -15,76 para Porto Nacional e Palmas, nessa ordem, sendo que - em contrapartida - foi constatado coeficiente *b* de 1,75 para Pedro Afonso. Dessa forma, verifica-se tendência de decréscimo no TPEC em Palmas e Porto Nacional, enquanto em Pedro Afonso a tendência é de aumento no TPEC.

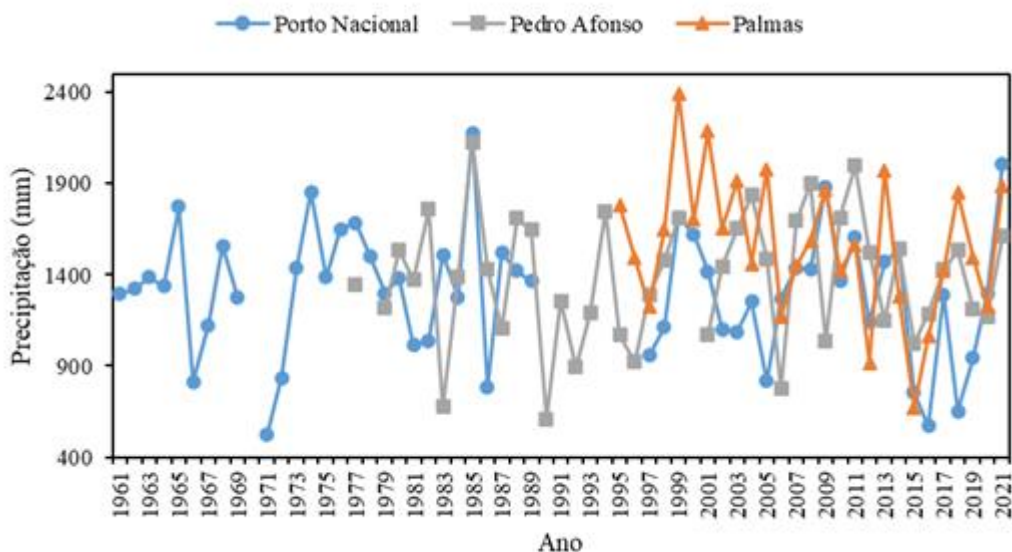
**Tabela 4:** Análise descritiva do TPEC para a microrregião de Porto Nacional (MRPN).

Município	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	<i>b</i>
Palmas	1567,6	387,6	674,2	2397,5	-15,76*
Pedro Afonso	1383,8	349,3	609,1	2129,0	1,75

Porto Nacional	1308,0	355,2	525,0	2177,7	-1,45
----------------	--------	-------	-------	--------	-------

\*tendência estatisticamente significativa

Fonte: Os autores (2023)



**Figura 5:** Variabilidade interanual do Total de Precipitação durante a Estação Chuvosa (TPEC) para Porto Nacional - linha sólida azul, Pedro Afonso - linha sólida cinza e Palmas - linha sólida laranja.

## Discussões

Embora suas sedes locais estejam aproximadamente 70 quilômetros de distância, os resultados indicaram uma diferença verificável para a média de IEC entre os municípios de Palmas e Porto Nacional, sendo essa de aproximadamente 10 dias. Referente a Pedro Afonso, localizada à cerca de 170 km da capital do estado, uma sutil diferença foi verificada em relação a Palmas.

A verificação de coeficientes  $b$  positivos para todas as séries de IEC denota que há tendência de atraso no dia de início da estação chuvosa para todos os municípios analisados. Butt, De Oliveira e Costa (2011) verificaram resultado parecido ao analisarem os efeitos do desmatamento no início da estação chuvosa de Rondônia, Brasil. Lukovi? et al. (2021), sugeriram que o atraso no início da estação chuvosa observado para o estado da Califórnia (2021), foi um dos elementos precursores para o aumento de focos de incêndios florestais na região, devendo esse fato ser levado em consideração para o contexto do cerrado.

Referente ao fim médio da estação chuvosa, o comportamento verificado foi mais homogêneo - em comparação com o IEC, sendo a variação máxima verificada de 3 dias entre Pedro Afonso e Porto Nacional. Nota-se, no geral, maior semelhança entre os respectivos dados, sendo que tal fato, provavelmente, ocorre devido ao período de transição entre a EC e a estação seca apresentar condições atmosféricas mais estáveis.

Relativo à DEC, foi verificada tendência de decréscimo para a duração das estações chuvosas de Palmas e Porto Nacional, demonstrando que há inclinação de que a EC nesses municípios dure cada vez menos. Por outro lado, para o município de Pedro Afonso foi verificada tendência de acréscimo na DEC, ou seja, há tendência de que a EC no município dure cada vez mais, indo em divergência ao encontrado para as demais cidades da microrregião. Embora seja notada grande variação de dados para esse parâmetro, as respectivas médias municipais se mantiveram próximas a 170 dias.

Pertinente ao TPEC, foi verificado maior valor para o município de Palmas, sendo a respectiva média 12% e 17% superior às médias de Pedro Afonso e Porto Nacional, nessa ordem. Tal fato pode estar relacionado com a presença, às margens da capital do estado, do lago da Usina Hidroelétrica Luís Eduardo Magalhães (UHE Lajeado), majoritariamente mais presente - quanto à extensão do espelho d'água - em relação à demais municípios também margeados por ele. A retirada da vegetação nativa muda o balanço de energia do local e a componente do ciclo hidrológico, provocando alterações no regime pluviométrico (CAMPOS e CHAVES, 2020). Outro fator a se considerar é a presença da Serra do Lajeado, inteiramente inserida no domínio de Palmas, o que pode favorecer a formação de chuvas orográficas na região.

Complementarmente, os municípios de Porto Nacional e Palmas apresentaram tendência de decréscimo no total precipitado durante a EC, sendo a do último significativamente estatística, corroborando os resultados obtidos por Campos e Chaves (2020) e Salazar et al (2016) para o bioma cerrado. Pedro Afonso, de outra forma, apresentou tendência de acréscimo no total precipitado durante a estação chuvosa.

Butt, De Oliveira e Costa (2011); Salazar et al. (2016); Ferijal, Batelaan e Shanafield (2021) sugerem que umas das possíveis causas da redução do volume de precipitação seja o aumento do desmatamento, uma vez que ele está diretamente associado à diminuição na taxa de evapotranspiração, incidindo de maneira direta sobre o ciclo hidrológico e a temperatura. Destaca-se que, de acordo com Rocha e Nascimento (2021), cerca de 41,3% da cobertura natural de todo o bioma Cerrado já se encontra convertida para uso antrópico.

Dessa forma, não foi verificado comportamento homogêneo para nenhum dos parâmetros da estação chuvosa analisados. Sendo as principais culturas agrícolas cultivadas na área dependentes da precipitação pluviométrica para satisfação das necessidades hídricas, verifica-se para as cidades de Palmas e Porto Nacional condições adversas a longo prazo.

## **CONCLUSÃO**

O início da estação chuvosa se dá, em média, no dia 16 de novembro para o município de Palmas, 19 de novembro para Pedro Afonso e 26 de novembro para Porto Nacional. O Final da EC ocorre, em média, no dia 08 de maio para a cidade de Pedro Afonso, 09 de maio para Palmas e 12 de maio para Porto Nacional.

A duração da estação chuvosa, em média, é de 167 dias para Porto Nacional, 170 dias para Pedro Afonso e de 174 dias para Palmas, sendo que o total médio acumulado de precipitação durante a EC é de 1308 mm para Porto Nacional, 1384 mm para Pedro Afonso e 1568 mm para Palmas.

Há tendência de atraso no dia de início da estação chuvosa para todos os municípios analisados. Para a data de fim da estação chuvosa, há tendência de atraso para as cidades de Pedro Afonso e Porto Nacional e tendência de antecipação para Palmas.

Há presença de tendência de encurtamento para a duração da estação chuvosa de Palmas e Porto Nacional e tendência de dilação da estação chuvosa para a cidade de Pedro Afonso. Para o total precipitado durante a EC, há presença de tendência de redução para Palmas e Porto Nacional e tendência de aumento para Pedro Afonso.

Dessa maneira, fica evidente a mudança nas características da estação chuvosa da MRPN, reafirmando outros resultados obtidos por outros pesquisadores para demais regiões do globo. Esses resultados também apontam aumento da duração da estação seca.

Outrossim, recomenda-se a realização de um estudo de análise interanual referente à presença de períodos de estiagem durante a estação chuvosa (veranicos) para a microrregião de Porto Nacional, bem como a identificação de possível tendência, tendo em vista os seus impactos em culturas de sequeiro.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC).

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Camilo de Lelis T.; PEREIRA, Paulo Emílio; BRITO, Ricardo Augusto Lopes; RESENDE, Morethson. Circular Técnica: Viabilidade e Manejo da Irrigação da Cultura do Milho. n. 85. Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo, 2006. Disponível em: <[https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/19629/1/Circ\\_85.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/19629/1/Circ_85.pdf)>. Acesso em: 15 jul. 2023.
- BUTT, Nathalie; DE OLIVEIRA, Paula Afonso; COSTA, Marcos Heil. Evidence that deforestation affects the onset of the rainy season in Rondonia, Brazil. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 116, n. D11, 2011. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2010JD015174>>. Acesso em: 10 jul. 2023.
- CAMPOS, Juliana de Oliveira; CHAVES, Henrique Marinho Leite. Tendências e Variabilidades nas Séries Históricas de Precipitação Mensal e Anual no Bioma Cerrado no Período 1977-2010. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 35, n. 01, 157-169, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/LWsT56M5MGDt4NmN7ZBSQhh/?lang=pt&format=html&stop=next>>. Acesso em: 01 jul. 2023.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. TOCANTINS - Produção de grãos na safra 2021/22 tende a superar 5,5 milhões de toneladas no estado. [S.l.], 2021. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4432-tocantins-producao-de-graos-na-safra-2021-22-tende-a-superar-5-5-milhoes-de-toneladas-no-estado#:~:text=Soja%20e%20milho%20s%C3%A3o%20os%20principais%20produtos%20cultivados%20no%20estado.>>. Acesso em: 10 maio 2023.
- FERIJAL, Teuku; BATELAAN, Okke; SHANAFIELD, Margaret. Spatial and temporal variation in rainy season droughts in the Indonesian Maritime Continent. *Journal of Hydrology*, v.604, 2021. Disponível em: <[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169421010490?casa\\_token=zilqzMLFfqA AAAA:BNFAOouUmQQ3yhrvBE1tYIDuak3DD9h8ew6YUZgTolNrhddIUWHEXbxGOH8rBynTN\\_\\_njHxIUw8](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169421010490?casa_token=zilqzMLFfqA AAAA:BNFAOouUmQQ3yhrvBE1tYIDuak3DD9h8ew6YUZgTolNrhddIUWHEXbxGOH8rBynTN__njHxIUw8)>. Acesso em: 26 jun. 2023.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2102011>>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEPGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário 2017. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <[https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo\\_agro/resultadosagro/index.html](https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html)>. Acesso em: 01 jul. 2023.

LUKOVIĆ, Jelena; CHIANG, John C. H.; BLAGOJEVIĆ, Dragan; SEKULIĆ, Aleksandar. A Later Onset of the Rainy Season in California. **Geophysical Research**, v. 48, n. e2020GL090350, 2021. Disponível em: < <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1029/2020GL090350>>. Acesso em: 20 maio 2023.

NASCIMENTO, Renan Loureiro Xavier; SOUZA, Camilo Cavalcante de; OLIVEIRA, Marcos Antonio das Neves de. Caderno de Caracterização Estado do Tocantins. Brasília, DF: Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba - CODEVASF, 2021. Disponível em: < <https://www.codevasf.gov.br/aceso-a-informacao/institucional/biblioteca-geral-rocha/publicacoes/outras-publicacoes/caderno-de-caracterizacao-estado-do-tocantins.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2023.

ROCHA, Maíra Ialê Savioli; NASCIMENTO, Diego Tarley Ferreira. Distribuição espaço-temporal das queimadas no bioma Cerrado (1999/2018) e sua ocorrência conforme os diferentes tipos de cobertura e uso do solo. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 03, 1220-1235, 2021. Disponível em: < <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/download/244925/38744>>. Acesso em: 01 jun. 2023.

SALAZAR, Álvaro; KATZFEY, Jack; THATCHER, Marcus; SYKTUS, Josef; WONG, Kenneth; MCALPINE, Clive. Deforestation changes land-atmosphere interactions across South American biomes. *Global and Planetary Change*, v. 139, p. 97-108, 2016. Disponível em: < [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818116300157?casa\\_token=MOklAe-VWNwAAAA:2MB3nf7ip2wKQgezT3wGIA4So86k-VWlWGoCIFReD1DLDiQjAf9-IWVI4ldj6e0CpFDIjK5kGs](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818116300157?casa_token=MOklAe-VWNwAAAA:2MB3nf7ip2wKQgezT3wGIA4So86k-VWlWGoCIFReD1DLDiQjAf9-IWVI4ldj6e0CpFDIjK5kGs)>. Acesso em: 15 jul. 2023.

SANSIGOLO, Clovis Angeli. Variabilidade Interanual da estação chuvosa em São Paulo. *Climanálise, São Paulo*, v. 9, p. 40-43, 1989.

SEAGRO - SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E AQUICULTURA. **Agricultura**. [S.l.], 2022. Disponível em: < <https://www.to.gov.br/seagro/agricultura/4i8bn98apzb6>>. Acesso em: 10 maio 2023.

SEFAZ - SECRETARIA DA FAZENDA E PLANEJAMENTO. Regionalização climática. Palmas: SEFAZ, 2019. 1 mapa, color. Escala 1:1.000.000. Disponível em: < <https://central.to.gov.br/download/213266>>. Acesso em: 01 de jul. 2023.

SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. C. Sistema de Produção: Tecnologias de produção de soja. n. 17. Londrina: Embrapa Soja, 2020. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/223209/1/SP-17-2020-online-1.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2023.

SEPLAN - SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO. Regiões Fitoecológicas. Palmas: SEPLAN, 2013. 1 mapa, color. Escala 1:1.000.000. Disponível em: < [http://zoneamento.sefaz.to.gov.br/Mapas/TO\\_Mapas\\_Reg\\_Fitoecologicas/Tocantins/Vegetacao\\_TO\\_2013.pdf](http://zoneamento.sefaz.to.gov.br/Mapas/TO_Mapas_Reg_Fitoecologicas/Tocantins/Vegetacao_TO_2013.pdf)>. Acesso em: 01 maio 2023.

SILVA, Mariana Mendes; FERREIRA, Vanderlei de Oliveira. Estação Chuvosa e Ocorrência de Veranicos em Araçuaí, Itamarandiba e Pedra Azul, na Porção Mineira da Bacia do Rio Jequitinhonha. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 4, n. 5, p. 1068-1081, 2011. Disponível em: < <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/232715/26722>>. Acesso em: 30 maio 2023.



TEIXEIRA, Mateus da Silva. Caracterização física e dinâmica de episódios de chuvas intensas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, p. 219, 2010. Disponível em: < <http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2010/02.05.00.27/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

TRIOLA, Mário F. Introdução à Estatística. 9ª Edição. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2005.

# **VALIDATION OF CMIP6 MODELS FOR THE AGRICULTURAL REGIONS OF THE MATO GROSSO STATE AND MATOPIBA**

**Livia Maria Brumatti <sup>1</sup>; Nathan de Oliveira Neumann <sup>1</sup>; Gabrielle Ferreira Pires <sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Bolsista. Av. Peter Henry Rolfs, s/n, Viçosa, Minas Gerais. Universidade Federal de Viçosa; <sup>2</sup>Docente. Av. Peter Henry Rolfs, s/n, Viçosa, Minas Gerais. Universidade Federal de Viçosa

## **RESUMO**

Climate change has been affecting Brazilian agriculture in recent years, and it is predicted that its intensification could lead to more losses in the future. Climate risk assessment in agriculture is important to estimate the future impact and elaborate adaptation strategies to deal with climate change. To achieve good results, it is necessary to select the climate models that best represent the climate variables related to yield variability in a certain region. Then, this study aims to select the best Coupled Model Intercomparison Project 6 (CMIP6) models in the representation of rainy season patterns and total rainfall, as well as seasonal maximum and minimum temperatures, important climate parameters to the agriculture of Mato Grosso and MATOPIBA (agricultural region formed by municipalities of Maranhão, Tocantins, Piauí, and Bahia states). Our results demonstrate that most models simulated a delayed rainy season onset and early end in Mato Grosso, while most models simulated a delayed onset and end of the rainy season in MATOPIBA. In both regions, most models overestimated the total rainfall in the rainy season and underestimated the total rainfall of the dry season. Minimum and maximum monthly temperatures are poorly represented in MATOPIBA, while in Mato Grosso monthly temperatures are better represented in most models. To improve future climate risk assessment in these regions, it is recommended the application of techniques that reduce the models' bias such as dynamical or statistical downscaling and bias correction, since most models did not achieve a good representation of the climate variables studied here.

**PALAVRAS-CHAVE:** CMIP6; Rainy season; Temperature;;

## **INTRODUÇÃO**

Climate change has affected many sectors of the economy bringing several socioeconomic losses, and this is predicted to intensify in the future (IPCC, 2022). Estimating the future climate change impact is crucial to create adaptation strategies, preparing the society and sectors to its negative impacts. Climate models are usually used to predict these impacts in many possible future climate and socioeconomic scenarios.

Several studies estimated that Brazilian large-scale agriculture could be negatively affected by climate change in the future due to changes in rainfall patterns, droughts, and extremes temperatures (Pires et al., 2016; Brumatti et al., 2020; Rattis et al., 2021; Silva et al., 2023). Large-scale commodity agriculture is commonly practiced in the central Brazilian region, more specifically in Mato Grosso state and MATOPIBA (region formed by municipalities of Maranhão, Tocantins, Piauí, and Bahia states), with a prevalence of soybean and maize cultivated in double or multiple cropping systems.

In multiple cropping systems, the first crop is sowed during the beginning of the rainy season to allow the cultivation of more crops in the same area and agricultural year (Pires et al., 2016). Then, besides total rainfall and temperature that usually explain the yield variability (Ray et al., 2015; Hatfield 2015), the rainy season pattern also influences these systems' production, impacting the cropping frequency (Spangler et al., 2017; Abrahão and Costa, 2018).

In this way, to achieve a good future climate risk assessment in agricultural production in these regions it is necessary to select CMIP6 climate models that best represent the climate patterns such as rainy season onset and end, total rainfall in the rainy season, and crop growing season temperatures.

## OBJETIVOS

This study aims to select the CMIP6 models that best represent the onset, end, and duration of the rainy season, total rainfall of rainy and dry seasons, and monthly minimum and maximum temperatures for agricultural areas of Mato Grosso and MATOPIBA.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Study area

The study region was defined as in Brumatti et al. (2020), considering the pixels with at least 5% of its area with soybean in Mato Grosso state (MT) and MATOPIBA in 2016.

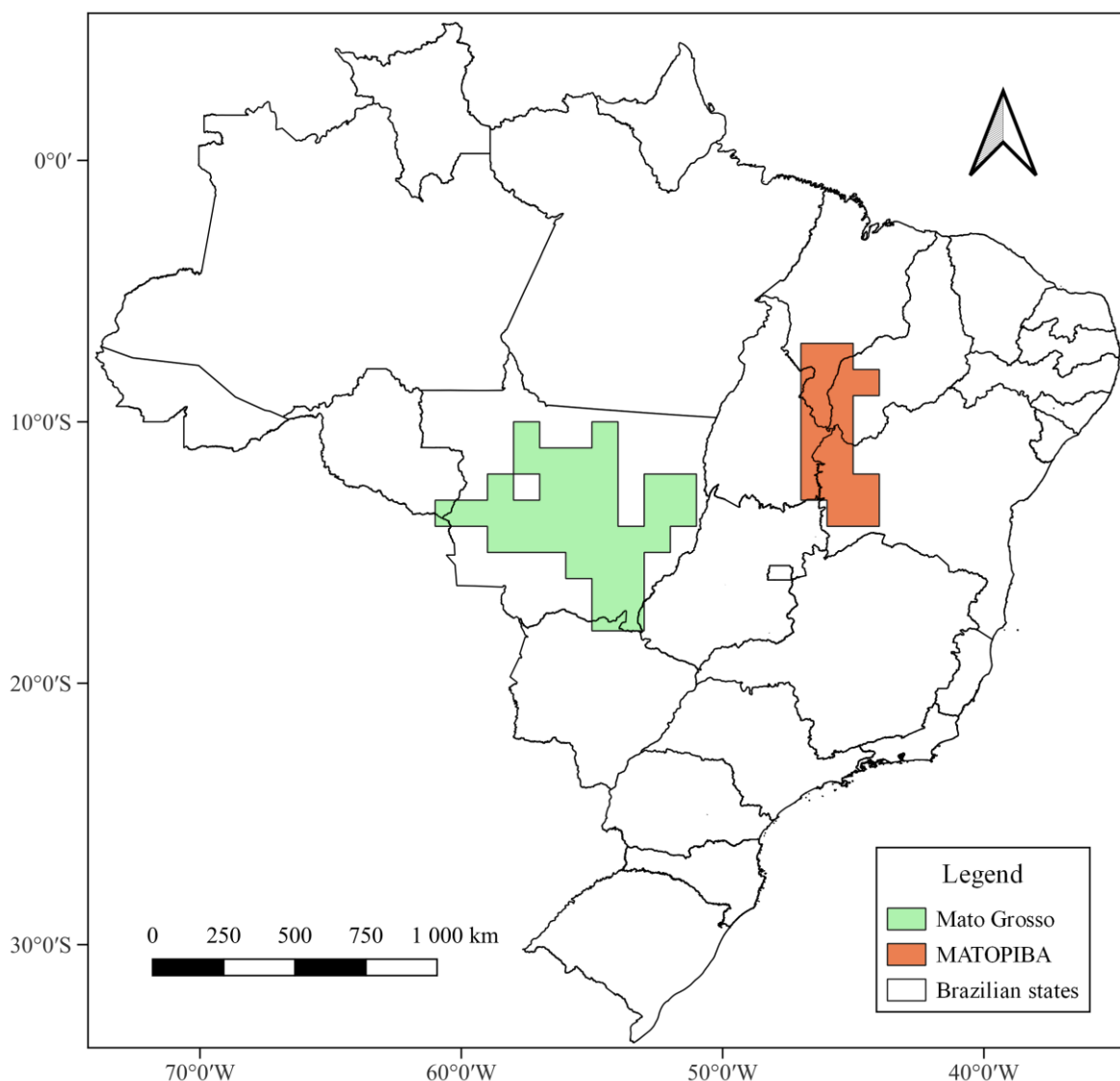


Figure 1 - Pixels with at least 5% of soybean planted area in 2016 in MT and MATOPIBA.

MT had the highest production of soybean in 2021 (IBGE, 2023), and MATOPIBA is a region that presented a rapid increase in soybean production in the last years. These regions stand out in soybean production due to the adoption of soy-maize double cropping systems and cropland expansion in the last years (Xu et al., 2021).

In these regions predominates the cultivation of double or multiple cropping systems during the same agricultural calendar, which is possible due to the long rainy season (Arvor et al., 2013; Abrahão and Costa, 2018) and technification in agriculture as machinery, expert labor, nutrients use, irrigation, and short-cycle and adapted cultivars. The sowing of the first crop occurs at the beginning of the rainy season to allow the cultivation of the other crops before the rains cease.

### Climate data

We selected the models with daily data of precipitation, minimum and maximum temperatures for historical, SSP1-2.6, and SSP3-7.0 scenarios in May of 2021. This selection resulted in 21 models described in Table 1. We prioritize the selection of the *rlilplfl* variant label. The horizontal resolution of models ranged from  $0.7^\circ \times 0.7^\circ$  to  $2.8^\circ \times 2.8^\circ$  and was converted to  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  using the largest area fraction method to match the resolution of observed data.

We used the Xavier et al. (2016) dataset to validate the seasonal precipitation, minimum and maximum temperatures of models. This dataset was constructed from the interpolation of meteorological stations data from *Agência Nacional de Águas (ANA)*, *Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAAE)*, and *Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)*. The data is available for all Brazilian territory in  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  horizontal resolution from 1961 to 2016.

To validate the models' data with Xavier et al. (2016) we selected a period of 34 years from 1980 to 2014.

**Table 1** - CMIP6 models information's

Models	Country	Horizontal resolution (lat × lon)
ACCESS-CM2	Australia	$1.25^\circ \times 1.87^\circ$
ACCESS-ESM1-5	Australia	$1.25^\circ \times 1.87^\circ$
BCC-CSM2-MR	China	$1.13^\circ \times 1.13^\circ$
CanESM5	Canada	$2.79^\circ \times 2.81^\circ$
CMCC-ESM2	Italy	$0.94^\circ \times 1.25^\circ$
CNRM-CM6-1	France	$1.40^\circ \times 1.40^\circ$
CNRM-ESM2-1	France	$1.40^\circ \times 1.40^\circ$
EC-Earth3	Europe	$0.70^\circ \times 0.70^\circ$
EC-Earth3-Veg	Europe	$0.70^\circ \times 0.70^\circ$
EC-Earth3-Veg-LR	Europe	$1.12^\circ \times 1.12^\circ$
GFDL-ESM4	USA	$1.00^\circ \times 1.25^\circ$
INM-CM4-8	Russia	$1.50^\circ \times 2.00^\circ$
INM-CM5-0	Russia	$1.50^\circ \times 2.00^\circ$

IPSL-CM6A-LR	France	1.27° × 2.50°
MIROC6	Japan	1.41° × 1.41°
MIROC-ES2L	Japan	2.80° × 2.80°
MPI-ESM1-2-HR	Germany	0.94° × 0.94°
MPI-ESM1-2-LR	Germany	1.87° × 1.87°
MRI-ESM2-0	Japan	1.13° × 1.13°
NorESM2-LM	Norway	1.90° × 2.50°
NorESM2-MM	Norway	0.94° × 1.25°

### Calculation of the onset, end, and duration of rainy season

The onset, end, and duration of the rainy season were estimated using the Anomalous Accumulation (AA) method (Arvor et al., 2013; Abrahão and Costa, 2018). The AA consists of the sum of the anomalies of daily rainfall and a reference value (considered as 2.5 mm.dia<sup>-1</sup>, because it is the soybean water demand at the beginning of the vegetative phase) (Equation 1) (Abrahão and Costa, 2018). The annual data started on July 1 and ended on June 30 of the following year (Abrahão and Costa, 2018). The onset and end of the rainy season are the minimum and maximum values of AA in each year, and the rainy season duration is the number of days between the onset and end.

$$AA(t) = \sum_{n=1}^t (R(n) - Rref) \quad \text{Eq. (258)}$$

### Calculation of the total rainfall of the rainy and dry seasons

After the estimation of the rainy season onset, cessation and duration of each year from the AA method, we calculated the total rainfall of the seasons summing its daily rainfall.

### Comparison of the observed and modelled monthly temperature

We calculated the monthly mean of the 1980-2014 period to minimum and maximum temperatures of CMIP6 models and observed dataset, to validate the representation of seasonal temperatures in models in each agricultural region.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Validation of the rainy season pattern and total rainfall

The representation of the rainy season on CMIP6 models varied among the regions (Figure 2). In general, most models represented a delayed rainy season onset and an early rainy season end, resulting in an underestimation of the rainy season duration in MT (Figures 2-3). In MATOPIBA, most models represented a delayed rainy season onset and end, with most models underestimating the rainy season duration (Figures 2-3). Although some models presented similar values of rainy season duration compared with observed data in MATOPIBA, the onset, and end of the rainy season are misrepresented. Models representing this situation are EC-Earth3, EC-Earth3-Veg, EC-Earth3-Veg-LR, and NorESM2-LM.

The models with better representation of the onset of the rainy season (bias < 5 days) in MT were ACCESS-CM2, ACCESS-ESM1-5, INM-CM4-8, IPSL-CM6A-LR, and MIROC-ES2L, while in

MATOPIBA the models were ACCESS-CM2, CMCC-ESM2, and IPSL-CM6A-LR (Figure 3). Concerning the representation of the end of the rainy season, the models with better representation were ACCESS-CM2, CMCC-ESM2, INM-CM5-0, MPI-ESM1-2-HR, NorESM2-LM, and NorESM2-MM in MT, while in MATOPIBA the models were CanESM5, MIROC6, MIROC-ES2L, MPI-ESM1-2-HR, MPI-ESM1-2-LR, and NorESM2-MM (Figure 3).

In summary, the models that better represent the onset and end of the rainy season were ACCESS-CM2 (bias < 5 days), ACCESS-ESM1-5, INM-CM4-8, INM-CM5-0, IPSL-CM6A-LR (bias < 10 days) in MT and BCC-CSM2-MR, MIROC6, and MPI-ESM1-2-LR (bias < 10 days) in MATOPIBA (Figure 3).

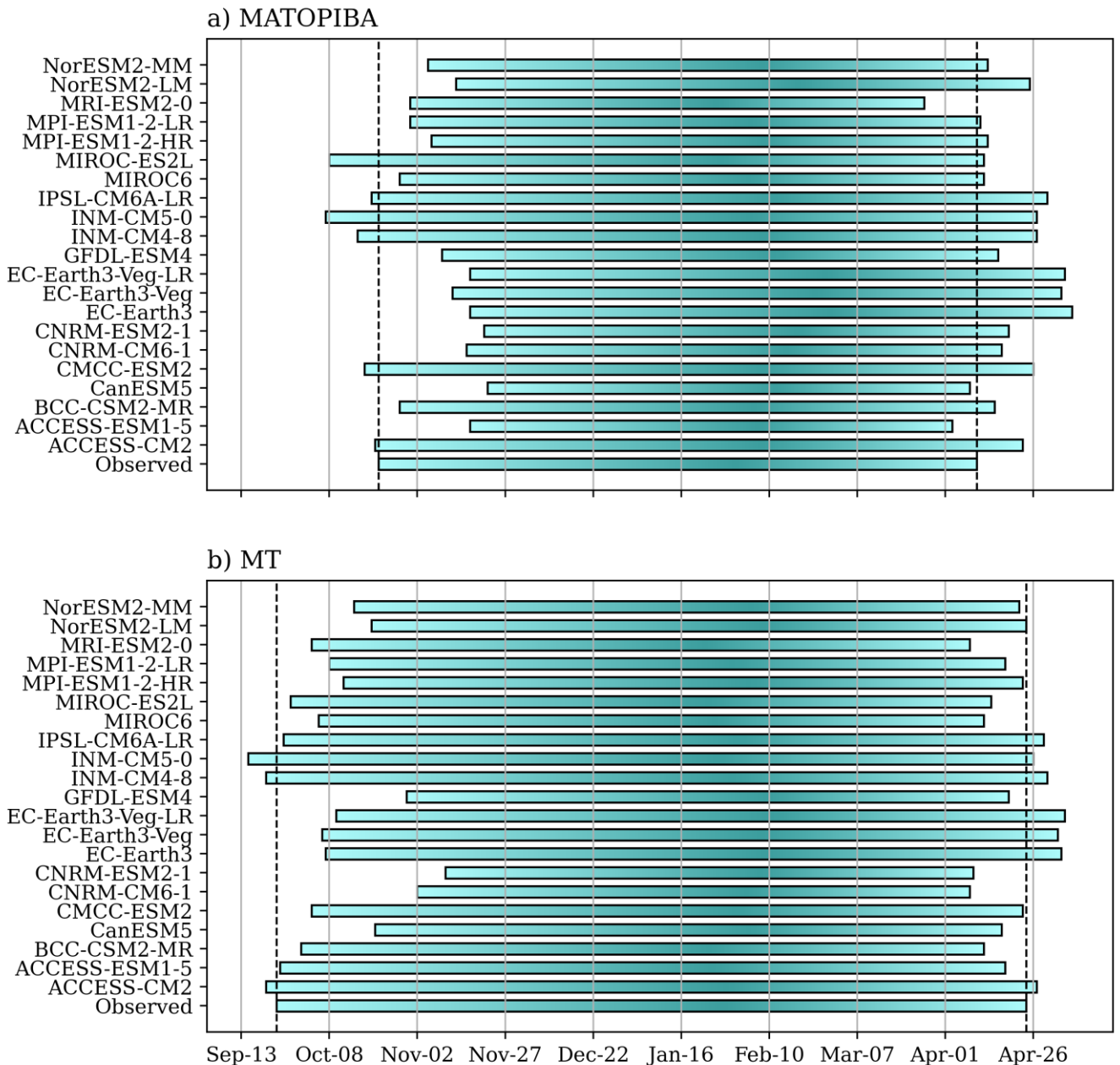


Figure 2: Representation of the mean onset, end, and duration of the rainy season for CMIP6 models and observed dataset for MATOPIBA (a) and MT (b). The dashed lines represent the mean onset and end of the rainy season for 1980-2014 in observed dataset.

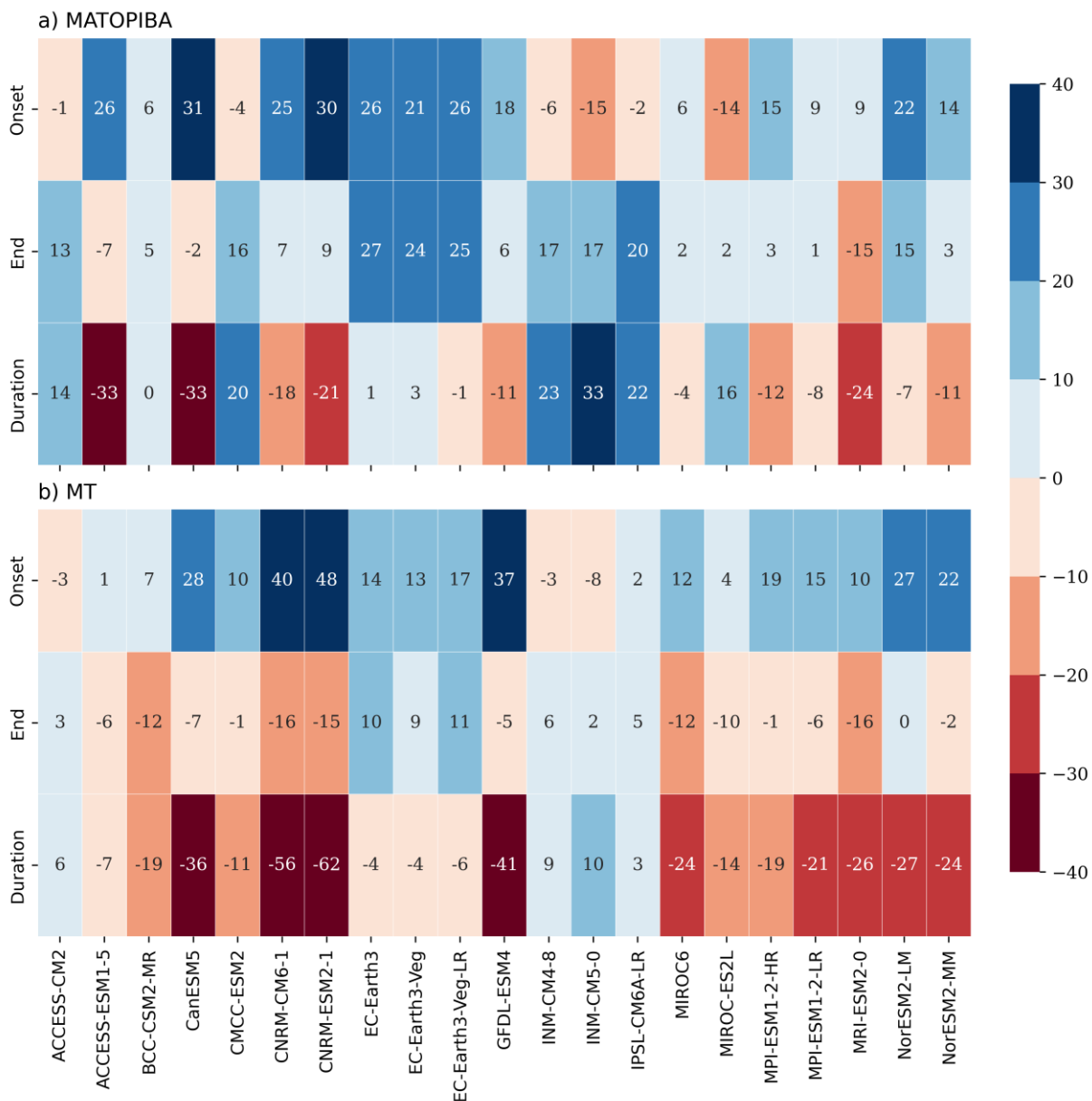


Figure 3: Bias of rainy season pattern (onset, end, and duration) of CMIP6 models in relation to observed data for MATOPIBA (a) and MT (b).

Despite some models represented well the onset and end of the rainy season in our study regions, the total rainfall in rainy and dry seasons also needs to be well represented to achieve a good future climate risk assessment in studies with agricultural applications. Our results indicated that most models overestimated (underestimated) the total rainfall in the rainy (dry) season in MATOPIBA, with values ranging from 167 (12) mm to 1215 (70) mm (Figure 4-b). The same pattern is observed in most models for MT, however, the magnitude of the total rainfall in the rainy season and the number of models overestimating are smaller than in MATOPIBA. Some models even underestimated the rainy and dry seasons' total rainfall as IPSL-CM6A-LR, CNRM-CM6-1, and CMCC-ESM2 in MT (Figure 4-a).

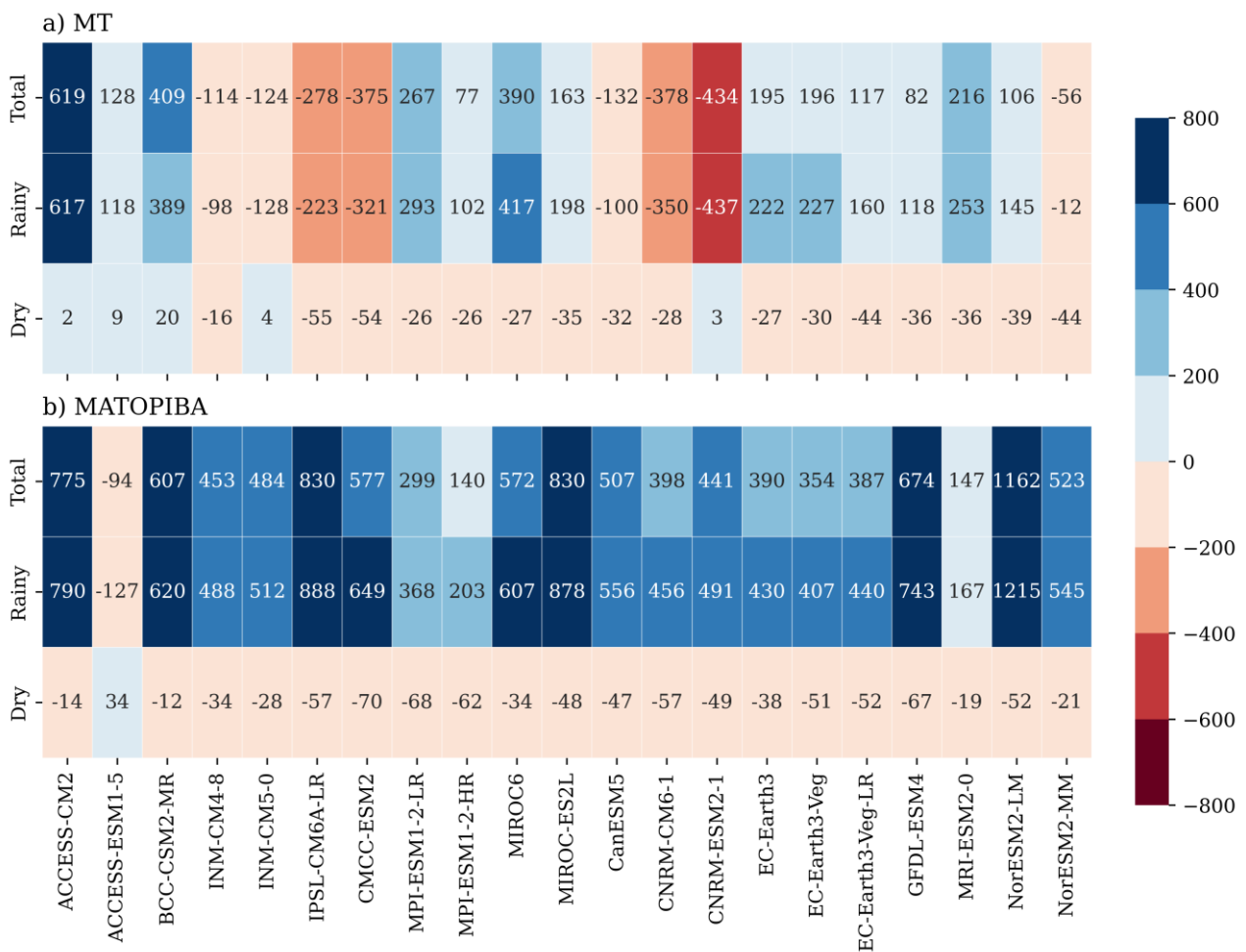


Figure 4: Bias of total rainfall for rainy and dry season for MT (a) and MATOPIBA (b).

The good representation of rainy season onset and end by CMIP6 models is important in future climate risk assessment in MT and MATOPIBA because the double cropping systems predominate in these regions. To evaluate the future viability of double cropping in these regions, it is important to select the models that best represent rainy season patterns, total rainfall, and minimum and maximum temperatures in the historical scenario, important climate variables to agricultural production.

### Validation of Monthly temperatures

The representation of the monthly minimum and maximum temperatures varied among models and regions. In MATOPIBA, most models underestimated the maximum temperature in all months (Figure 5-d) and underestimated the minimum temperature in almost all months, especially from May to August (Figure 5-c). In MT, minimum temperatures are better represented from November to April (Figure 5-a), while maximum temperatures are better represented from July to December (Figure 5-b).

The models that better represent the seasonal minimum and maximum temperatures in MATOPIBA were CMCC-ESM2 and MIROC6, with the last model achieving better results in both temperature variables. The models with the worst representation for these variables were MPI-ESM1-2-LR (maximum temperature) and CNRM-CM6-1 (minimum temperature) (Figure 5-c,d).

In the case of MT, the best models were MPI-ESM1-2-LR and BCC-CSM2-MR for minimum and maximum temperatures, respectively. And the models with the worst representation were CMCC-ESM2 (minimum temperature) and MPI-ESM1-2-LR (maximum temperature) (Figure 5-a,b).



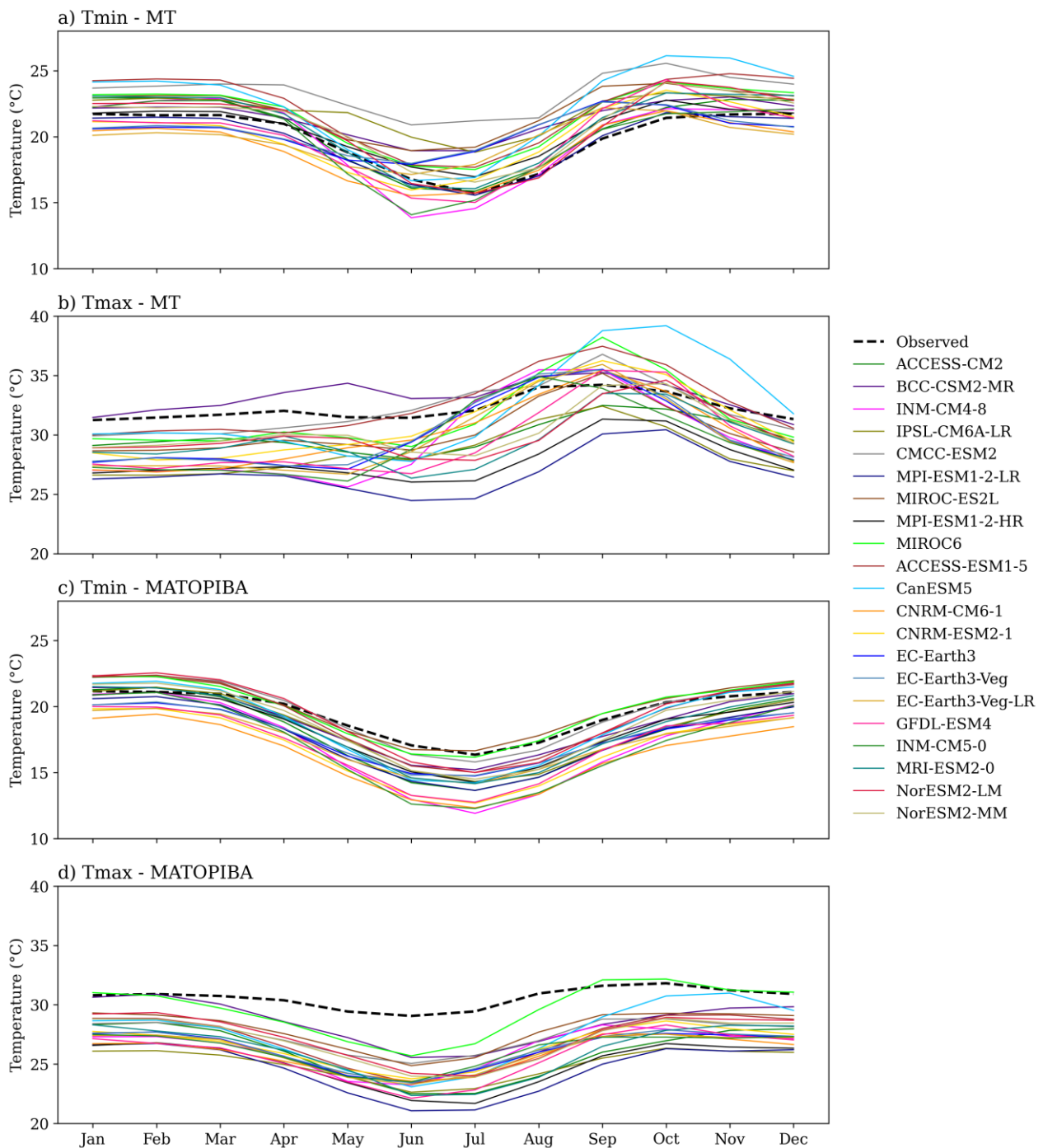


Figure 5: Representation of minimum and maximum monthly temperatures of CMIP6 models and observed data for MATOPIBA and MT in 1980-2014.

## CONCLUSÃO

Validating the climate variables of CMIP6 models is important to select the best models for a region to achieve a good future climate risk assessment in agriculture. In this study, we selected 21 models of the most up-to-date IPCC scenarios and evaluated their representation of rainy season patterns and total rainfall, as well as monthly minimum and maximum temperatures, important variables for multiple cropping systems commonly adopted in MT and MATOPIBA.

Our results indicated that despite few models representing well the onset and end of the rainy season such as ACCESS-CM2 in MT and BCC-CSM2-MR in MATOPIBA, most models simulated a delayed rainy season onset and early end in MT, while most models simulated a delayed onset and

end of the rainy season in MATOPIBA. Concerning the seasonal total rainfall, most models overestimated the total rainfall in the rainy season and underestimated the total rainfall of the dry season in MATOPIBA. The same pattern is observed for MT, however, the bias magnitude is reduced. Minimum and maximum monthly temperatures are poorly represented in MATOPIBA in most CMIP6 models. Better results are found for monthly temperatures in MT.

In this way, to improve future climate risk assessment in these regions, it is recommended the application of techniques that reduce the models' bias such as dynamical or statistical downscaling and bias correction.

## **AGRADECIMENTOS**

We thank Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) and Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) for the scholarship awarded for the first and second authors, respectively. This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil (CAPES)-Finance Code 001.

## **REFERÊNCIAS**

ABRAHÃO, Gabriel Medeiros; COSTA, Marcos Heil. Evolution of rain and photoperiod limitations on the soybean growing season in Brazil: The rise (and possible fall) of double-cropping systems. **Agricultural and Forest Meteorology**. 2018.

ARVOR, Damien; DUBREUIL, Vicent; RONCHAIL, Josyane; SIMÕES, Margareth; FUNATSU, Beatriz M. Spatial patterns of rainfall regimes related to levels of double cropping agriculture systems in Mato Grosso (Brazil). **International Journal of Climatology**. 2013.

BRUMATTI, Livia Maria; PIRES, Gabrielle Ferreira; SANTOS, Ana Beatriz. Challenges to the adaptation of double cropping agricultural systems in Brazil under changes in climate and land cover. **Atmosphere**. 2020.

HATFIELD, Jerry L.; PRUEGER, John H. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. **Weather and Climate Extremes**. 2015.

IBGE. Sistema de Recuperação automática (SIDRA). Tabela 1612: Área plantada, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias. Disponível em: [www.sidra.ibge.gov.br](http://www.sidra.ibge.gov.br) Acesso em: junho de 2023.

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. **Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

PIRES, Gabrielle F.; ABRAHÃO, Gabriel M.; BRUMATTI, Livia M.; OLIVEIRA, Leydimere J. C.; COSTA, Marcos H.; LIDDICOAT, Spencer; KATO, Etsushi; LADLE, Richard J. Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: Implications for land use in Northern Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**. 2016.

RATTIS, Ludmilla; BRANDO, Paulo M.; MACEDO, Marcia N.; SPERA, Stephanie A.; CASTANHO, Andrea D. A.; MARQUES, Eduardo Q.; COSTA, Nathane Q.; SILVERIO, Divino V.; COE, Michael T. Climatic limit for agriculture in Brazil. **Nature Climate Change**. 2021.

RAY, Deepak K.; GERBER, James S.; MACDONALD, Graham K.; WEST, Paul C. Climate variation explains a third of global crop yield variability. **Nature Communications**. 2015.

SPANGLER, Keith R.; LYNCH, Amanda H.; SPERA, Stephanie A. Precipitation drivers of cropping frequency in the Brazilian Cerrado: Evidence and Implications for decision-making. **Weather, Climate, and Society**. 2017.

SILVA, Daniel S.; ARIMA, Eugenio Y.; REIS, Tiago N. P. dos; RATTIS, Ludmila. Temperature effect on Brazilian soybean yields, and farmers' responses. **International Journal of Agricultural Sustainability**. 2023.

XAVIER, Alexandre C.; KING, Carey W.; SCANLON, Bridget R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**. 2016.

XU, Jialu; GAO, Jing; HOLANDA, Henrique Vinicius de; Rodríguez, Luis F.; CAIXETA-FILHO, José Vicente; ZHONG, Renhai; JIANG, Hao; LI, Haifeng; DU, Zhenhong; WANG, Xuhui; WANG, Shaowen; TING, K. C.; YING, Yibin; LIN, Tao. Double cropping and cropland expansion boost grain production in Brazil. **Nature Food**. 2021.

# MUDANÇAS CLIMÁTICAS: IMPACTO DO AUMENTO DA TEMPERATURA NAS FASES FENOLÓGICAS DO FEIJÃO-CAUPI

**Juliane Rafaele Alves Barros**<sup>1</sup>; **Miguel Julio Machado Guimarães**<sup>2</sup>; **Jaqueline de Almeida Silva**<sup>3</sup>; **Elionenai Gomes Freire Silva**<sup>4</sup>; **Wesley Oliveira da Silva**<sup>5</sup>; **Francislene Angelotti**<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Bolsista de Pós-Doutorado. Rodovia BR-428, Km 152, s/n - Zona Rural, Petrolina - PE, 56302-970. Embrapa Semiárido/ FACEPE; <sup>2</sup>Professor. BR-230, São Raimundo das Mangabeiras - MA, 65840-000. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão; <sup>3</sup>Estudante de mestrado. Rodovia BR 203, Km 2 s/n - Vila Eduardo, Petrolina - PE, 56328-900. Universidade de Pernambuco; <sup>4</sup>Estudante de graduação. Rodovia BR 203, Km 2 s/n - Vila Eduardo, Petrolina - PE, 56328-900. Universidade de Pernambuco; <sup>5</sup>Estudante de doutorado. Av. Transnordestina, s/n - Feira de Santana, Novo Horizonte - BA, 44036-900. Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Bahia; <sup>6</sup>Pesquisadora. Rodovia BR-428, Km 152, s/n - Zona Rural, Petrolina - PE, 56302-970. Embrapa Semiárido

## RESUMO

As mudanças climáticas poderão afetar as fases de desenvolvimento do feijão-caupi com repercussões significativas na produção dos grãos. Diante disso, objetivou-se avaliar como o aumento da temperatura, em função das mudanças climáticas, poderá afetar as fases fenológicas de cultivares de feijão-caupi. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em câmaras de crescimento, em esquema fatorial 2x2 (cultivares x regimes de temperatura). Foram utilizadas as cultivares Acauã e Itaim, mantidas nos regimes de temperatura: 20-26-33 °C e 24,8-30,8-37,8 °C. Respostas diferenciadas foram observadas para as fases fenológicas das cultivares analisadas com o aumento de 4,8 °C na temperatura do ar. As cultivares apresentaram comportamento semelhante para as fases de germinação (V0), emergência (V1) e para as primeiras folhas compostas abertas (V3), nos dois regimes de temperatura. O acréscimo de 4,8 °C na temperatura promoveu o prolongamento da fase V4 (terceira folha trifoliada aberta) para a cultivar BRS Acauã. A quantidade de dias da fase de pré-floração (R5) não diferiu com o aumento da temperatura, para as cultivares analisadas. Contudo, a fase de floração (R6) foi prolongada em 22 dias para BRS Acauã, no regime de 24,8-30,8-37,8 °C, causando um prolongamento o ciclo fenológico da cultivar. Já a BRS Itaim não apresentou alteração em seu ciclo, mesmo com aumento de 4,8 °C na temperatura do ar. O aumento na temperatura influencia as respostas fenológicas do feijão-caupi, sendo que a intensidade do impacto dependerá da fase fenológica na qual a planta se encontra.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Vigna unguiculata*; Estresse térmico; Estádio fenológico;

## INTRODUÇÃO

As plantas estão continuamente expostas a diversos estresses abióticos ao longo de seu ciclo, desde a germinação das sementes até a produção final das culturas. No contexto das mudanças climáticas, esses estresses se tornaram particularmente importantes, devido ao aumento na frequência dos eventos extremos, como ondas de calor e períodos de seca (IPCC, 2021), se tornando um desafio para a segurança alimentar (Carvalho et al., 2019).

Dentre os estresses abióticos, a temperatura surge como um dos elementos climáticos mais importantes, podendo restringir tanto a produtividade quanto a adaptação das culturas, especialmente quando temperaturas extremas coincidem com o estágio crítico de crescimento da planta (Karim et al., 2018; Barros et al., 2020a).

De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2021) o aumento da temperatura do ar pode chegar a 1,9 °C até 2040 e 5,7 °C até o final do século. Essas mudanças serão ainda mais agravantes no Semiárido do nordeste brasileiro, uma vez que essas regiões são caracterizada por condições ambientais adversas, com temperatura média anual variando entre 23 e 27 °C, ciclos acentuados de seca, irregularidade pluviométrica e precipitação anual inferior a 800 mm (Moura et al., 2019).

Estes cenários representam um risco para o sistema alimentar devido à perda de produtividade (Singh et al., 2010), uma vez que, o aumento da temperatura afeta a taxa fotossintética, reduzindo drasticamente o crescimento e o rendimento das culturas (Martinez et al., 2015). Nesse contexto, compreender a resposta de cada fase fenológica ao aumento de temperatura é essencial para o planejamento e manejo eficaz das culturas agrícolas. Isso contribui para escolha ideal da época de plantio, permitindo aproveitar as condições ambientais favoráveis (Barros et al., 2020a) sendo uma estratégia que irá contribuir para a produtividade das culturas, garantindo assim a segurança alimentar (Brüssow et al., 2017).

Uma cultura de grande importância socioeconômica é o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), é uma leguminosa que desempenha um papel de destaque como fonte de proteínas e carboidratos na dieta de grande parte da população mundial, sendo considerada como uma cultura chave na questão da segurança alimentar (Carvalho et al., 2019). Embora esta cultura seja adaptada às condições semiáridas, temperaturas elevadas durante seu ciclo de desenvolvimento, podem ter um impacto negativo na produção, devido a modificações em sua morfologia, fisiologia, metabolismo e expressão de genes (Ndiso et al., 2016, Barros et al., 2020a; 2021).

Diante do exposto, uma compreensão mais detalhada da interação do estresse térmico e as fases fenológicas do feijão-caupi é crucial para o desenvolvimento de estratégias de adaptação e mitigação eficazes, favorecendo a produtividade final, uma vez que, o sucesso na colheita se torna maior à medida em que os riscos climáticos são minimizados durante o desenvolvimento da cultura (Jones e Thornton, 2003; Jarvis et al., 2008). Desta forma, os agricultores poderão planejar melhor o manejo da cultura, implementar práticas de cultivo que minimizem os efeitos negativos das mudanças climáticas.

## **OBJETIVOS**

Avaliar como o aumento da temperatura, em função das mudanças climáticas, poderá afetar as fases fenológicas de cultivares de feijão-caupi.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido na Embrapa Semiárido, no município de Petrolina-PE, em novembro de 2021, em câmaras de crescimento, do tipo Fitotron, com controle de temperatura, luminosidade, umidade relativa e fotoperíodo (Figura 1). O delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x2 (cultivares x regimes de temperatura), com quatro repetições. Foram utilizadas sementes das cultivares BRS Acauã e BRS Itaim.



**Figura 1.** Câmara de crescimento Fitotron.

Os regimes de temperaturas (Tabela 1) foram determinados a partir das temperaturas mínimas, média e máxima do Submédio do Vale do São Francisco, que variam de 18-22, 25-27 e 32-34 °C, respectivamente, nos últimos 30 anos. Neste trabalho foi empregado um aumento de 4,8 °C, baseado no cenário de aumento de temperatura do IPCC (2021).

**Tabela 1.** Regimes de temperatura utilizados no experimento.

Regimes de Temperatura	Horários para cada temperatura			
	20:00 às 6:00	6:00 às 10:00	10:00 às 15:00	15:00 às 20:00
T1 (20-26-33 °C)	20	26	33	26
T2 (24,8-30,8-37,8 °C)	24,8	30,8	37,8	30,8

Foram semeadas três sementes por vaso com capacidade de 7 L e após 15 dias da semeadura foi realizado o desbaste deixando apenas uma planta por vaso. Foi utilizado um argissolo vermelho-amarelo eutrófico (Batista, 2016). A adubação de fundação foi realizada três dias antes do plantio com base nos resultados da análise química do solo e conforme recomendado para a cultura (Cavalcanti, 2008). Quinze dias após a emergência das plantas, foi realizada a adubação de cobertura, via fertirrigação. Para esse processo, os adubos foram diluídos em água e aplicados no momento da irrigação.

O manejo da irrigação foi realizado com auxílio da TDR (Time Domain Reflectometry ou Reflectometria no Domínio do Tempo), modelo TDR100 da Campbell. As irrigações foram realizadas a cada dois dias por meio da reposição do volume de água evapotranspirada para manter a disponibilidade de água no solo, baseado nos dados gerados pela TDR.

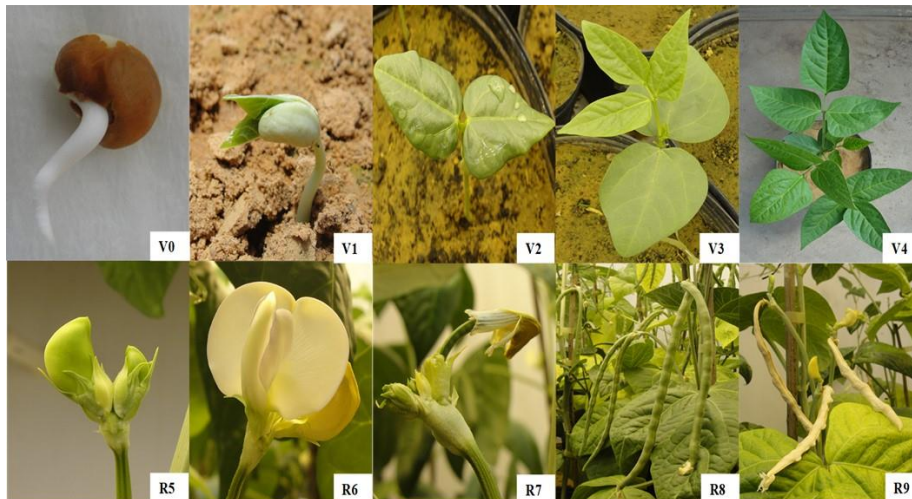
Após a semeadura as plantas foram avaliadas diariamente para a determinação do ciclo fenológico utilizando a escala fenológica de Oliveira et al. (2018) (Tabela 2; Figura 1)

**Tabela 2.** Escala fenológica para avaliação do desenvolvimento de plantas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp).

V0	Germinação
V1	Emergência
V2	Folhas primárias
V3	Primeira folha composta aberta
V4	Terceira folha trifoliada aberta
R5	Pré-floração
R6	Floração
R7	Formação de vagens
R8	Enchimento das vagens
R9	Maturação

V= Fase Vegetativa; R= Fase Reprodutiva

Fonte: Oliveira et al. (2018)



**Figura 2.** Ciclo fenológico do feijão-caupi: **V0**- Germinação; **V1** - Emergência; **V2**- Folhas primárias; **V3** - Primeira folha composta aberta; **V4** - Terceira folha trifoliada aberta; **R5** - Pré-floração; **R6** - Floração; **R7** - Formação de vagens; **R8** - Enchimento das vagens; **R9** - Maturação.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), na qual foram testados os efeitos significativos isolados e as interações entre as fontes de variação, um valor de  $p < 0,05$  foi considerado para indicar significância estatística e as médias comparadas pelo teste de Scott Knott, usando o Programa SISVAR Versão 5.6.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As fases de germinação (V0) e emergência (V1) apresentaram duração aproximada de 1 a 2 dias, nos dois regimes de temperatura (Tabela 3). As cultivares apresentaram comportamento distinto na fase V2 (folhas primárias), observa-se que para cv. BRS Acauã, o incremento de 4,8 °C na temperatura do ar acelerou em aproximadamente 4 dias o surgimento das folhas primárias, enquanto a cv. BRS Itaim apresentou um atraso de 3 dias, quando comparada ao regime de 20-26-33 °C. Já o surgimento das primeiras folhas compostas abertas (V3) não foi afetado negativamente pelo estresse térmico, o estágio fenológico apresentou uma duração de aproximadamente 10 dias para BRS Acauã e 7 dias para BRS Itaim, nos dois regimes de temperatura (Tabela 3).

Em feijão-caupi, temperaturas variando entre 18-37 °C podem favorecer o desenvolvimento vegetativo (Vale et al., 2017), entretanto, a fase reprodutiva é mais sensível, onde temperaturas próximas de 35 °C provoca o abortamento de flores, diminuindo o rendimento final de sementes (Kumar et al., 2016; Barros et al., 2021), visto que a faixa de temperatura ideal para o desenvolvimento vegetativo costuma ser maior do que a faixa ideal para o desenvolvimento reprodutivo (Hatfield e Prueger, 2015).

No entanto, o acréscimo de 4,8 °C na temperatura promoveu o prolongamento da fase V4 (terceira folha trifoliada aberta) para a cultivar BRS Acauã, em função do retardo no surgimento dos botões florais. Uma espécie ou cultivar pode alterar as datas de ocorrência de fases ou duração do ciclo, em função do regime térmico (Bergamashi e Bergonci, 2017). Como mecanismo de adaptação as plantas podem apresentar alterações nas reações fisiológicas, como o fechamento dos estômatos que resultam na redução da taxa fotossintética, afetando o desenvolvimento das plantas e retardando o surgimento dos botões florais (Silva et al, 2021; Souza e Funch, 2017).

**Tabela 3.** Média do número de dias de cada estágio fenológico e duração do ciclo de duas cultivares de feijão-caupi, mantidas em dois regimes de temperatura (20-26-33 °C e 24,8-30,8-37,8 °C).

Cultivar	Temperatura	Ciclo Fenológico (média de dias)										Ciclo
		V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	R9	
BRS Acauã	20-26-33 °C	1,0a	1,0a	8,0a	10,2a	26,5b	2,0a	1,0b	9,0a	7,2a	3,0a	69,0
	24,8-30,8-37,8 °C	1,5a	1,2a	4,5b	9,7a	32,0a	2,2a	23,0a	7,0b	6,2a	3,0a	90,5
BRS Itaim	20-26-33 °C	1,2a	1,0a	5,2b	7,7a	19,0a	2,0a	1,2a	13,3a	4,2a	3,2a	58,3
	24,8-30,8-37,8 °C	1,0a	1,7a	8,0a	7,0a	17,7a	2,0a	1,2a	10,7b	4,7a	3,0a	57,2

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna para temperatura não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Para a fase reprodutiva, na pré-floração (R5) as cultivares apresentaram respostas semelhantes, apresentando aproximadamente 2 dias para concluir a fase (Tabela 3), nos dois regimes de temperatura.

Porém, a fase de floração (R6) foi sensível ao incremento de 4,8 °C na temperatura do ar, para a cv. BRS Acauã, observa-se que as plantas mantidas no regime de temperatura de 24,8-30,8-37,8 °C apresentaram um prolongamento da fase R6 em 22 dias (Tabela 3). Esse aumento no tempo de floração ocorreu devido ao aumento do abortamento de flores (Figura 3), fazendo com que as plantas levassem mais tempo para entrar na fase de formação de vagens (R7). Sita et al. (2017) observaram que altas temperaturas afetam negativamente a formação dos botões florais, a germinação e o crescimento do tubo polínico, reduzindo o número de grãos de pólen, contribuindo para o aumento o



número de flores abortadas. Esse fato pode explicar o prolongamento significativo na fase reprodutiva R6 (floração), observado nessa pesquisa (Tabela 3).

Esse aumento do abortamento floral em função da temperatura, irá resultar em uma redução significativa do rendimento dessa cultivar. Resultados semelhantes foram observados por Barros et al. (2020a), os autores observaram que quando altas temperaturas (35 a 37 °C) coincidem com a fase de floração (R6) e formação da vagem (R7) do feijão-caupi, há uma redução maior que 79% no número de vagens e 83% no sementes por planta. A fase reprodutiva é particularmente sensível ao aumento da temperatura, o que resulta na perda de botões florais, flores, vagens e produção de sementes. Mesmo um breve período de exposição a altas temperaturas durante a fase de enchimento de grãos pode acelerar a senescência das folhas, reduzir o número e peso das sementes e, conseqüentemente, diminuir o rendimento da colheita (Hoffmann Junior et al., 2007; Sita et al., 2018).

Isso pode ser explicado pelo fato de que estresse térmico causa alterações metabólicas, limitando a síntese de sacarose e amido, reduzindo o acúmulo de carboidratos nas sementes (Kaushal et al., 2013; Sita et al., 2017), além de alterações biométricas, fisiológicas, com redução na taxa fotossintética e alterações bioquímicas, com aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (Aquino et al., 2007; Barbosa et al., 2014; Freire Filho et al., 2014; Barros et al., 2021). Dessa forma, as mudanças climáticas previstas pelo IPCC (2021) irão alterar a fenologia das plantas, em função do aumento da temperatura, e conseqüentemente, reduzir a produtividade da cultura.

O aumento da temperatura acelerou em aproximadamente 2 dias a fase de formação das vagens (R7), para as duas cultivares de feijão-caupi analisadas. Já as fases R8 (enchimento das vagens) e R9 (maturação) apresentaram comportamento semelhante nos dois regimes de temperatura (Tabela 3). A cultivar BRS Acauã apresentou uma média de 7 e 3 dias, para as fases R8 e R9, respectivamente. E a cultivar Itaim uma média de 4 para fase R8 e 3 dias para R9.

Diante disso, a cultivar BRS Acauã apresentou uma prolongação no ciclo fenológico em 21 dias, em função do aumento da temperatura do ar (Tabela 3), isso irá causar um retardo da colheita, além de redução no rendimento da cultivar, uma vez que as plantas ficarão mais tempo expostas a condições ambientais adversas. Já a cv. BRS Itaim não apresentou alteração em seu ciclo quando mantidas no regime de 24,8-30,8-37,8 °C, correspondente ao aumento de 4,8 °C na temperatura do ar. Isso indica que as respostas fenológicas diferem tanto em função dos estímulos ambientais, como também em função dos genótipos (Matoso et al., 2018). Dessa forma, cada cultivar possui faixas ótimas de temperatura mínima, máxima e ideal para o seu crescimento e desenvolvimento, como foi observado por Barros et al. 2020b; Barros et al. 2021).

As cultivares de feijão-caupi analisadas, apesar de serem da mesma espécie, responderam de forma distinta ao ambiente a qual foi exposta. De acordo com Vale et al. (2017), o feijão-caupi possui uma ampla faixa de temperatura para o seu desenvolvimento. No entanto, o ponto ótimo de temperatura varia conforme o estágio fenológico da planta e o genótipo (Bastos et al., 2017). O fato do ciclo fenológico da cultivar BRS Itaim não ter sido afetado pelo aumento da temperatura pode ser explicada pelo fato de que nessa cultivar, temperaturas elevadas provocam aumento no acúmulo de graus-dia, modificando a fenologia e podendo encurtando o ciclo das plantas (Bergamashi e Bergonci, 2017). Esses autores afirmam que o aumento da temperatura está associado ao estímulo do crescimento e da fenologia, de modo que, quando submetido a condições de estresse, as plantas ajustam o seu metabolismo para evitar efeitos negativos em seu desenvolvimento normal. A aceleração do ciclo ocorre em função da resposta da planta à condição de estresse, elevando a sua respiração (Schmidt et al., 2017).

A grande diversidade na utilização do feijão-caupi, aliada ao seu alto potencial produtivo, tem proporcionado o aumento significativo de pesquisas sobre a cultura, além disso, essas características tornaram a cultura atraente aos programas de melhoramento genético (Xavier et al., 2005; Singh et

al., 2002). Os resultados obtidos a partir deste estudo serão de grande importância para aumentar o desempenho da cultura diante das mudanças climáticas, além de contribuir para formulação de estratégias que permitam a adaptação do feijão-caupi às novas condições ambientais. O entendimento de como cada fase fenológica responde às temperaturas elevadas poderá melhorar a produtividade e a qualidade das safras. Isso não só possibilita aos agricultores a escolha de genótipos termotolerantes com elevado potencial produtivo, como também uma época de plantio mais adequada, onde as fases mais sensíveis, como a floração da cultura, não coincida com meses de temperaturas altas (Barros et al., 2021; Barros et al., 2023).

## CONCLUSÃO

O aumento na temperatura influencia as respostas fenológicas do feijão-caupi, sendo que a intensidade do impacto dependerá da fase fenológica na qual a planta se encontra. As cultivares analisadas apresentaram respostas distintas, com destaque para a BRS Itaim, onde o acréscimo de 4,8 °C na temperatura do ar não afetou a fase reprodutiva, como também não prolongou o ciclo da cultivar, quando comparada as plantas mantidas no regime de temperatura de 20-26-33 °C. Já para a cultivar Acauã, o aumento da temperatura contribuiu para o prolongamento da fase de floração e o ciclo fenológico da cultura. Desta forma, compreender cada fase fenológica será crucial para adaptação do feijão-caupi, frente aos cenários das mudanças climáticas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Pernambuco (FACEPE) pelo financiamento da bolsa de pós-doutorado (PROCESSO nº: BFP-0113-5.01/21).

## REFERÊNCIAS

- AQUINO, Alexandre José Silva de; LACERDA, Claudivan Feitosa de; BEZERRA, Marlos Alves; GOMES-FILHO, Enéias; COSTA, Raimundo Nonato Távora. Crescimento, partição de matéria seca e retenção de Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.961-971, 2007.
- BARBOSA, Marta Ribeiro; SILVA, Marina Medeiros de Araújo; WILLADINO, Lilia.; ULISSES, Claudia. CAMARA, Terezinha Rangel. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. *Ciência Rural*, v.44, n.3, p. 453-460, 2014.
- BARROS, Juliane Rafaela Alves; GUIMARÃES, Miguel Julio Machado; SIMÕES, Welson Lima; MELO, Nataniel Franklin de; ANGELOTTI, Francislene. Temperature: A major climatic determinant of cowpea production. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.45, n.1, p.1-10, 2023.
- BARROS, Juliane Rafaela Alves; GUIMARÃES, Miguel Julio Machado; SILVA, Rodrigo Mora e; RÊGO, Maydara Thaylla Cavalcanti; MELO, Nataniel Franklin de; CHAVES, Agnaldo Rodrigues de Melo; ANGELOTTI, Francislene. Selection of cowpea cultivars for high temperature tolerance: physiological, biochemical and yield aspects. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, v.27, n.1, p.1-10, 2021.
- BARROS, Juliane Rafaela Alves; GUIMARÃES, Miguel Julio Machado; SIMÕES, Welson Lima; MELO, Nataniel Franklin de; ANGELOTTI, Francislene. Water restriction in different phenological stages and increased temperature affect cowpea production. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, v.45, n.1, p. 1-12, 2020a.

- BARROS, Juliane Rafaela Alves; ANGELOTTI, Francislene.; SANTOS, Jéssica Oliveira; DANTAS, Bárbara França; MELO, Nataniel Franklin de. Optimal temperature for germination and seedling development in cowpea seeds. *Revista Colombiana de Ciências Hortícolas*, v.14, n.2, p. 89-97, 2020b.
- BASTOS, Edson Alves. . *Cultivo de feijão-caupi*. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. Versão eletrônica.
- BATISTA, Lucas dos Santos; COELHO, Eugênio Ferreira; CARVALHO, Francisco Adriano Pereira de; SILVA, Mairton Gomes da; GOMES FILHO, Raimundo Rodrigues; GONÇALVES, Amanda de Azevedo. Calibração de sonda artesanal de uso com TDR para avaliação de umidade de solos. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.10, p. 522-532, 2016.
- BERGAMASHI, Homero; BERGONCI, João Ito. *As plantas e o clima: Princípios e aplicações*. Guaíba: Agrolivros, 2017, 352 p.
- BRÜSSOW, Kathleen.; FÄBE, Anja; GROTE, Ulrike. Implications of climate-smart strategy adoption by farm households for food security in Tanzania. *Food Security*, v.9, n. 6, p.1203-1218, 2017.
- CARVALHO, Márcia; CASTRO, Isaura.; PEREIRA, José Moutinho; CORREIA, Carlos; CORTINES, Marcos Egea; MATOS, Manuela; ROSA, Eduardo; CARNIDE, Valdemar; LINO NETO, Teresa. Evaluating stress responses in cowpea under drought stress. *Journal Plant Physiology*, v.241, n.1, p. 1-13, 2019.
- CAVALCANTI, Francisco José de Albuquerque. *Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco*. 2ª Apr. 3.ed., Recife: IPA, 2008, 212 p.
- FREIRE FILHO, Francisco Rodrigues; RIBEIRO, Valdenir Queiroz; ROCHA, Maurisrael de Moura; DAMASCENO-SILVA, Kaesel Jackson; NOGUEIRA, Maria do Socorro da Rocha; RODRIGUES, Erina Vitória. *Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios*. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011, 84 p.
- HATFIELD, Jerry L; PRUEGER, John H. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, v.10, p.4-10, 2015.
- HOFFMANN JUNIOR, Leo; RIBEIRO, Nerinéia Dalfollo; ROSA, Simone Saydelles da; JOST, Eandro.; POERSCH, Nerison Luis; MEDEIROS, Sandro Luís Petter. Resposta de cultivares de feijão à alta temperatura do ar no período reprodutivo. *Ciência Rural*, v.37, n.6, p.1543-1548, 2007.
- IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. International Panel on Climate Change, 2021.
- JARVIS, Andy; LANE, Annie; HIJMANS, Robert J. The effect of climate change on crop wild relatives. *Agricultural, Ecosystems & Environment*, v.1, n.126, p.13-23, 2008.
- JONES, Peter G.; THORNTON, Philip K. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environmental Change*. v.1, n.13, p.51-59, 2003.
- KARIM, Toudou Daouda Abdoul; SANOUSSI, Atta.; MAÂROUHI, Inoussa Maman.; FALALOU, Hamidou; YACOUBOU, Bakasso. Effect of water deficit at different stages of development on the yield components of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) genotypes. *African Journal of Biotechnology*, v.19, n.9, p. 279-287, 2018.

- MARTINEZ, C. A.; OLIVEIRA, E. A. D.; MELLO, T. R. P.; MARIN, A. L. A. Respostas das plantas ao incremento atmosférico de dióxido de carbono e da temperatura. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.8, n.6, p. 635-650, 2015.
- MATOSO, Aline O; SORATTO, Rogério P; GUARNIERI, Franciele; COSTA, Nídia R; ABRAHÃO, Rafael C; TIRABASSI, Luís H. Sowing Date Effects on Cowpea Cultivars as a Second Crop in Southeastern Brazil. *Agronomy Journal*, v.110, n.1, p.1-14, 2018.
- MOURA, Magna Soelma Beserra de; SOBRINHO, José Espínola; SILVA, Thieres George Freire; SOUZA, Werônica Meire de. Aspectos meteorológico do semiárido brasileiro, 2019.
- NDISO, Ndiso James; OLUBAYO, Florença.; CHEMINING'WA, George Ndiema; SAHA, Hemedi Mkuzi. Effect of Drought Stress on Canopy Temperature, Growth and Yield Performance of Cowpea Varieties. *International Journal of Plant & Soil Science*, v.9, n.3, p.1-12, 2016.
- OLIVEIRA, Márcia Gonzaga de Castro; OLIVEIRA, Luciene Fróes Camarano de; WENDLAND, Adriane; GUIMARÃES, Cleber Moraes; QUINTELA, Eliane Dias; BARBOSA, Flávia Rabelo; CARVALHO, Maria da Conceição Santana; LOBO JUNIOR Murilo; SILVEIRA, Pedro Marques da. Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos. Brasília: Embrapa Arroz e Feijão, 2018, 59 p.
- SCHMIDT, Denise; ZAMBAN, Débora; PROCHNOW, Daiane; CARON, Braulio O.; SOUZA, Velci Q.; PAULA, Gizelli M.; COCCO, Carine. Caracterização fenológica, filocrono e requerimento térmico de tomateiro italiano em dois ciclos de cultivo. *Horticultura Brasileira*, v.35 n.1, p. 1-8, 2017.
- SILVA, Thaís Rayane Gomes da; COSTA, Marília Layse Alves da; FARIAS, Laryssa Roberta Alves; SANTOS, Maria Aparecida dos; ROCHA, Janyne Joyce de Lima; SILVA, José Vieira. Fatores abióticos no crescimento e florescimento das plantas. *Research, Society and Development*, v.10, n.4, p.1-9, 2021.
- SINGH, S.K.; KAKANI, V.G.; SURABHI, G.K.; REDDY, K.R. Cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) genotypes response to multiple abiotic stresses. *Journal of Photochemistry and Photobiology Biology*, v. 100, p. 135-146, 2010
- SINGH, B. B.; MATSUI, T.; Cowpea varieties for drought tolerance. In: FATOKUN, C. A.; TARAWALI, S. A.; SINGH, B. B.; KORMAWA, P. W.; TAMÓ, M. (Eds.) *Challenges and Opportunities for Enhancing Sustainable Cowpea Production*. Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture, 2002, 287-300 p.
- SITA, Kumari; SEHGAL, Akanksha ; BHANDARI, Kalpna; KUMAR, Jitendra; KUMAR, Shiv; SINGH, Sarvjeet; SIDDIQUE, Kadambot Hm; NAYYAR Harsh. Impact of heat stress during seed filling on seed quality and seed yield in lentil (*Lens culinaris Medikus*) genotypes. *Journal of the Science Food and Agriculture*, v. 98, p. 5134-5141, 2018.
- SOUZA, Isys Macarenhas; FUNCH, Lígia Silveira. Synchronization of leafing and reproductive phenological events in *Hymenaea L.* species (Leguminosae, Caesalpinioideae): the role of photoperiod as the trigger. *Brazilian Journal of Botany*, v.40, n.1, p. 125-136, 2017.
- VALE, Júlio César do; BERTINI, Cândida; BORÉM, Aluízio. Feijão-caupi: do plantio à colheita. Viçosa: Editora UFV. 2017, 267 p.

# Potencial de sequestro de carbono em cultivo outonal no Rio grande do Sul

**Luciano Scherz**<sup>1</sup>; **Felipe Scherz**<sup>3</sup>; **Carine Meier**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Extensionista rural. Rua Botafogo, 1051, cep 90150-053, Porto Alegre, RS . Empresa de assistência técnica e extensão rural - Emater-RS; <sup>2</sup>Professor. Palmeira das Missões - RS. Escola Técnica Estadual Celeste Gobbato; <sup>3</sup>Professor. Lavras- MG. Universidade Federal de Lavras - UFLA

## RESUMO

A janela entre a colheita da soja e a implantação de cereais de inverno no Rio Grande do Sul representa uma área superior a 2 milhões de hectares, durante este período que varia entre 60 a 90 dias a maioria das lavouras permanece em pousio, emitindo CO<sub>2</sub>, prejudicando o balanço de carbono no sistema agrícola. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a produção de massa verde e seca de plantas de cobertura/serviço cultivadas em dois locais no período outonal na região norte do estado do Rio Grande do Sul. Foram avaliados as culturas nabo forrageiro, trigo mourisco, ervilhaca, ervilha forrageira, milheto, capim sudão e um mix com 3 espécies. A maior produção de massa verde foi observada pelo cultivo de nabo forrageiro 56,73 ton/ha, e a maior produtividade de massa seca pelo cultivo de milheto, 6,46 ton/ha com potencial médio de sequestrar 2,9 ton de CO<sub>2</sub> na biomassa vegetal e 581 kg de carbono imobilizados no solo através da mineralização dos restos culturais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Plantas de cobertura; sequestro de carbono; descarbonização;;

## INTRODUÇÃO

O solo compreende uma das maiores reservas de Carbono (C) da biosfera, e dependendo do manejo nele aplicado, pode ser considerado um importante sumidouro e atuar diretamente na redução das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para a atmosfera, mitigando o impacto das mudanças climáticas atuais e futuras.

No Brasil, o setor agropecuário representou 28% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no ano de 2020 (Potenza et al., 2021). Assim, a adoção de práticas de conservação do solo como plantio direto, rotação de culturas e principalmente a adição de plantas de cobertura aos sistemas de produção, mantendo o solo vegetado e coberto pela maior parte do tempo são algumas estratégias que podem aumentar o carbono orgânico do solo, e contribuir para a mitigação da emissão de GEE em sistemas agrícolas, além de contribuir para a melhoria da qualidade do solo e aumento da produtividade.

No Rio Grande do Sul foram cultivados 6.358.000 hectares de soja no verão e 1.454.600 hectares de trigo no inverno de 2022 (Conab, 2023). Na maioria das áreas a soja é colhida entre os meses de março e abril e o trigo é semeado entre junho e julho, durante este período de 60 a 90 dias e coincide com o início do outono, quando a umidade do solo e as temperaturas ainda são altas, resultando em intensa degradação de resíduos de soja em virtude da alta relação C/N (Abiven et al., 2005). Um recente estudo realizado por Veeck et al., (2022) em um latossolo cultivado com soja e trigo, foi constatado que neste sistema de sucessão de culturas Soja-Trigo o período de pousio outonal foi responsável pela emissão de 425 kg CO<sub>2</sub>-eq ha<sup>-1</sup> por ano.

Neste sentido, torna-se importante estudar o potencial de plantas de cobertura em produzir matéria seca e sequestrar carbono no período outonal (entressafra). A adição de plantas de cobertura ao sistema de produção agrícola no ambiente subtropical ainda é um desafio pela falta de tradição e de estudos indicando adaptação de plantas para este curto período de tempo, no entanto, além dos benefícios proporcionados pela ciclagem de nutrientes, proteção do solo contra processos erosivos, redução da amplitude térmica e aumento da atividade biológica, o carbono sequestrado pelas plantas e acumulado no tecido vegetal pode aportar Matéria Orgânica ao solo, tornando o sistema um sumidouro de GEE, trazendo a tona oportunidade de geração de renda através de créditos de carbono e tornando o sistema mais sustentável e resiliente.

## OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a produção de massa seca de diferentes plantas de cobertura em cultivo outonal e estimar o potencial de sequestro de carbono.

## MATERIAL E MÉTODOS

No dia 28 de março de 2023 foram implantadas sete plantas de cobertura (Nabo forrageiro, Ervilhaca, Ervilha forrageira, Trigo Mourisco, Milheto, Capim Sudão e Mix de plantas composto por milheto, nabo forrageiro e trigo mourisco) em dois locais, Sarandi (lat: -27°59'04" long: 52°52'39") e Palmeira das Missões (lat: -27°56'50" long: 53°17'30") no Rio grande do Sul, ambos em latossolo vermelho distrófico localizados ao norte do estado e com clima da região é do tipo Cfa subtropical úmido segundo a classificação de Köppen (Alvarez et al., 2013). As características químicas do solo para os dois locais estudados são semelhantes. Para Sarandi os teores de argila, matéria orgânica e pH são de 57(%), 3,6(%) e 5,5, respectivamente; para Palmeira das Missões os teores de argila, matéria orgânica e pH são de 51(%), 2,8(%) e 5,5, respectivamente. Com relação as condições climáticas, a precipitação acumulada nos dois locais foi de 467,2 e 341,2 mm, para Sarandi e Palmeira das Missões, respectivamente.

A implantação ocorreu de forma mecanizada, com semeadora de grãos miúdos em espaçamento de 17cm entre linhas. Como o objetivo do experimento era determinar o potencial de produção de fitomassa a partir da ciclagem dos nutrientes presentes no solo, e buscando retratar a realidade das condições a nível de produtor não foram realizados tratos culturais e nem adubação.

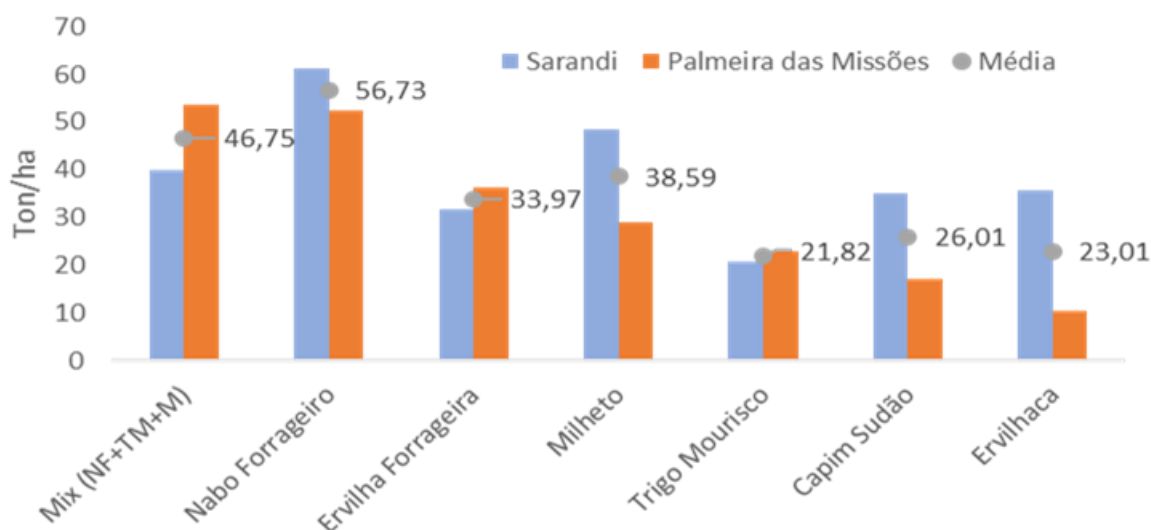
Foram avaliados a produção de massa verde e seca da parte aérea das plantas, coletando uma área de 0,25m<sup>2</sup> por parcela totalizando 21 amostras aos 71 dias após a semeadura das plantas. A massa fresca foi determinada na ocasião da amostragem e a massa seca a partir da secagem das plantas em estufa a 65° C até peso constante.

Para estimativa do potencial de sequestro de carbono foram considerados os valores médios de 40% de carbono na massa seca de parte aérea das plantas de cobertura (Ziech et al., 2015) (Doneda et al., 2013), sem considerar o sistema radicular, e uma taxa de acumulo de carbono no solo média de 20% (Secretti, et al., 2017). Para determinação da equivalência em CO<sub>2</sub>, considerou-se 1 tonelada de CO<sub>2</sub> equivale a apenas 0,2727 toneladas de Carbono Equivalente, em virtude de que apenas a massa do átomo de Carbono contido na molécula de CO<sub>2</sub>, compreende 27,27% da massa total da molécula.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

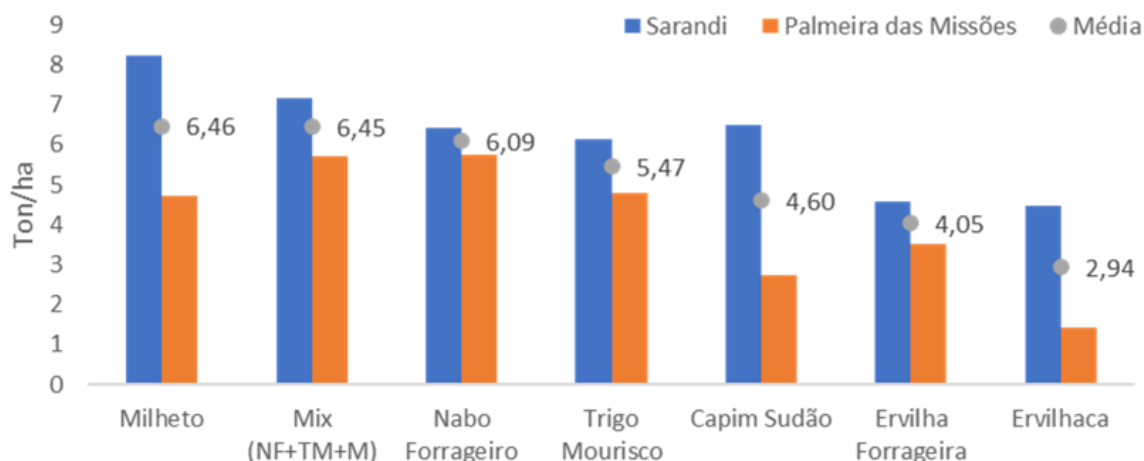
Os resultados obtidos demonstram o grande potencial de produção de fitomassa das plantas de cobertura, sendo que o nabo forrageiro apresentou a maior produção de fitomassa verde, em média 56,73 ton. ha<sup>-1</sup>, seguido pelo mix de plantas e do milheto com 46,75 e 33,97 ton. ha<sup>-1</sup> (Figura 1). De modo geral, os resultados de produção de massa verde foram superiores para a cidade de Sarandi comparado a Palmeira das missões.

**Figura 1:** Produção de massa verde de parte aérea de plantas de cobertura cultivadas em período de vazío outonal na região norte do estado do Rio Grande do Sul, 2023.



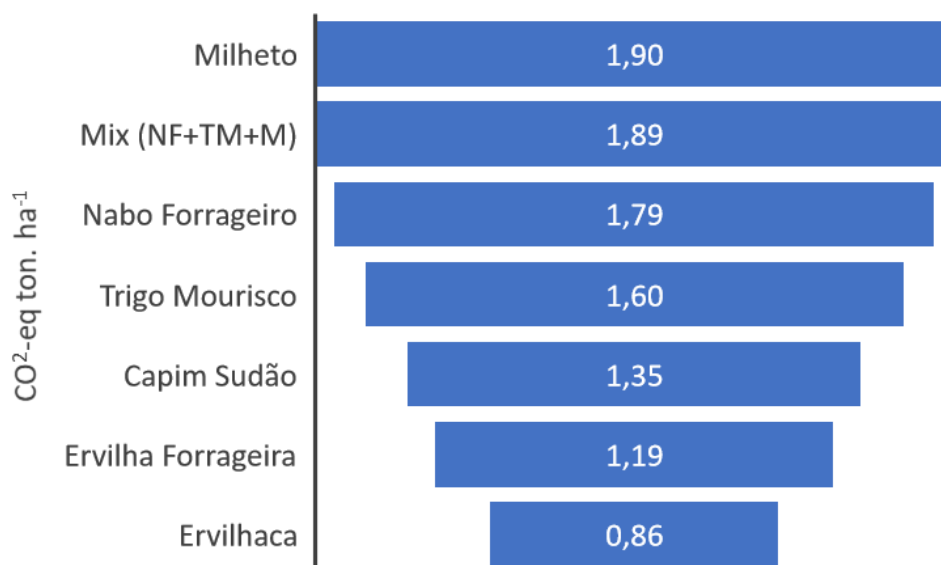
Já para a produção de fitomassa seca o cultivo de milho apresentou a maior produtividade com 6,45 ton. ha<sup>-1</sup>, seguido pelo mix de plantas e nabo forrageiro com 6,09 e 5,47 ton. ha<sup>-1</sup> (Figura 2).

**Figura 2:** Produção de massa seca de parte aérea de plantas de cobertura cultivadas em período de vazio outonal na região norte do estado do Rio Grande do Sul, 2023.



A estimativa de sequestro de CO<sub>2</sub> (Figura 3) demonstra que as plantas de cobertura em média possibilitam a retenção de 1,51ton de CO<sub>2</sub>-eq ha<sup>-1</sup> ao longo de 71 dias de cultivo, ou seja 21,28 Kg CO<sub>2</sub>-eq ha<sup>-1</sup> dia. Esta oportunidade pode gerar ao estado do Rio Grande do Sul um sumidouro de 2,26 milhões de ton de CO<sub>2</sub>-eq ano, sem considerar a quantidade de dióxido de carbono que deixará de ser emitida nestas áreas que permanecem em pousio, e que segundo Veeck et al., (2022), superam 0,4 ton de CO<sub>2</sub>-eq ha<sup>-1</sup>.

**Figura 3:** Estimativa do potencial de sequestro de CO<sub>2</sub>-eq ton. ha<sup>-1</sup> por plantas de cobertura do solo cultivadas em período de vazio outonal (71 dias) na região norte do Rio Grande do Sul, 2023.



## CONCLUSÃO

A implantação de plantas de cobertura em período outonal, entre a colheita da soja e a semeadura do trigo no norte do Rio Grande do Sul pode gerar um sequestro médio de 1,51ton de CO<sup>2</sup>-eq ha<sup>-1</sup>. Considerando toda área cultivada no sistema Soja-Trigo no estado do Rio Grande do Sul está prática poderá gerar um sequestro de 2,26 milhões de toneladas de CO<sup>2</sup>-eq ano. Neste sentido, recomenda-se a implantação de plantas de cobertura do solo, seja em cultivo solteiro ou mix de plantas, no período outonal em função dos benefícios proporcionados ao sistema e seu potencial de descarbonização da atmosfera.

## REFERÊNCIAS

- ABIVEN, Samuel et al. Mineralisation of C and N from root, stem and leaf residues in soil and role of their biochemical quality. **Biology and Fertility of Soils**, v. 42, n. 2, p. 119-128, 2005.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Fast Track, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- CONAB. Série histórica das safras: soja. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/infoagro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 15 jul. 2023.
- DONEDA, Alexandre et al. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1714-1723, 2012.
- POTENZA, R. F. et al. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil 1970-2020. **Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG)**, 2021.
- SECRETI, Mateus Luiz et al. Aporte de carbono ao solo por sistemas de monocultura, sucessão e rotação de culturas. 2017.
- VEECK, Gustavo Pujol et al. CO<sub>2</sub> flux in a wheat-soybean succession in subtropical Brazil: A carbon sink. **Journal of environmental quality**, v. 51, n. 5, p. 899-915, 2022.
- ZIECH, Ana Regina Dahlem et al. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernal na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 374-382, 2015.



# AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO RISCO CLIMÁTICO DA SOJA A PARTIR DOS CENÁRIOS DO CMIP6

Vânia Rosa Pereira <sup>1</sup>; Daniel de Castro Victoria <sup>2</sup>; Aryeverton Fortes de Oliveira <sup>2</sup>; Santiago Vianna Cuadra <sup>2</sup>; José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro <sup>2</sup>; Alan Massaru Nakai <sup>3</sup>; Renato José Santos Maciel <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bolsista. Campinas, SP. Embrapa Agricultura Digital; <sup>2</sup>Pesquisador. Campinas, SP. Embrapa Agricultura Digital; <sup>3</sup>Analista. Campinas, SP. Embrapa Agricultura Digital

## RESUMO

Entender como as mudanças no risco hídrico podem interferir nos sistemas agrícolas, em especial nas culturas de sequeiro, frente às mudanças climáticas, é fundamental para subsidiar planos e ações de adaptação assertivas. Apresentamos aqui resultados iniciais do projeto da Embrapa no tema de mudanças climáticas: "Cenários, vulnerabilidade e adaptação da agricultura brasileira às mudanças climáticas: culturas anuais". Este contempla diferentes culturas anuais e irá avaliar diferentes modelos de circulação geral (MCG), cenários e níveis de aquecimento. Atualmente o projeto encontra-se na etapa de definição do fluxo de trabalho e preparo das bases de dados. Uma primeira avaliação foi realizada para a cultura da soja, com ciclo de 100 dias, sob a perspectiva de deficiência hídrica, considerando três cenários de emissões (ssps 1-2.6, 2-4.5 e 5-8.5) do AR6 e três níveis globais de aquecimento (GWL 1.5, 2.0 e 4.0) para o modelo ACCESS-CM2. Resultados preliminares obtidos para um único MCG e agregados em nível estadual, indicam que, em diferentes proporções e intensidades, há três tipologias de mudanças do risco hídrico em relação ao histórico: 1) redução no número de decêndios com baixo risco (janela de plantio); 2) aumento do risco nos decêndios com baixo risco; 3) deslocamento da janela de baixo risco. Este último implica em impactos em cascata nos sistemas de sequeiro safra/safrinha, como por exemplo, o caso do milho. Os estados do Centro-Sul seriam os mais impactados. O cenário mais extremo, o SSP5-8.5/ GWL 4.0, indicou as mudanças mais significativas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Riscos agrícolas; mudanças climáticas; adaptação; soja;

## INTRODUÇÃO

O clima desempenha um papel crítico nos sistemas de produção agrícola, pois interfere não só na produção e na produtividade das culturas, mas, também, em decisões sobre práticas agrícolas, investimentos, gastos com sementes, fertilizantes e aquisição de seguros, gestão de safras, entre outros. No contexto das mudanças climáticas, torna-se essencial contribuir para a sustentabilidade da produção agrícola nacional por meio da proposição de ações de planejamento e adaptação de seus sistemas produtivos sistema. Para isso, a avaliação e a quantificação dos riscos da produção frente às tendências observadas de mudanças climáticas, considerando a nova geração de modelos globais e de cenários futuros, é essencial.

É consenso que as mudanças climáticas e o aumento das temperaturas médias globais em curso trazem inúmeras consequências para os sistemas naturais e antrópicos, e são consideradas as principais ameaças para a segurança hídrica, alimentar, energética e social (IPCC-WG I, 2021; IPCC-WGII, 2022). Estima-se que os mais diversos setores sociais serão impactados, com efeitos em cascata, como transportes, infraestrutura urbana e costeira, geração de energia, recursos hídricos, agricultura e biodiversidade. O mais recente relatório sobre as mudanças climáticas (AR6) indica que as mudanças no uso das terras e o aquecimento global estão causando uma cascata de condições de secas persistentes no globo. Por exemplo, perdas de produtividade relacionadas a episódios de secas ocorreram em 75% da área global destinada à agricultura e os efeitos combinados de stress térmico e hídrico reduziram a produtividade média global de milho, soja e trigo em 11.6%, 12.4% e 9.2% respectivamente (IPCC-WGII, 2022). Os cenários mais extremos, porém não improváveis, de

mudanças climáticas sugerem que a parte central da América do Sul terá ocorrência de estação seca mais prolongadas, amplificando ainda mais os impactos (IPCC-WGII, 2022).

Estudos com dados observados e simulados indicam aumentos na intensidade e frequência de secas e inundações em todo o globo, (HIRABAYASHI et al., 2013; MILLY et al., 2002; SPINONI et al., 2019) com a região central do Brasil considerada um *hotspot* de seca a partir dos anos 2000 (SPINONI et al., 2019). Culturas como arroz, milho e café podem ter aumentos na incidência de doenças devido à aumento de temperatura e de umidade no ar e no solo (ASSAD, 2021; POZZA; ALVES, 2008; PRABHU; SILVA; FILLIPI, 2008). Agentes polinizadores também poderão ser afetados, impactando a produtividade (GIANNINI et al., 2017; SETTELE; BISHOP; POTTS, 2016). Estudos recentes têm enfatizado que as perdas de safras agrícolas e os riscos à segurança alimentar e hídrica deverão se intensificar devido ao aumento das variações interanuais das condições climáticas em razão da ocorrência de eventos extremos (ALEXANDER et al., 2006; STEVANOVI? et al., 2016). Os estudos de Pinto e Assad (2007) mostraram que os cenários de mudanças climáticas do quarto relatório do IPCC, o AR4, indicaram aumentos das áreas de riscos climáticos na agricultura brasileira, delineando uma nova geografia agrícola para o país. Nestes cenários, as culturas seriam penalizadas por aumentos de deficiência hídrica ou nas temperaturas. O estudo indicou reduções das áreas aptas e de baixo risco climático para as principais culturas (arroz, algodão, café, feijão, girassol, milho e soja) e redução de áreas em regiões tradicionais. As perdas econômicas estimadas relacionadas ao aumento do risco climático foram de até R\$ 7,4 bilhões/ano nas principais commodities brasileiras a partir de 2020 (PINTO; ASSAD, 2008).

Em 2015, estimativas do Banco Mundial indicavam perdas de R\$ 11 bilhões/ano devido a riscos diversos, principalmente climáticos (ARIAS; MENDES; ABEL, 2015). Em 2021, um ano caracterizado por extremos climáticos com ocorrência de secas e geadas recordes, foram registradas perdas de R\$ 60 bilhões, nos diversos setores, especialmente na agricultura (VIECELI, 2021). O clima seco na região central da América do Sul resultou em uma escassez de 267 km<sup>3</sup> de água retida em rios, lagos, solo e aquíferos em comparação com a média sazonal dos últimos 20 anos (GETIRANA; LIBONATI; CATALDI, 2021). Importantes reservatórios de água na região atingiram menos de 20% de sua capacidade, afetando a agricultura e a geração de energia. Em 2022, novamente um ano de extremos climáticos, com ocorrência de seca no sul do Brasil, as graves perdas nas diversas culturas resultaram em prejuízos estimados em até R\$ 70 bilhões, de acordo com levantamentos da CNA (OLIVEIRA, 2022). As perdas econômicas registradas entre os anos de 2021 e 2022 superaram consideravelmente as estimativas apresentadas por Pinto e Assad (2008). Historicamente, Embrapa e parceiros já vêm atuando para modificar o quadro resultante das mudanças climáticas na produção agrícola. Dentre as ações realizadas destacam-se a avaliação dos impactos e da vulnerabilidade desse setor, bem como o planejamento de estratégias de mitigação das emissões de gases de efeito estufa e adaptação. A esse respeito podemos citar a promoção das tecnologias preconizadas no PlanoABC e PlanoABC+ (ex.: plantio direto, recuperação de pastagens degradadas, fixação biológica de nitrogênio), bem como os trabalhos voltados para a busca de cultivares mais tolerantes às intempéries climáticas.

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc) contribui para a adaptação, sendo base da Política Agrícola que promove a redução de riscos e a adaptação dos sistemas produtivos às condições climáticas. O Zarc especifica a melhor época de plantio para diferentes culturas agrícolas e locais do País. Para tal, além de informações de solo e da cultura, são necessários dados meteorológicos da região, compreendendo um longo período de tempo. Alterações nos padrões climáticos podem afetar o risco e as épocas ótimas para a implantação dos cultivos.

O referencial metodológico utilizado no Zarc tem sido base para avaliação de riscos e elaboração dos cenários futuros. Com o avanço do conhecimento, novos modelos de avaliação da produção, inclusive com medidas adaptativas, podem viabilizar uma nova geração de resultados. Há significativa oportunidade de contribuir para o conhecimento com assimilação de projeções e de novos cenários

climáticos futuros que estão sendo disponibilizados pela 6a fase do Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6) que fundamentam o atual relatório do IPCC (AR6). O planejamento diante da rápida mudança climática antropogênica é fundamentalmente desafiador devido às incertezas nas projeções climáticas e nas respostas dos sistemas ecológicos e sociais. Diante das incertezas, a lógica é dada para minimizar o fracasso, em vez de maximizar o sucesso e evitar resultados catastróficos e extremos (TERANDO et al., 2020). Os modelos climáticos globais são ferramentas importantes para entender os mecanismos entre o clima do passado e sua evolução e, a partir dessa relação, projetar cenários de mudanças globais para o futuro. Tais modelos estão em constante evolução e melhorias, tais como refinamento da resolução espacial, melhorias nos parâmetros de processos de microfísica de nuvens, adição de outros processos do sistema terrestre e componentes tais como os ciclos biogeoquímicos (EYRING et al., 2019). A nova geração de modelos climáticos globais do CMIP6, que subsidiaram o AR6, apresentou maior acurácia nas estimativas de magnitude dos extremos de temperaturas globais quando comparados com a sua versão anterior, o CMIP5 (NIE et al., 2020), com maior habilidade em simular declínios na precipitação e secas no sudoeste da América do Sul (RIVERA; ARNOULD, 2020).

Além das melhorias na performance em representar o clima, o CMIP6 utiliza uma nova geração de cenários de mudanças climáticas, baseados na junção das premissas de trajetórias de concentração do CMIP5 com trajetórias socioeconômicas (SSPs). Uma melhoria nos cenários foi a ampliação dos possíveis resultados da linha de base "sem política climática". As trajetórias de emissão e a mistura de emissões de CO<sub>2</sub> e outros gases são diferentes nessa nova versão e são consideradas mais realistas (SONG et al., 2021). Por exemplo, o cenário de baixa emissão SSP1-2.6 mostra um declínio mais gradual nas emissões do que o RCP2.6 e um ponto de partida mais alto, refletindo, em parte, que as emissões de 2007-2014 observadas foi notavelmente maior do que o esperado no cenário RCP2.6 original (HAUSFATHER, 2019). Face às elevadas perdas agrícolas devido a eventos climáticos adversos ocorridas nos últimos anos, aos estudos enfatizando a intensificação dos riscos climáticos e, dado os avanços apresentados pela nova geração de modelos climáticos, bem como os avanços nas metodologias do Zoneamento Agrícola de Risco Climático, faz-se necessário reavaliar os riscos agroclimáticos e traçar estratégias de adaptação da agricultura brasileira aos desafios futuros.

## OBJETIVOS

Avaliar as tipologias de impacto das mudanças climáticas no risco agrícola, sob a perspectiva de déficit hídrico, para a cultura da soja, considerando um modelo de clima futuro; Desenvolver as rotinas computacionais e a capacidade de processamento de um grande conjunto de dados para em breve realizar a avaliação de risco para um maior conjunto de modelos futuros, cenários de emissões e culturas agrícolas anuais.

## MATERIAL E MÉTODOS

**Base de dados:** Para gerar a base de dados agroclimáticos com viés corrigido foram utilizados dados históricos observados (1986-2005) e dados simulados para o período histórico (1986-2005) e futuro (2015-2100) para as variáveis meteorológicas: precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima. Como referência foi utilizada a base de dados Brazilian Daily Weather Gridded Data (BR-DWGD) desenvolvida por Xavier et al. (2022), que consiste em séries históricas diárias, interpoladas com resolução espacial de 10km, para o período de 1961 a 2020. Esta base utilizou um total de 11473 estações pluviométricas e 1252 estações meteorológicas advindas da Agência Nacional de Águas (ANA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e incorpora informações de topografia na interpolação de dados de temperatura.

O sexto relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), o CMIP6 (Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados - Fase 6), disponibiliza resultados de 46 modelos

climáticos globais (MCG) com resolução diária. Para o estudo dos impactos das mudanças climáticas no zoneamento são desejáveis dados de precipitação e temperaturas máxima e mínima diárias. Também é desejável avaliar os resultados de pelo menos 3 combinações de trajetórias socioeconômicas compartilhadas e forçantes radiativas, os SSPs 1-2.6, 2-4.5 e 5-8.5. Desta forma, foram selecionados 17 modelos a serem avaliados (Tabela 1).

Tabela 1. Modelos do CMIP6 selecionados por apresentar todas as variáveis, resolução temporal e disponibilidade de trajetórias socioeconômicas para análise do impacto das mudanças climáticas no Zarc.

<b>Modelos CMIP6</b>	<b>Instituição</b>	<b>País</b>
<b>ACCESS-CM2</b>	CSIRO-ARCCSS (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australian Research Council Centre of Excellence for Climate System Science)	Australia
<b>BCC-CSM2-MR</b>	BCC (Beijing Climate Center)	China
<b>CanESM5</b>	CCCMA (Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis)	Canadá
<b>CMCC-ESM2</b>	CMCC (Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici)	Italia
<b>CNRM-CM6-1</b>	CNRM-CERFACS (National Center for Meteorological Research, Météo-France and CNRS laboratory, Climate Modeling and Global change)	França
<b>CNRM-ESM2-1</b>	CNRM-CERFACS (National Center for Meteorological Research, Météo-France and CNRS laboratory, Climate Modeling and Global change)	França
<b>GFDL-ESM4</b>	NOAA-GFDL (National Oceanic and Atmospheric Administration, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory)	Estados Unidos
<b>INM-CM4-8</b>	INM (Institute of Numerical Mathematics)	Rússia
<b>INM-CM5-0</b>	INM (Institute of Numerical Mathematics)	Rússia
<b>KIOST-ESM</b>	KIOST (Korea Institute of Ocean Science and Technology)	Coreia do Sul
<b>MIROC-ES2L</b>	MIROC (Atmosphere and Ocean Research Institute (AORI), Centre for Climate System Research - National Institute for Environmental Studies (CCSR-NIES) and Atmosphere and Ocean Research Institute (AORI))	Japão
<b>MIROC6</b>	MIROC (Atmosphere and Ocean Research Institute (AORI), Centre for Climate System Research - National Institute for Environmental Studies (CCSR-NIES) and Atmosphere and Ocean Research Institute (AORI))	Japão
<b>MPI-ESM1-2-HR</b>	MPI-M DWD DKRZ (Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M), German Meteorological Service (DWD), German Climate Computing Center (DKRZ))	Alemanha
<b>MPI-ESM1-2-LRMPI</b>	MPI-M AWI (Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M), AWI (Alfred Wegener Institute))	Alemanha
<b>MRI-ESM2-0</b>	MRI (Meteorological Research Institute, Japan)	Japão
<b>NESM3</b>	NUIST (Nanjing University of Information Science and Technology)	China
<b>NorESM2-MM</b>	NCC (Norwegian Climate Centre)	Noruega

Nessa primeira etapa do trabalho um grande esforço vem sendo empregado no desenvolvimento das rotinas de processamento e análise dos dados. Assim, apenas um primeiro modelo foi avaliado, o

desenvolvido pela instituição *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization and Bureau of Meteorology - Australia*, o *ACCESS-CM2*. Futuramente serão analisados os resultados dos outros modelos disponibilizados pelo CMIP6, em três trajetórias socioeconômicas (SSPs 1-2.6, 2-4.5 e 5-8.5).

O SSP1 inclui um pico e declínio na população (~7 bilhões em 2100), alta renda e desigualdades reduzidas, regulamentação efetiva do uso da terra, consumo menos intensivo de recursos, incluindo alimentos produzidos em sistemas de baixa emissão de GEE e menor desperdício de alimentos, livre comércio e tecnologias e estilos de vida sustentáveis. Em relação a outros caminhos, o SSP1 tem alta capacidade adaptativa;

O SSP2 inclui crescimento populacional médio (~9 bilhões em 2100), renda média, progresso tecnológico, padrões de produção e consumo são uma continuação de tendências passadas e ocorre apenas uma redução gradual da desigualdade. Em relação a outros caminhos, o SSP2 tem capacidade adaptativa média;

O SSP5 inclui um pico e declínio na população (~ 7 bilhões em 2100), alta renda, desigualdades reduzidas e livre comércio. Este caminho inclui produção, consumo e estilos de vida com uso intensivo de recursos. Em relação a outros caminhos, o SSP5 apresenta maiores desafios de mitigação, porém, menores desafios de adaptação (ou seja, alta capacidade adaptativa).

Utilizamos o nível de aquecimento médio global (GWL) como critério de recorte temporal para os cenários. Os níveis de aquecimento foram definidos com base no acordo de Paris, no qual o limiar para o aquecimento, em relação aos níveis pré-industriais, seria de 1.5 °C para que a sociedade consiga minimizar os impactos e ser assertiva em suas ações de adaptação. Analisamos cada cenário em três recortes de GWL. A linha de base abrange o período de 1986-2005 e comparamos a mudança em faixas de tempo de 20 anos centradas no ano em que a temperatura média global do MCG atinge 1,5; 2,0; e 4,0°C acima da temperatura pré-industrial. A Tabela 2 sintetiza os anos centrais em que o modelo ACCESS-CM2 atinge cada um dos 3 níveis de aquecimento, em cada um dos 3 cenários de emissões.

**Tabela 2:** Ano central em que o modelo ACCESS-CM2 atinge cada nível de aquecimento, em cada cenário. O cenário SSP1-2.6 e SSP2-4.5 não atingem 4.0 °C de aquecimento.

MCG	SSP1-2.6			SSP2-4.5			SSP5-8.5		
	GWL	GWL	GWL	GWL	GWL	GWL	GWL	GWL	GWL
	1.5	2.0	4.0	1.5	2.0	4.0	1.5	2.0	4.0
ACCESS-CM2	2027	2042	-	2028	2040	-	2025	2038	2071

A correção dos erros sistemáticos dos modelos climáticos é etapa fundamental para reduzir as incertezas dos cenários nos estudos de impactos, vulnerabilidade e adaptação aplicados. Essa etapa contempla: i) padronização da resolução espacial do modelo em relação a base referência, todas reamostradas para 25 km de resolução e ii) correção dos dados diários de Temperatura máxima, mínima e precipitação pelo método do Mapeamento Empírico de Quantis (CANNON; SOBIE; MURDOCK, 2015; DÉQUÉ, 2007; ITURBIDE et al., 2019; PIANI; HAERTER; COPPOLA, 2010). Este consiste em calibrar uma função de transferência sobre o período de controle, na escala temporal mensal, para mapear os quantis da função de distribuição cumulativa empírica da saída do modelo na distribuição observada correspondente.

**Zarc soja:** O risco climático para a cultura da soja seguiu os parâmetros descritos na nota técnica da PORTARIA SPA/MAPA Nº 75, DE 24 DE ABRIL DE 2023. A análise considerou apenas um tipo de solo, com média capacidade de armazenamento hídrico (CAD = 55 mm) e 100 dias de comprimento de ciclo. A análise contemplou somente o risco hídrico, decorrente do incremento da temperatura e alteração no regime de chuvas, conseqüentemente, da necessidade de água, através da análise de frequência de atingimento do ISNA (Índice de Satisfação das Necessidades de Água).

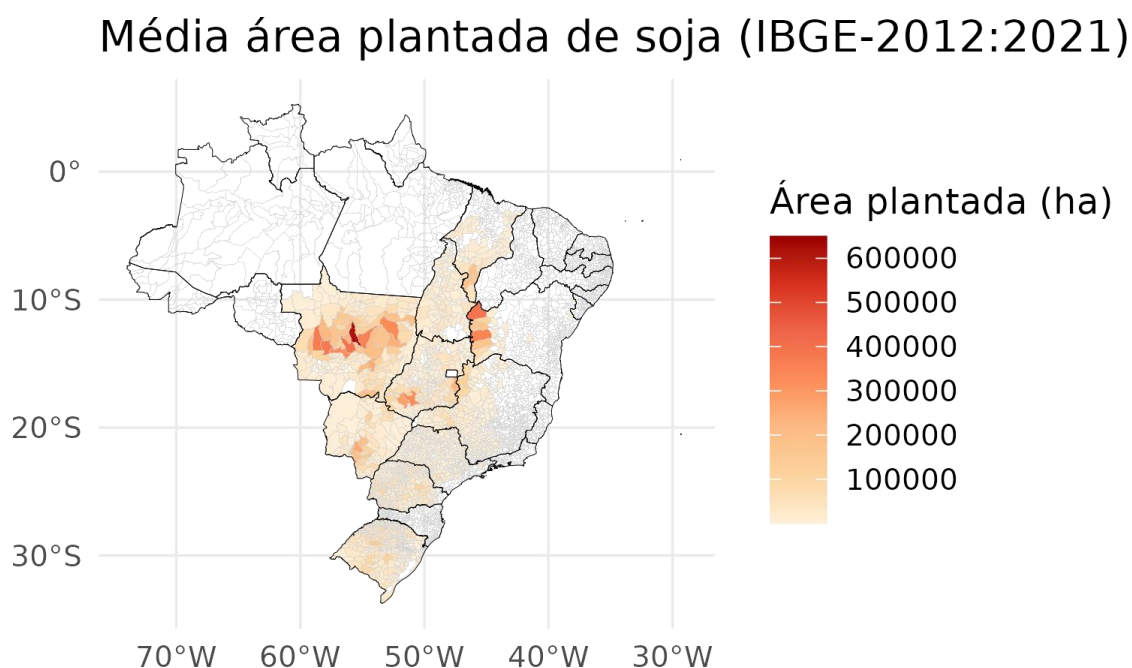
Foi avaliado o risco em 36 datas de plantio distintas (decêndios), com nove níveis de probabilidade (10% a 90%) de não atingir limiares críticos de ISNA nas fases 1 e 3 do desenvolvimento da planta. Essa análise foi conduzida para os cenários climáticos histórico e futuro, com viés corrigido. O processamento utilizou a mesma infraestrutura de simulação, Galaxy Project (BARBOSA; MACIEL, 2017), atualmente utilizada para os estudos de ZARC conduzidos pela Embrapa.

De posse dos mapas do risco hídrico nos diferentes decêndios de plantio, calculou-se um valor de risco agregado estadual. Este procedimento, executado para os 10 estados com maior área plantada de soja, consistiu em i) extrair o menor valor de risco que cobre pelo menos 25% da área municipal e ii) calcular o risco estadual a partir da média ponderada do risco municipal em razão da área plantada de soja nos anos de 2012 e 2021 (Produção Agrícola Municipal, PAM/IBGE).

Por fim, os riscos para cada um dos decêndios de plantio foram comparados, considerando o período histórico, os 3 cenários futuros (SSPs) e 3 níveis de aquecimento. Foram consideradas alterações no risco médio em cada um dos decêndios, no número de decêndios de baixo risco (janela de plantio) e no deslocamento da época de plantio (deslocamento de janela).

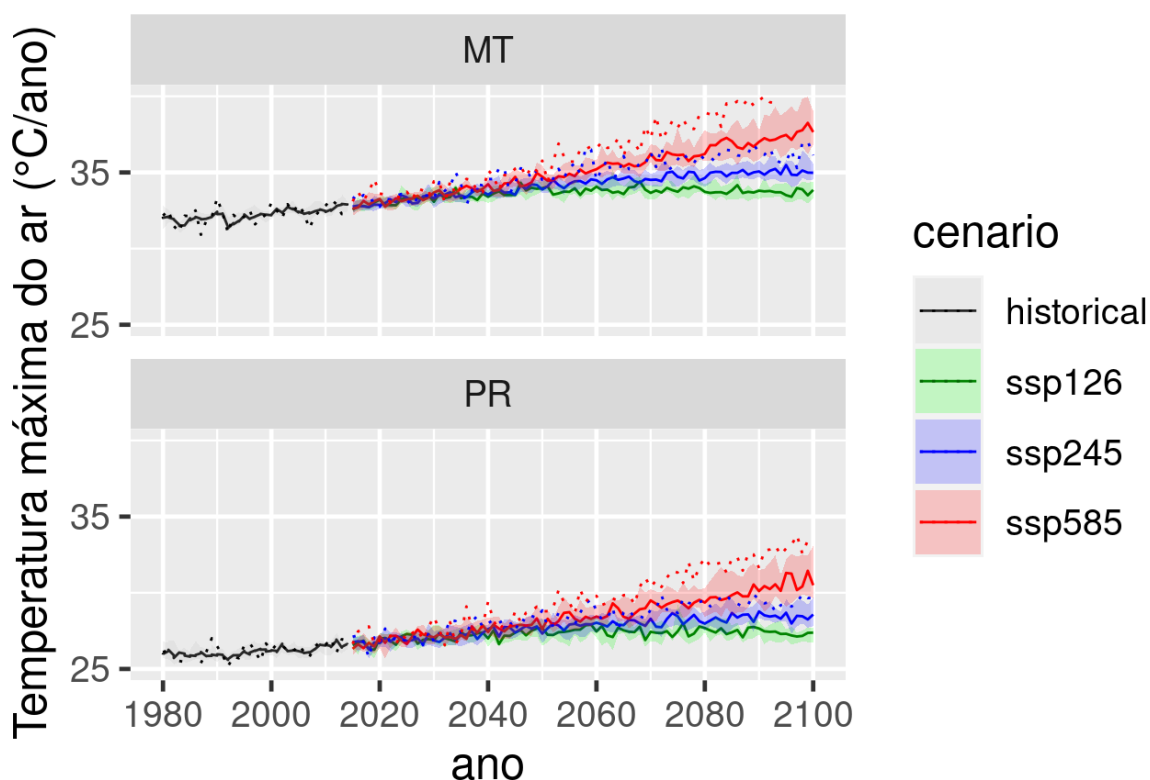
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a média da área plantada de soja durante os anos de 2012 a 2021 nos municípios brasileiros. Durante esse período, os estados do RS, PR, SP, MG, MT, MS, GO, TO, BA, MA, foram os destaques de produção de soja no país. Os estados de Mato Grosso, Bahia e Goiás possuem municípios com as maiores áreas plantadas, acima de 400 000 hectares.



**Figura 1:** Média da área plantada de soja entre 2012-2021. Fonte: Produção Agrícola Municipal - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (PAM/IBGE-SIDRA).

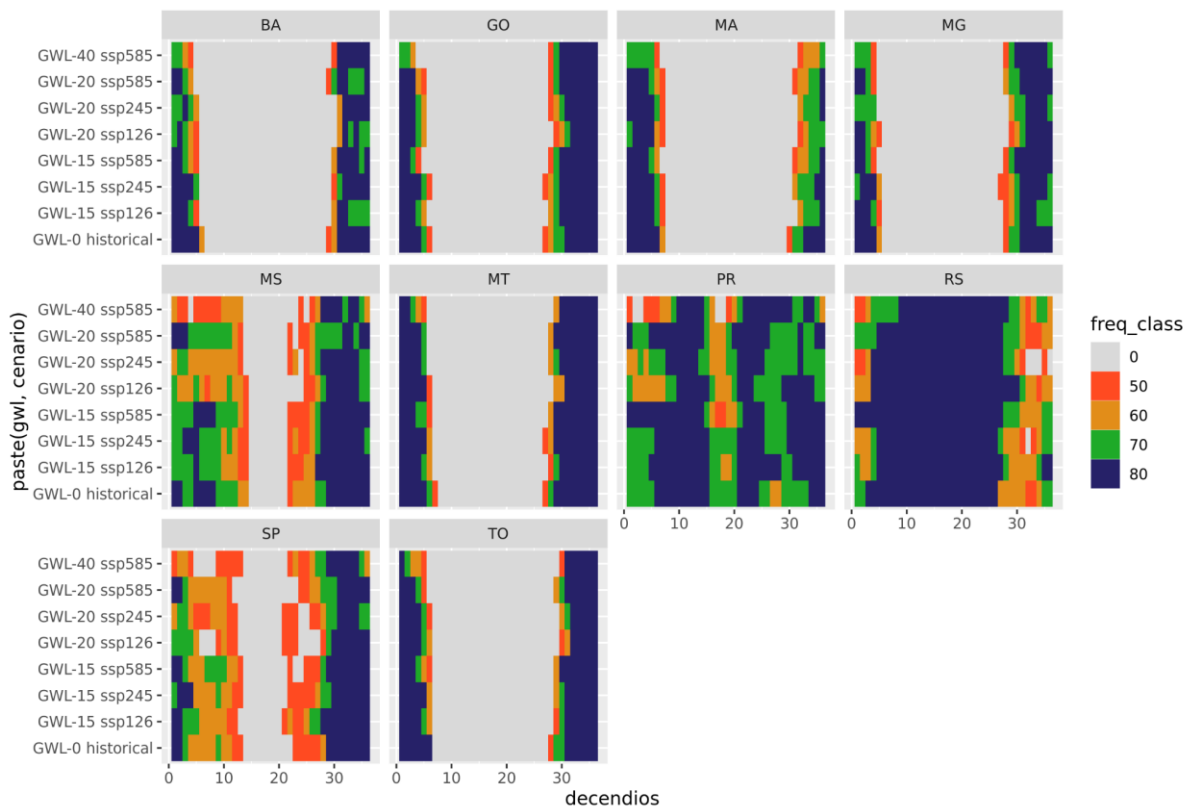
A Figura 2 apresenta a série histórica de temperatura máxima para o histórico e cenários futuros para os estados de MT e PR.



**Figura 2:** Série temporal dos dados de temperatura máxima, das médias anuais, para o período de 1980 a 2100 dos modelos climáticos do CMIP6, com disponibilidade de dados diários. Os gráficos indicam a mediana das séries temporais nos estados do MT e PR. A linha tracejada representa o modelo ACCESS-CM2 utilizado neste trabalho. A área sombreada representa a faixa de valores nos percentis 25% a 75% dos valores dos modelos climáticos. A linha contínua representa a mediana de todos os modelos.

Todos os cenários avaliados indicam aumentos na temperatura máxima até o ano de 2100. No entanto, o aumento mais expressivo ocorre no cenário SSP 5-8.5, em ambos os estados avaliados. O modelo ACCESS-CM2 encontra-se no percentil acima de 75% em relação aos outros modelos do CMIP6 avaliados. Trata-se de um modelo que indica um cenário de temperaturas máximas mais altas em relação aos demais modelos do CMIP6, até o ano de 2100, nos SSPs 2-4.5 e 5-8.5.

A Figura 3 apresenta o risco climático médio por estado, para os 36 decêndios, considerando os cenários e níveis de aquecimento.



**Figura 3:** Resultados do Zarc soja-100 dias para o modelo ACCESS-CM2. Risco médio para os 36 decêndios, nos diferentes cenários e níveis de aquecimento, avaliado para os 10 estados que se destacam em relação à produção de soja no Brasil.

Considerando esse resultado, com o modelo ACCESS-CM2, podemos identificar três tipologias de mudanças em relação ao histórico: 1- No sentido de reduções no número de decêndios com baixo risco (janela de plantio); 2- Aumento do risco nos decêndios com baixo risco; 3 - Deslocamento na janela de baixo risco.

Para o estado da Bahia, notamos que há um aumento do risco nos primeiros decêndios do ano. Enquanto o período histórico apresenta frequência de 80% de sucesso, os cenários futuros, independentemente de níveis de aquecimento e emissões, apresentam frequência de sucesso reduzida. A redução da frequência de sucesso está associada à diminuição da janela de plantio.

No Brasil central, na área que contempla os estados de GO, MT, TO, os resultados são semelhantes. Nessa região, identificamos redução das janelas em todos os cenários, porém com mudança acentuada no mais extremo (SSP5-8.5/ GWL 4.0).

Para o estado do MA as alterações concentram-se nos decêndios finais do ano, com redução da frequência de sucesso. Enquanto o histórico apresenta decêndios com pelo menos 80% de frequência de sucesso, no futuro apresentam frequências inferiores, o que resulta em reduções na janela de plantio. Já para Minas Gerais, as maiores alterações ocorrem nos decêndios iniciais do ano.

Para os estados de MG e SP as alterações estão mais evidentes no cenário mais extremo (SSP5-8.5/GWL4.0), marcada por redução no número de decêndios aptos.

No Paraná e Rio Grande do Sul as alterações deram-se na forma de deslocamento e aumento de janela. Cabe ressaltar que esse estudo preliminar não contempla o risco térmico, fator relevante para a cultura da soja nos estados da região sul.



## CONCLUSÃO

Os resultados referentes aos cenários, apesar de iniciais, indicaram mudanças coerentes com os já citados na literatura, isto é, aumento do risco climático nas áreas que atualmente contemplam a cultura da soja. Tais resultados sugerem uma demanda de ações de adaptação específicas para o atual sistema produtivo que contempla a segunda safra. Embora essencial para a remoção dos erros sistemáticos, a correção de viés não reduz a incerteza sobre as projeções climáticas. A técnica apropriada para reduzir a incerteza sobre as projeções é aumentar o número de modelos e cenários nas análises de impacto, que é a proposta do projeto de pesquisa em andamento. Além disso, o projeto também irá contemplar os riscos térmicos, como o aumento na frequência de dias muito quentes. Estas serão incluídas nas próximas análises a serem realizadas

## AGRADECIMENTOS

Projeto 576 - FAPED/CNPTIA/BCB/ZARC n. 10200.19/0059-2

## REFERÊNCIAS

ALEXANDER, L. et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, v. 111, n. D5, p. D05109, 2006.

ARIAS, D.; MENDES, P.; ABEL, P. **Revisão Rápida e Integrada Da Gestão de Riscos Agropecuários No Brasil: Caminhos Para Uma Visão Integrada. Riscos Agropecuários No Brasil**. Brasília: [s.n.].

ASSAD, E. Sistemas agrícolas adaptados às mudanças climáticas. *Ciência e Cultura*, v. 73, n. 1, p. 35-40, jan. 2021.

BARBOSA, D.; MACIEL, R. **Automatização do processo de geração dos resultados do projeto Zarc**. . Resumos Expandidos: XIII Mostra de Estagiários e Bolsistas. Embrapa Agricultura Digital. **Anais...Campinas-SP-Brasil: EMBRAPA, 2017.**

BREKKE, L. et al. **Climate change and water resources management-a federal perspective**. [s.l: s.n.].

CANNON, A.; SOBIE, S.; MURDOCK, T. Bias Correction of GCM Precipitation by Quantile Mapping: How Well Do Methods Preserve Changes in Quantiles and Extremes? *Journal of Climate*, v. 28, n. 17, p. 6938-6959, 2015.

CARBONE, G. Managing climate change scenarios for societal impact studies. *Physical Geography*, v. 35, n. 1, p. 22-49, 2 jan. 2014.

DÉQUÉ, M. Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: Model results and statistical correction according to observed values. *Global and Planetary Change*, v. 57, n. 1, p. 16-26, 2007.

DESSAI, S. et al. Climate prediction: a limit to adaptation? Em: LORENZONI, I.; O'BRIEN, K. L.; ADGER, W. N. (Eds.). **Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance**. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. p. 64-78.

EYRING, V. et al. Taking climate model evaluation to the next level. *Nature Climate Change*, v. 9, n. 2, p. 102-110, 2019.

GETIRANA, A.; LIBONATI, R.; CATALDI, M. Brazil is in water crisis - it needs a drought plan. **Nature** **2021** **600:7888**, v. 600, n. 7888, p. 218-220, 8 dez. 2021.

GHINI, R. et al. Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 2, p. 187-194, fev. 2008.

GIANNINI, T. et al. Projected climate change threatens pollinators and crop production in Brazil. **PLOS ONE**, v. 12, n. 8, p. e0182274, 9 ago. 2017.

HAUSFATHER, Z. **CMIP6: The next generation of climate models explained 2019** .

HIRABAYASHI, Y. et al. Global flood risk under climate change. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 9, p. 816-821, 2013.

IPCC-WG I. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. (H.-O. Pörtner et al., Eds.) **Summary for Policymakers**. Cambridge, UK and New York, NY, USA: [s.n.].

IPCC-WGII. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Em: PÖRTNER, H.-O. et al. (Eds.). **Summary for Policymakers**. Cambridge, UK and New York, NY, USA: [s.n.].

ITURBIDE, M. et al. The R-based climate4R open framework for reproducible climate data access and post-processing. **Environmental Modelling & Software**, v. 111, p. 42-54, 2019.

MILLY, P. C. D. et al. Increasing risk of great floods in a changing climate. **Nature**, v. 415, n. 6871, p. 514-517, 2002.

NIE, S. et al. Comparison of monthly air and land surface temperature extremes simulated using CMIP5 and CMIP6 versions of the Beijing Climate Center climate model. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 140, n. 1, p. 487-502, 2020.

OLIVEIRA, E. Seca provoca perdas de R\$ 70 bilhões com redução da colheita de grãos. **O Globo-Economia**, 23 fev. 2022.

O'NEILL, B. C. et al. The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. **Geoscientific Model Development**, v. 9, n. 9, p. 3461-3482, 2016.

PIANI, C.; HAERTER, J. O.; COPPOLA, E. Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 99, n. 1, p. 187-192, 2010.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; ZULLO JUNIOR, J.; EVANGELISTA, S. R. M.; OTAVIAN, A. F.; ÁVILA, A. M. H. de; EVANGELISTA, B. A.; MARIN, F. R.; MACEDO JUNIOR, C.; PELLEGRINO, G. Q.; COLTRI, P. P.; CORAL, G. A nova geografia da produção agrícola no Brasil. In: DECONTO, J. G. (Coord.). **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária: Unicamp, 2008. p. 24-71.

POZZA, E.; ALVES, M. Impacto do potencial das mudanças climáticas sobre as doenças fúngicas do cafeeiro no Brasil. Em: GHINI, R.; HAMADA, E. (Eds.). **Mudanças climáticas: impactos**

- sobre doenças de plantas no Brasil.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 213-233.
- PRABHU, A.; SILVA, S.; FILLIPI, M. Impacto do potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do arroz no Brasil. Em: GHINI, R.; HAMADA, E. (Eds.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 141-158.
- RIVERA, J.; ARNOULD, G. Evaluation of the ability of CMIP6 models to simulate precipitation over Southwestern South America: Climatic features and long-term trends (1901-2014). **Atmospheric Research**, v. 241, p. 104953, 2020.
- ROWLAND, E.; CROSS, M.; HARTMANN, H. **Considering Multiple Futures: Scenario Planning To Address Uncertainty in Natural Resource Conservation.** Washington, DC: [s.n.].
- SETTELE, J.; BISHOP, J.; POTTS, S. Climate change impacts on pollination. **Nature Plants**, v. 2, n. 7, p. 16092, 2016.
- SONG, Y. et al. Advances in CMIP6 INM-CM5 over CMIP5 INM-CM4 for precipitation simulation in South Korea. **Atmospheric Research**, v. 247, p. 105261, jan. 2021.
- SPINONI, J. et al. A new global database of meteorological drought events from 1951 to 2016. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 22, p. 100593, 2019.
- STEVANOVIĆ, M. et al. The impact of high-end climate change on agricultural welfare. **Science Advances**, v. 2, n. 8, 5 ago. 2016.
- TERANDO, A. et al. **Using information from global climate models to inform policymaking-The role of the U.S. Geological Survey Open-File Report.** Reston, VA: [s.n.]. Disponível em: <<http://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr20201058>>.
- VIECELI, L. Seca e geadas devem tirar ao menos R\$ 60 bi do PIB deste ano, indica consultoria. **Folha de S. Paulo, Acesso em: 27 de ago. de 2022**, 21 ago. 2021.
- XAVIER, A. et al. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961-2020). **International Journal of Climatology**, v. 42, n. 16, p. 8390-8404, 30 dez. 2022.

# MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PERCEPÇÃO DE PROFESSORES E PROFESSORAS DE ESCOLAS PÚBLICAS DO SEMIÁRIDO CEARENSE

**MARIA EUBÊNIA DE SOUSA PINTO**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Discente. avenida silas munguba. UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ; <sup>2</sup>Discente. avenida silas munguba. UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ

## RESUMO

Dados divulgados por órgãos oficiais como o Intergovenmental Panel on Climate (IPCC) e por diversas pesquisas científicas afirmam que as mudanças climáticas são um dos principais problemas deste século. E, que o semiárido brasileiro e o bioma caatinga são extremamente vulneráveis a essas alterações do clima. Nesse contexto, o desenvolvimento de ações voltadas à conscientização da população quanto às consequências desse fenômeno são fundamentais para o êxito nos processos de mitigação e adaptação. Certamente, essa ação perpassa pela educação. A partir dessa concepção esse estudo objetivou conhecer a percepção sobre as mudanças climáticas de professores e professoras da educação básica que ensinam nos municípios de Pentecoste e São Gonçalo do Amarante, estado do Ceará, nas escolas do semiárido cearense. Para tanto, foram realizadas pesquisas bibliográficas utilizando-se de livros, artigos, dissertações, dentre outros; pesquisa documental, utilizando como fonte, marco legal que normatizam a educação brasileira; pesquisa desenvolvida por meio da ferramenta tecnológica Google Forms realizada nos municípios de Pentecoste e São Gonçalo do Amarante, através da aplicação de formulários para 29 professores e professoras que atuam na educação básica desses municípios. Na pesquisa foram considerados docentes de diferentes áreas do conhecimento e todos os componentes que compõem o currículo da educação básica, sendo 22% com formação acadêmica em Pedagogia, 17% em Português, 14% em Geografia, 14% em Matemática, 11% em História, 8% em Ciências, 5% em Inglês, 3% em física, 3% em Química e 3% em Filosofia. As informações coletadas por meio dos formulários foram analisadas de forma qualitativa e quantitativa. Os dados foram gerados por meio da ferramenta tecnológica Google Formulários. A partir dos resultados, verificou-se que os professores e as professoras têm ciência da ocorrência das mudanças climáticas, já conseguem sentir as alterações do clima no seu dia a dia e acreditam que a educação tem grande potencial de contribuição para o processo de mitigação e adaptação ao fenômeno climático corrente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Clima; Ambiente; Educação;;

## INTRODUÇÃO

Atualmente vivemos em um mundo globalizado, uma época de grande crescimento econômico, científico e tecnológico. Na maioria das sociedades deste início de século, as informações circulam instantaneamente, muitas culturas se entrelaçam. A mobilidade de pessoas e mercadorias se intensificou. Até chegar a este estágio a humanidade utilizou muito dos recursos da natureza, desmatou demasiadamente, explorou os combustíveis fósseis, degradou o solo, poluiu as águas, o ar, dentre outros. Vivemos agora uma crise ecológica que segundo Leonardo Boff (1995, p.16) é fruto do modelo de sociedade moderna, que promove valores de uma cultura destrutiva da vida no planeta Terra.

Neste contexto, as mudanças climáticas vem configurando-se temas geradores de diversos debates em diferentes instituições de ensino e pesquisa no Brasil e no mundo o que demonstra a relevância nessa área. Esse fato decorre da percepção pela comunidade científica do aumento da temperatura do planeta em ritmo cada vez mais acelerado. As mudanças no clima da Terra acontecem devido a uma dinâmica da própria natureza, o que tem gerado motivo de preocupação é a intensidade com que essas transformações estão ocorrendo.

Muitos estudos científicos apontam a emissão de gases do efeito estufa na atmosfera como sendo um dos principais aceleradores desse processo. Estudos comprovam a grande concentração de carbono 12 na atmosfera, o carbono originário da queima de combustíveis fósseis como, carvão, petróleo e gás natural (IPCC, 2013). Boff (1995) faz uma crítica severa a este modelo de sociedade predatória que explora demasiadamente os recursos naturais sem se preocupar com as consequências para o planeta e as diversas formas de vida. Para ele, o modo de vida moderna é o verdadeiro causador da crise ecológica. Para Boff só uma mudança de paradigma é capaz de restaurar o equilíbrio ambiental.

O Brasil, país situado na zona equatorial e intertropical, compreende uma das áreas de maior vulnerabilidade principalmente na sua porção semiárida, onde a população sofre bastante com as alterações climáticas. O aumento das temperaturas, longos períodos de seca, processos de desertificação já são uma realidade de muitas dessas comunidades. Segundo dados da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme), o Ceará tem 11,45% do seu território em processo de desertificação. Pentecoste e São Gonçalo do Amarante, área de abrangência do presente estudo, são municípios que compõem o semiárido cearense e estão sujeitos a esses impactos. Diante disso, é cada vez mais urgente desenvolver estudos que analisem as mudanças no clima brasileiro, principalmente dessas áreas mais vulneráveis.

## **OBJETIVOS**

O objetivo geral desta pesquisa visa contribuir para o conhecimento da percepção dos professores e professoras do ensino fundamental da rede pública municipal de Pentecoste e de São Gonçalo do Amarante -Ceará em relação aos impactos das mudanças climáticas no semiárido cearense e no bioma caatinga. E como objetivos específicos: Debater sobre os efeitos das mudanças climáticas em diferentes escalas local, regional e global bem como seus impactos sobre o semiárido brasileiro e o bioma caatinga; Discutir a importância da educação ambiental e do papel dos docentes no contexto das mudanças climáticas; Analisar o nível de percepção dos professores e professoras acerca das mudanças climáticas no semiárido cearense.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os procedimentos metodológicos aqui elencados caracterizaram-se pela pesquisa bibliográfica, pesquisa documental e pesquisa online por meio de formulários via grupos de whatsapp, plataformas digitais e e-mail, estruturadas e desenvolvidas em caráter exploratório e descritivo, proporcionando a familiaridade com o problema e a descrição das percepções determinadas pelos sujeitos participantes. Além disso, apresenta uma abordagem quantitativa e qualitativa integrando procedimentos quantitativos e qualitativos ao longo dos momentos da investigação, constituindo-se, portanto, em uma pesquisa mista. A ferramenta utilizada para a coleta de dados foi o questionário, esta opção ocorreu em virtude da impossibilidade da pesquisa de campo, visto que, a coleta de dados ocorreu no auge da pandemia da Covid-19. Dessa forma foi elaborado um questionário semi estruturado por meio da ferramenta tecnológica Google Forms. O questionário aplicado seguiu os critérios do termo de consentimento livre e esclarecido na coleta das informações junto aos sujeitos participantes obedecendo à resolução Nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Esta etapa da pesquisa apresenta os resultados dos dados coletados por meio de questionários online, bem como a discussão da relação entre estes dados e a fala de alguns autores apresentados no referencial teórico. O questionário foi estruturado em três seções com as seguintes temáticas: mudanças climáticas, percepção ambiental e educação ambiental no contexto das mudanças climáticas. Deste modo foi possível estruturar os resultados em duas grandes categorias sendo elas: percepção dos docentes sobre as mudanças climáticas globais e seus impactos em diferentes escalas:

local, regional e global com ênfase no semiárido e a percepção dos professores e professoras sobre a abordagem da educação ambiental e do tema mudanças climáticas no ensino fundamental.

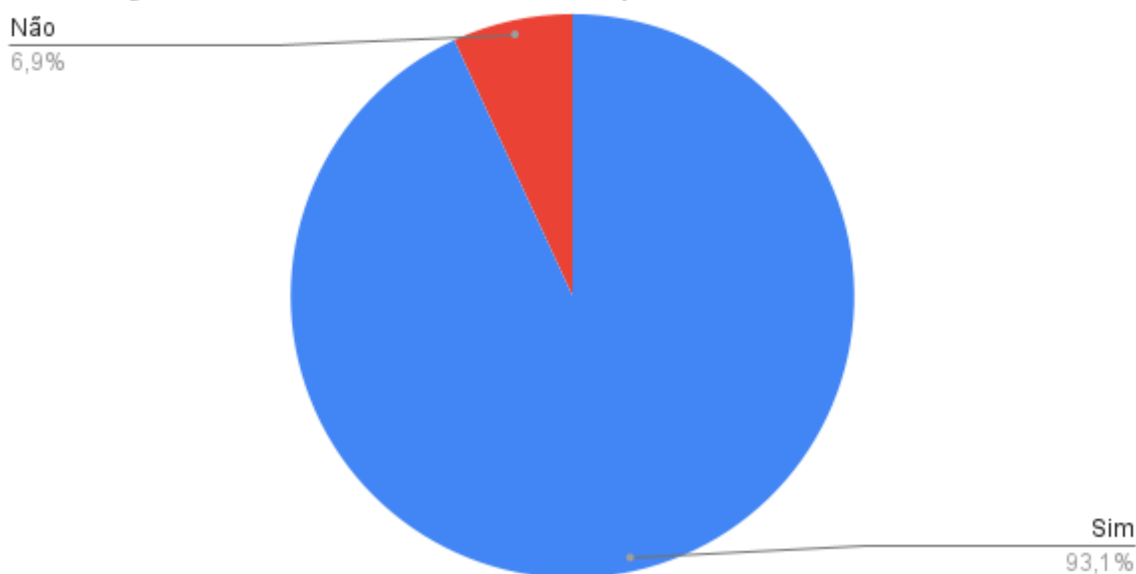
Diante disso, apresenta-se uma análise interpretativa dos dados coletados a partir da aplicação dos formulários com o objetivo de contribuir para a compreensão da percepção docente da rede pública municipal de Pentecoste e São Gonçalo do Amarante, em relação aos impactos das mudanças climáticas no bioma Caatinga do semiárido cearense. A pesquisa foi realizada por meio de formulários com 29 docentes da educação básica de diferentes modalidades de ensino sendo: Educação Infantil, Ensino Fundamental, Ensino Médio e Educação de Jovens e Adultos. Embora a análise tenha contemplado todas essas modalidades, foi dada ênfase ao ensino fundamental anos finais, ou seja, a etapa que contempla professores de estudantes do 6º ao 9º ano.

Na aplicação dos formulários não foi feita seleção de componente curricular, ou seja, foi aplicado para docentes de todas as áreas de ensino. Foram obtidas respostas de professores de diferentes componentes: Português, Matemática, Ciências, História, Geografia, Inglês, Arte Educação, Ensino Religioso, Educação Física, Filosofia, Sociologia e Biologia. Nesta perspectiva buscou-se evidenciar a inter-relação entre os componentes.

O formulário foi estruturado em duas seções: a primeira sobre mudanças climáticas e a segunda sobre a percepção dos professores e professoras no contexto das mudanças climáticas e sobre a educação ambiental no ensino fundamental. As perguntas distribuídas nas duas seções totalizaram 20 questões. Sendo questões discursivas e de múltipla escolha. As respostas obtidas na pesquisa possibilitaram agrupar os resultados em duas categorias. A primeira trata da percepção dos docentes sobre as mudanças climáticas globais e seus impactos em diferentes escalas: local, regional e global com ênfase no semiárido cearense; a segunda trata da percepção dos professores e professoras sobre a abordagem da educação ambiental e do tema mudanças climáticas no ensino fundamental. A análise dos resultados seguiu a categorização definida por Bardin (1977), parafraseando este autor, as categorias são classes as quais reúnem um conjunto de elementos sob um título genérico, agrupamento esse efetuado em razão das características comuns destes elementos. Foi obtida resposta para os seguintes questionamentos: a primeira pergunta buscou conhecer como os participantes da pesquisa conceituam mudanças climáticas.

A maioria das respostas descreve mudanças climáticas como sendo uma alteração no clima ao longo do tempo. Na pergunta seguinte buscou-se conhecer o nível de confiança dos participantes no que dizem os cientistas e a mídia sobre as mudanças climáticas. A terceira pergunta buscou identificar a opinião dos participantes sobre a interferência antrópica no processo de aquecimento global e mudanças climáticas e da percepção dos efeitos deste processo no cotidiano dos participantes. As demais perguntas tratam de: identificar a opinião dos docentes sobre a vulnerabilidade do semiárido brasileiro com as mudanças climáticas e conhecer o nível de proatividade dos docentes no enfrentamento às mudanças climáticas no semiárido cearense. Para tanto, gerou-se os resultados que se seguem.

## Contagem: você concorda que o aquecimento global e mudanças climática são causados por atividades humanas ?



Gráfico

### CONCLUSÃO

Dentre as respostas da maioria dos respondentes constatou-se que muitos têm conhecimentos sobre essa temática, confiam no que os cientistas afirmam sobre esse assunto, concordam que os seres humanos são os principais responsáveis pelo aquecimento global e também se sentem sensibilizados com as questões ambientais. Além disso, muitos se afirmam dispostos a mudar seu estilo de vida para terem uma sociedade mais sustentável. Todos os participantes afirmam que já sentem os efeitos das mudanças climáticas em seu dia a dia e quase a totalidade dos respondentes concordam que o semiárido brasileiro é extremamente vulnerável às mudanças climáticas.

Diante disso é extremamente importante o despertar para essa problemática e a sala de aula é o lugar adequado para ser palco dessas discussões, visto que, é o espaço de construção do conhecimento, o lugar oportuno a quebra de paradigmas e a construção de um novo arquétipo que priorize a natureza em prol de uma sociedade sustentável melhor para se viver. Nesse contexto, 89,7% dos participantes desta pesquisa consideraram a educação ambiental extremamente importante no contexto das mudanças climáticas. Cerca de 96,6% acreditam que a educação ambiental é papel não só da escola, mas também da família e da sociedade.

Nessa perspectiva 96,6% dos professores participantes concordam que as mudanças climáticas é um tema que deve ser ensinado na sala de aula e que a educação ambiental deve estar presente em todas as etapas da educação e em todas as modalidades de ensino. Muitos dos respondentes, cerca de 79,3% afirmam que o principal material que eles utilizam em suas aulas, ou seja, o livro didático aborda essa temática. Eles também acreditam que a escola pode contribuir com a formação de sujeitos ativos e conscientes de suas responsabilidades socioambientais a partir da formação dos docentes, da elaboração de projetos e da oferta de palestras na escola.

Diante das colocações aqui elencadas formuladas a partir dos estudos teóricos e empíricos sobre a temática, mudança climática na percepção de professores do semiárido brasileiro foi possível constatar que esses profissionais têm ciência da ocorrência deste fenômeno e de seus impactos para o semiárido brasileiro e que a educação tem um grande potencial na mitigação e no processo

adaptativo diante desse contexto. Ações já estão sendo postas em prática nas escolas, entretanto diante da celeridade, magnitude e intensidade deste fenômeno as ações precisam ser mais enérgicas, constantes e eficazes.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Rafaela Gomes de; CAVALCANTE, Arnóbio de Mendonça Barreto; SILVA, Emerson Mariano da. Impactos das Mudanças Climáticas no Bioma Caatinga na Percepção dos Professores da Rede Pública Municipal de General Sampaio - Ceará. Revista Brasileira de Meteorologia, [S.l.], v.35, n.3, p.397-405, set. 2020.

ALCÂNTARA, Liliane Cristine Schlemmer; SAMPAIO, Carlos Alberto Cioce. Bem Viver como paradigma de desenvolvimento: utopia ou alternativa possível?. Desenvolvimento e Meio Ambiente, [S.l.], v.40, p.231-251, abr. 2017.

ANGELOTTI, Francislene; FERNANDES JÚNIOR, P. I.; SA, IB de. Mudanças climáticas no Semiárido brasileiro: medidas de mitigação e adaptação. Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado-ALICE, Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v.4, n.6, p.1097-1111, 2011. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/923057>. Acesso em: 24 abr. 2021

ANGELOTTI, F; SIGNOR, D; GIONGO, V. Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro: Experiências e Oportunidades para o Desenvolvimento. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v.08, p.484-495, 2015

AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. 9.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

BARROS, Loraine Victória Rodrigues de. Conscientizar os alunos da educação infantil sobre a importância de preservar o meio ambiente. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Educação Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso do Sul, 2016. Disponível em: <https://revista.ea.org/pf.php?idartigo=2883>. Acesso em: 02 jun. 2021.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, DF: MEC, 2017. 468p.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros Curriculares Nacionais: Geografia. Brasília, DF: MEC, 1998.

BRASIL. Lei 9.795/1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Brasília, DF: Planalto, 1999. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19795.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19795.htm). Acesso em: 23 abr. 2021

BRASÍLIA. Legislação brasileira sobre mudanças climáticas. Comissão Mista Permanente Sobre Mudanças Climáticas. 2013. CMMC Criada pela Resolução no 4/2008-CN. São Paulo: CETESB, 2013. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima>. Acesso em: 25 mar. 2022.



## ***Dinâmica espaço-temporal e tendências de chuva, vazão e uso do solo no rio paraíba***

**Ailton A. de Carvalho**<sup>1</sup>; **Marcelo J. G. da Silva**<sup>2</sup>; **Fabiane R. da C. Batista**<sup>2</sup>; **Jucilene Silva Araújo**<sup>2</sup>; **Jhon L. B. da Silva**<sup>1</sup>; **Abelardo A. A. Montenegro**<sup>5</sup>; **Thieres G. F. da Silva**<sup>6</sup>; **Marcos V. da Silva**<sup>4</sup>; **Joelma Dias**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bolsista. Rua Vereador Joaquim Pereira Barbosa, S/N Bairro: Serrotão Campina Grande - PB 58105-007. Instituto Nacional do Semiárido; <sup>2</sup>Pesquisador. Rua Vereador Joaquim Pereira Barbosa, S/N Bairro: Serrotão Campina Grande - PB 58105-007. Instituto Nacional do Semiárido; <sup>3</sup>Professor. UFRPE. Instituto Nacional do Semiárido; <sup>4</sup>Pesquisador. UFAL. Instituto Nacional do Semiárido; <sup>5</sup>Professor. UFRPE. Instituto Nacional do Semiárido; <sup>6</sup>Professor. UAST/UFRPE. Instituto Nacional do Semiárido

### **RESUMO**

A detecção e monitoramento das mudanças no uso e cobertura do solo desempenham um papel crucial no entendimento da degradação da terra e são fundamentais para a preservação dos agroecossistemas. A sua associação com informações hidrológicas, permite obter respostas essenciais sobre as mudanças nos padrões hidrológicos, contribuindo para a segurança hídrica nas bacias hidrográficas. Assim, esse teve como objetivo fazer uma avaliação da dinâmica espaço-temporal e tendências físico-hídrica da precipitação, vazão e uso do solo na bacia do Rio Paraíba. O estudo foi realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, utilizando dados de uso do solo e informações de estações pluviométricas e fluviométricas com séries temporais com mais de 30 anos. Para verificar tendências, foi adotado o teste estatístico de Mann-Kendall. Os resultados da análise indicam tendências de redução anual tanto na área de floresta nativa como nos corpos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Em contrapartida, a área destinada à agropecuária apresentou um aumento significativo. A análise da correlação entre corpos hídricos e floresta ( $R^2 = 0,63$ ), evidencia forte associação entre a diminuição da área de floresta e a redução na disponibilidade hídrica. Esse cenário tem influenciado na diminuição da vazão anual. Esse contexto serve como um alerta para ampliar a gestão dos recursos hídricos na região, visando preservar e utilizar de forma sustentável. A implementação de medidas de conservação, monitoramento e manejo adequado é necessária para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças no uso do solo e garantir a disponibilidade de água de forma sustentável.

**PALAVRAS-CHAVE:** Redução da Caatinga; Semiárido; Precipitação;;

### **INTRODUÇÃO**

As mudanças no uso e cobertura do solo são a principal causa da degradação da terra em escala global. A detecção e o monitoramento dessas mudanças têm contribuído significativamente para um maior entendimento desse processo. Esse conhecimento é crucial para o desenvolvimento de políticas mais efetivas no combate à degradação do solo e na preservação do meio ambiente (Melo et al., 2022). Além disso, a identificação dos fatores de degradação é fundamental para a preservação do agroecossistema e para a tomada de decisões que visem ações mitigadoras, com foco na conservação do meio ambiente e na melhoria das práticas agrícolas no semiárido brasileiro (Oliveira Júnior et al., 2023).

Devido à exploração desordenada dos recursos naturais para a expansão de áreas agrícolas e a produção de lenha e carvão, a Caatinga sofreu uma perda de cerca de 37% de sua cobertura vegetal nativa entre 1985 e 2021, de acordo com dados do projeto de mapeamento de uso da terra e cobertura da terra no Brasil - MapBiomas Brasil (Souza et al., 2020; Projeto MapBiomas Brasil, 2023).

O diagnóstico espaço-temporal da variabilidade climática e das mudanças ambientais em regiões áridas e semiáridas é de extrema importância para mitigar as pressões e impactos sobre os ecossistemas naturais. Nesse contexto, o uso de técnicas de sensoriamento remoto e imagens de satélite tem sido essencial para detectar essas mudanças e os processos de degradação ambiental da cobertura vegetal e dos recursos hídricos por meio de parâmetros físico-hídricos na superfície. Esses

dados têm sido essenciais para o acompanhamento e a tomada de decisões em relação ao uso e manejo do solo e dos recursos naturais em todo o Brasil (Silva et al., 2023).

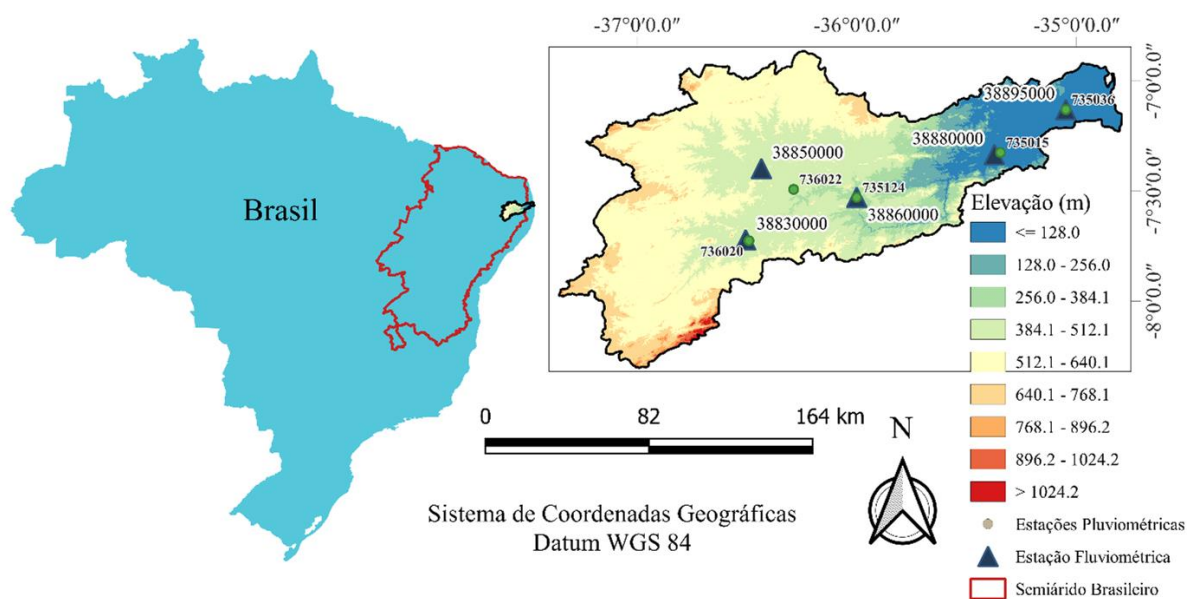
A precipitação é um fator essencial nos processos hidrológicos (por exemplo, erosão, inundação e recarga de aquíferos). Nesse sentido, a distribuição espaço-temporal das chuvas tem grande impacto no ciclo hidrológico, na segurança hídrica, na agricultura, na gestão dos recursos hídricos e em diversas atividades econômicas e produtivas no contexto de bacias hidrográficas (Sousa et al., 2023), e nos últimos anos, no Semiárido brasileiro, vem ocorrendo mudanças significativas no regime pluviométrico e na temperatura em diversos locais do Semiárido (Carvalho et al., 2020).

## OBJETIVOS

A presente pesquisa teve como objetivo fazer uma avaliação da dinâmica espaço-temporal e tendências físico-hídrica da precipitação, vazão e uso do solo na bacia do Rio Paraíba.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, situada entre as latitudes 8°0'00" e 8°45'00" S e longitudes 37°45'00" e 38°45'00" W. Essa bacia abrange desde a região do Sertão até a Zona da Mata, desaguando no mar do Estado da Paraíba, compondo uma área de 20123.4 km<sup>2</sup>. Para a pesquisa, foram selecionadas cinco estações pluviométricas e fluviométricas com séries temporais de mais de 30 anos (Figura 1).



**Figura 1:** Mapa de localização com modelo digital de elevação do terreno (MDE), dados pluviométricos para os postos na base da ANA, 736022, 735124, 735015, e 735036 e fluviométricos para os postos 38830000, 38850000, 38860000, 38880000, e 38895000 na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

Os dados fluviométricos e pluviométricos foram coletados por meio da página do Hidroweb, uma ferramenta que faz parte do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), gerenciado pela Agência Nacional de Águas (ANA). Esse aplicativo possibilita o acesso a diversos dados telemétricos coletados pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), como informações sobre chuvas e vazões de rios, usando os códigos das estações de monitoramento observadas (SNIRH,

2023), para auxiliar no download e tratamento dos dados foi usado o pacote hydrobr Calegario e Althoff (2023).

Os dados de uso do solo utilizados no projeto MapBiomass Brasil foram obtidos a partir da série de satélites Landsat e foram usados para criar mapas temáticos de uso e cobertura da terra. Esse monitoramento espaço-temporal do ambiente natural dos biomas brasileiros foi impulsionado pela implementação de uma metodologia de baixo custo e acesso aberto. O MapBiomass disponibiliza o monitoramento de áreas de vegetação nativa, incluindo o mapeamento da perda e/ou resiliência da cobertura vegetal natural dos biomas. Além disso, também abrangem o monitoramento de áreas de pastagem, avaliando a qualidade e a degradação dessas áreas, bem como o monitoramento da evolução da irrigação e o mapeamento de diferentes culturas agrícolas. Outros aspectos monitorados incluem os recursos hídricos, como a condição de abastecimento de água de rios, córregos, lagos, lagoas e reservatórios estratégicos, e a infraestrutura urbana (Silva et al., 2023).

A análise de tendência foi realizada para a série de precipitação anual, vazão total anual e uso do solo utilizando o teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975). A estatística do teste (S) é descrita pela Equação 1:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

Em que, "n" é o número de pontos de dados, " $x_j$ " e " $x_i$ " representam cada uma das medições em diferentes etapas de tempo i e j, com  $i \neq j$ ; e " $\text{sgn}(x_j - x_i)$ " é definido por:

$$\text{sgn} = \begin{cases} 1, & \text{se } (x_j - x_i) > 0 \\ 0, & \text{se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1, & \text{se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Se o conjunto de dados for distribuído de forma idêntica e independente, então a média de S é zero e a variância de S é dada pela Equação 3:

$$\text{Var}(S) = [n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^q t(t-1)(2t+5)]/18 \quad (3)$$

n - é o número do conjunto de dados; t - é o número de dados com valores repetidos em um determinado grupo; q - é o número de grupos contendo valores repetidos.

Em uma longa série temporal, o valor estatístico "S" pode ser representado por "Z", de acordo com as seguintes condições:

$$Z \left( \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, S > 0; 0, S = 0; \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, S < 0 \right) = \quad (4)$$

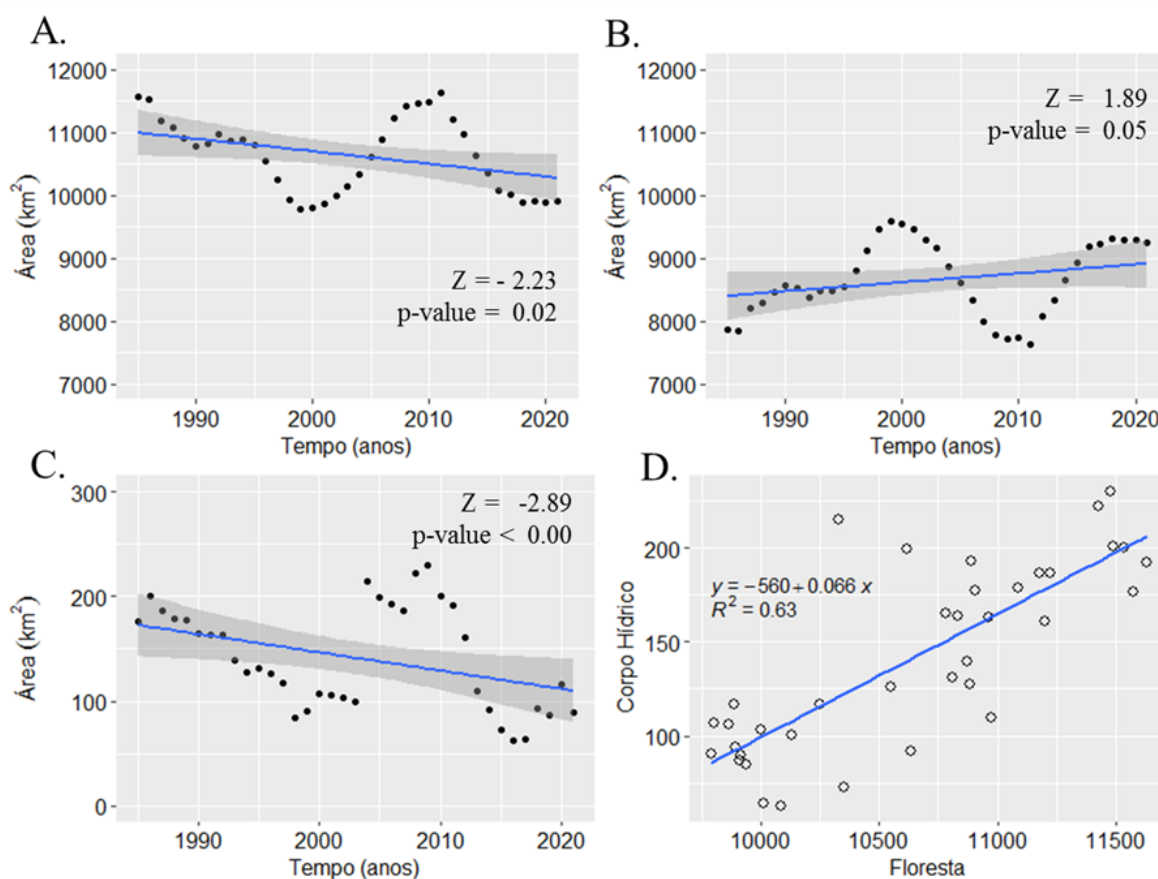
Quando  $-1,96 \leq Z \leq 1,96$ , a hipótese nula (H0) é aceita, indicando que não existe uma tendência estatisticamente significativa na série temporal. A tendência é considerada significativa em um nível

de confiança de 90% quando  $|Z| > 1,64$ , em um nível de confiança de 95% quando  $|Z| > 1,96$ , e em um nível de confiança de 99% quando  $|Z| > 2,58$ . Um valor positivo de  $Z$  indica uma tendência de aumento na sequência, enquanto um valor negativo de  $Z$  reflete uma tendência decrescente.

Todas as análises foram realizadas com o auxílio do R RStudio, versão R 3.3.0+ (RStudio Team, 2023).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise apontam para tendências estatisticamente significativas (95% de confiança) de redução anual da área de floresta nativa ( $Z = -2,23$ ) (Figura 2A) e dos corpos hídricos ( $Z = -2,89$ ) (Figura 2C) na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Por outro lado, a área de agropecuária apresentou um aumento significativo ao nível de 90% de confiança ( $Z = 1,89$ ) (Figura 2B), indicando uma expansão da atividade agrícola que pode estar afetando a dinâmica hídrica da região. A análise da correlação entre corpos hídricos e floresta revela um coeficiente de determinação de 0,63 (Figura 2D), justificando que a diminuição na área de floresta também está associada à redução na disponibilidade hídrica. Esses resultados são fundamentais para compreender as mudanças ambientais na região e podem fornecer subsídios para a implementação de medidas de conservação e manejo sustentável dos recursos naturais.

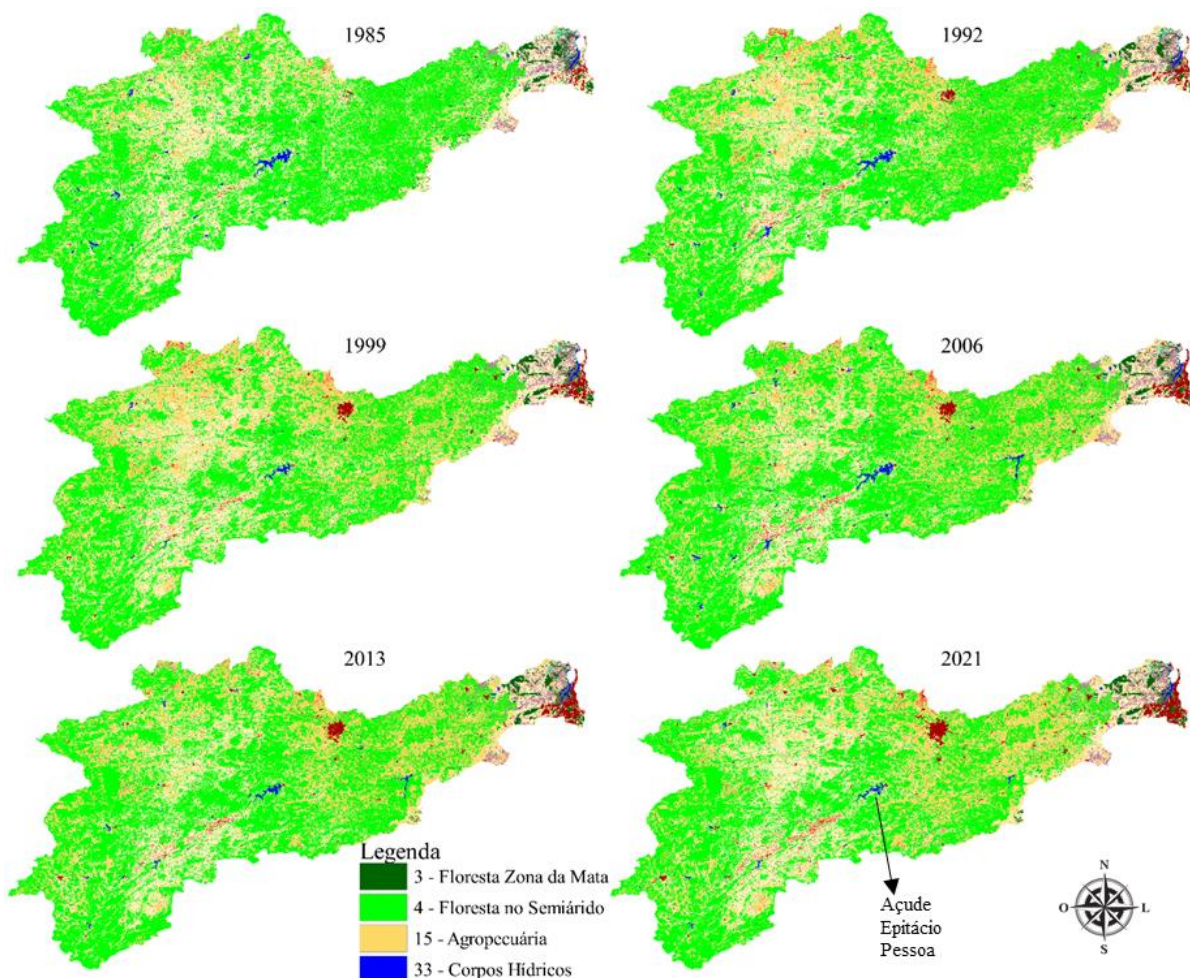


**Figura 2:** Tendência de Mann-Kendall para áreas de floresta (A), agropecuária (B), corpos hídricos (C) e correlação de área de floresta com área de corpos hídricos (D) na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

Ao adotarmos uma média móvel dos 5 primeiros anos da série (1985-1989) para os dados de uso do solo e confrontado com a área total da bacia do Rio Paraíba (20123,4 km<sup>2</sup>), adicionalmente comparada com os últimos 5 anos da série (2017-2021), observou-se que houve uma redução de 12% na área de

floresta em relação à área média inicial dos primeiros 5 anos (11428,2 km<sup>2</sup>). Por outro lado, houve um aumento de 14% na área de agropecuária (8133,1 km<sup>2</sup>). Já a área dos corpos hídricos apresentou uma redução de 51% (184,1 km<sup>2</sup>) (Figura 2). Esses resultados indicam que a bacia do Rio Paraíba sofreu mudanças significativas em relação à cobertura vegetal e uso do solo nos últimos 30 anos. A redução da área de floresta e o aumento da área de agropecuária podem estar relacionados à expansão agrícola na região.

A redução da área dos corpos hídricos pode ser um reflexo da degradação ambiental na bacia, claramente observada nos mapas de uso do solo, no espaço-temporal (Figura 3). Esse comportamento de elevada mudança no uso do solo, foi evidenciado por (Silva et al., 2023), para o Município de Campina Grande, PB, ao longo do tempo, observa-se uma redução das áreas florestais, destacada pela condição espectral da cobertura vegetal da Caatinga. A significativa redução da vegetação natural no semiárido é evidenciada pelo aumento das áreas agrícolas (agricultura e pastagem) e da infraestrutura urbana nas últimas três décadas.



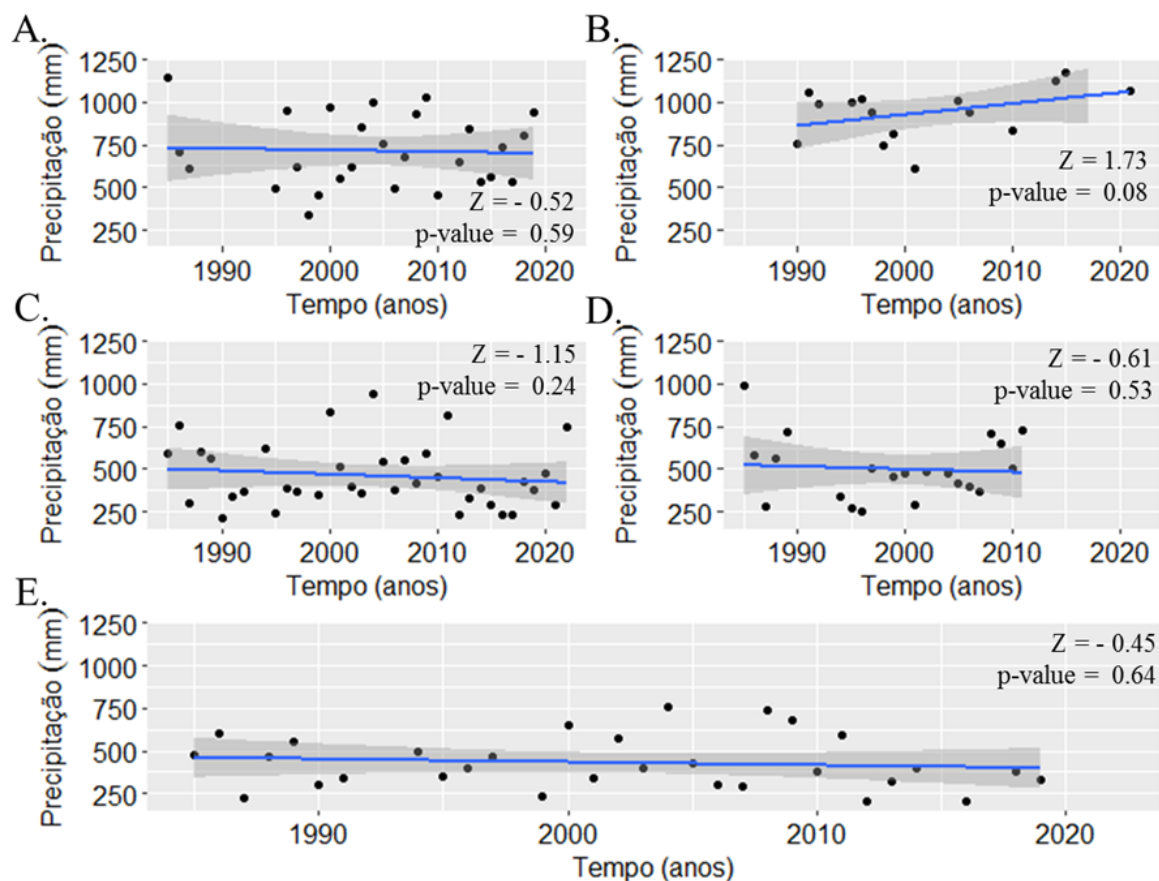
**Figura 3:** Uso do solo para áreas de floresta, agropecuária e corpos hídricos para os anos de 1985, 1992, 1999, 2006, 2013 e 2021, na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

Contatamos que elevada supressão vegetal vem ocorrendo à noroeste, sudoeste e leste do Açude Epitácio Pessoa. Segundo (Seabra et al., 2014) verificaram o baixo percentual de cobertura vegetal de Caatinga e o predomínio da agropecuária, está correlacionado com a densidade de animais por municípios, verificando a forte influência desta atividade na redução da cobertura vegetal.

De acordo com o MapBiomas ([www.mapbiomas.org](http://www.mapbiomas.org)), por meio de monitoramento da cobertura e uso da terra, os dados indicam que a Bacia do São Francisco sofreu uma perda significativa de sua

superfície de água natural entre 1985 e 2020. De acordo com os resultados, a perda foi de 50%, mas é importante notar que as ações humanas, como o aumento artificial da superfície de água em reservatórios, contribuíram para um aumento de 13% na superfície de água. Isso significa que a redução real foi de 4%, com as maiores perdas ocorrendo nas regiões do Alto e Baixo São Francisco, com reduções de 19% e 21%, respectivamente.

Apesar da significativa redução (51%) (Figura 2) nos corpos hídricos observada nos últimos anos, dos pontos avaliados, somente o ponto 736022 apresentou tendência de aumento na chuva ( $Z = 1,73$ ) ao nível de 90% de significância. Nos demais pontos, não foi identificada alteração significativa na série hidrológica estudada (Figura 4).



**Figura 4:** Tendência de Mann-Kendall para precipitação para os postos pluviométricos registrados na base da ANA, 736020 (A), 736022 (B), 735124 (C), 735015 (D), e 735036 (E) na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

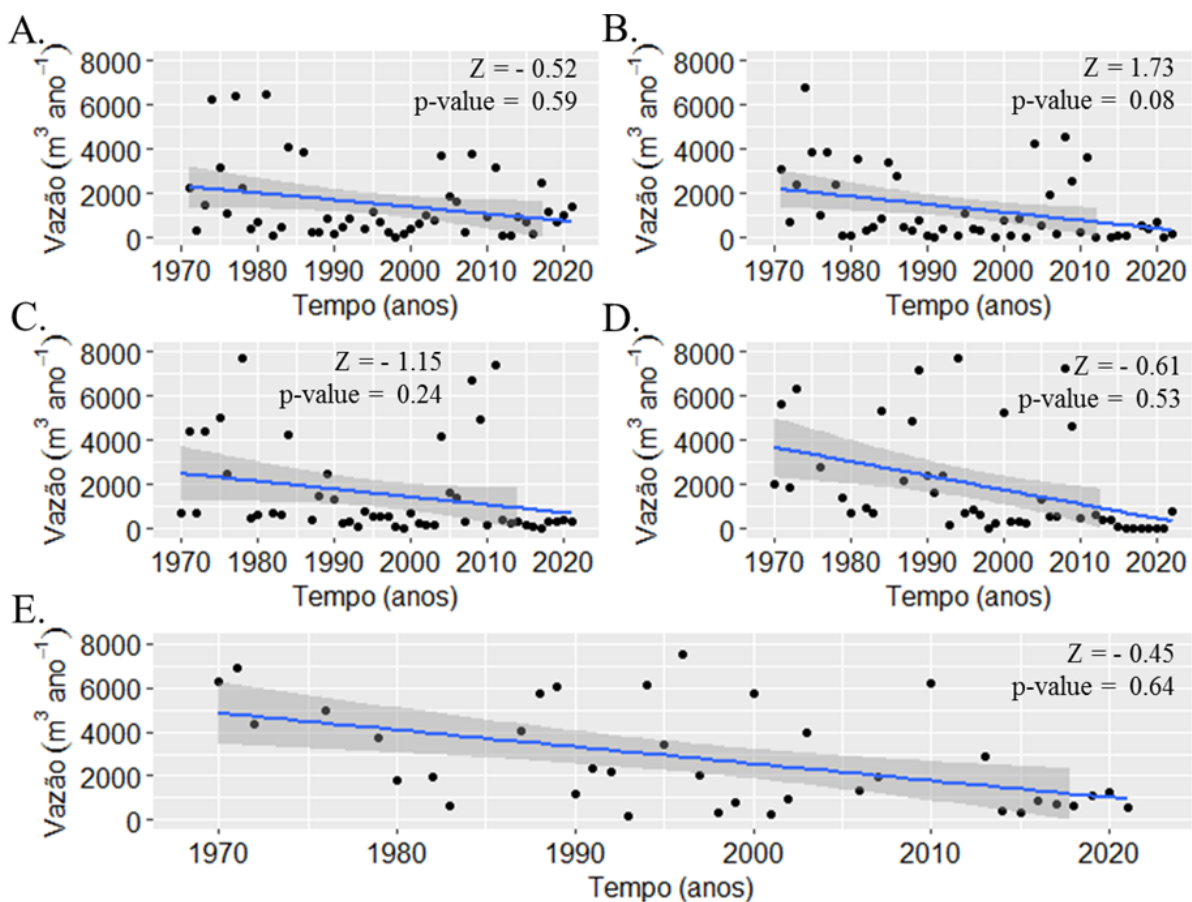
No Nordeste brasileiro, foi contatado tendência de redução e de aumento da chuva, bem como, de redução de dias chuvosos (Carvalho et al., 2020b). Em nosso estudo, apesar de não ocorrer redução significativa nos pontos avaliados, observa-se uma inclinação negativa da reta em 4 estações (736020, 735124, 735015, e 735036), sendo fundamental esse constante monitoramento nesse sentido, não só em relação a chuva, mas em relação aos reservatórios.

Em relação ao Açude Epitácio Pessoa, um dos mais importantes reservatórios da Bacia do Rio Paraíba, em avaliação da relação da chuva de 1972-2016 na bacia de contribuição do reservatório e o seu volume, constatou-se historicamente sua recarga está concentrada mais nos primeiros meses do ano, no período chuvoso, e seu volume tem elevada variabilidade, condicionado aos usos múltiplos da água do reservatório, principalmente nas cidades, que demandam elevados volumes (Andrade et al., 2019).

Para evitar o colapso Açude Epitácio Pessoa com a chegada do nível em volume morto, em decorrência das secas e do elevado uso múltiplo da água do açude, responsável por abastecer a importante cidade de Campina Grande, e demais cidades vizinhas, o aporte de águas do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias do Nordeste Setentrional (PISF) promoveu melhoria na segurança hídrica quantitativo e qualitativo, relativamente aos parâmetros físicos e químicos, principalmente em relação aos parâmetros amônia, CE, cloretos, dureza, sulfato e STD (Andrade et al., 2019; Farto & Silva, 2020; Morais & Barbosa, 2022).

(Correia et al., 2021) identificaram onze municípios na bacia de contribuição do Açude Epitácio Pessoa, onde o uso do solo é predominantemente voltado para atividades agrícolas e pecuárias, resultando em uma baixa cobertura de vegetação nativa. Em decorrência das práticas agropecuárias, ocorre a lixiviação e erosão do solo, impactando diretamente o canal fluvial, levando ao assoreamento e eutrofização do corpo hídrico. Além disso, o desenvolvimento de cianobactérias também é observado como uma consequência dessas atividades, contribuindo para a degradação do ecossistema aquático. Esses problemas ambientais destacam a necessidade de implementação de práticas de manejo sustentável e medidas de conservação para proteger os recursos naturais da região.

Apenas a estação 38830000 não apresentou tendência de redução da vazão de acordo com o teste de Mann-Kendall, as demais estações (38850000, 38860000, 38880000 e 38895000) apresentaram tendência ao nível de confiança de 99%, (-2,67, -3,73, -4,85, -2,86), respectivamente (Figura 5).



**Figura 5:** Tendência de Mann-Kendall para os postos fluviométricos registrados na base da ANA, 38830000 (A), 38850000 (B), 38860000 (C), 38880000 (D), e 38895000 (E) na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

Ao verificarmos a magnitude da tendência, observou-se que houve uma redução de 54, 61, 64 e 59% os postos fluviométricos 38850000, 38860000, 38880000 e 38895000 na vazão anual. Esses

resultados indicam que a bacia do Rio Paraíba sofreu mudanças significativas em relação à cobertura vegetal e uso do solo, bem como da variabilidade da chuva. Esse cenário pode ter implicações negativas para a disponibilidade de água na região, especialmente durante períodos de seca prolongada.

Os dados indicam que houve uma redução significativa da vazão na Sub-Bacia do Verde Grande ao longo do tempo. De acordo com os resultados, a redução da vazão foi de 80,5% no período de 1950 a 1976 e 69,2% no período de 1979 a 2000 (Pereira et al., 2007).

As significativas alterações na paisagem, especialmente decorrentes do desmatamento, têm reflexos no comportamento hidrológico, desencadeando processos erosivos, assoreamento dos corpos hídricos e redução de suas vazões, entre outros fenômenos associados. Essas mudanças têm um impacto negativo no ecossistema local, afetando negativamente a qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos e comprometendo a sustentabilidade do ambiente (OLIVEIRA & AQUINO, 2020).

## CONCLUSÃO

A bacia hidrográfica do Rio Paraíba tem passado por significativas mudanças no uso do solo, com uma notável redução na cobertura de vegetação nativa e diminuição da área dos corpos hídricos. Essas alterações têm acarretado fortes reduções nas vazões anuais ao longo da calha principal de escoamento superficial. Esse cenário serve como um alerta para a importância de ampliar a gestão dos recursos hídricos na região, a fim de preservar e utilizar de forma sustentável os recursos hídricos disponíveis. Medidas de conservação, monitoramento e manejo adequado se fazem necessárias para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças no uso do solo e garantir a disponibilidade de água de forma sustentável.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (CNPq), Ministério da Ciência e Tecnologia (MCTI) e ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA), pelo apoio institucional e financeiro aos bolsistas, ao Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e ao portal HidroWeb gerenciado pela Agência Nacional de Águas (ANA) pela disponibilidade dos dados.

## REFERÊNCIAS

- Andrade, A. R. de, Lima, P. R. C. de, Oliveira, J. V. P. de, & Lucena, D. B. (2019). ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E VOLUME NAS SUB-BACIAS CONTRIBUENTES PARA O AÇUDE EPITÁCIO PESSOA. *Revista Brasileira de Climatologia*, 25. <https://doi.org/10.5380/abclima.v25i0.62973>
- Carvalho, A. A. de, Montenegro, A. A. de A., Silva, H. P. da, Lopes, I., Morais, J. E. F. de, & Silva, T. G. F. da. (2020a). Trends of rainfall and temperature in Northeast Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24(1), 15-23. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n1p15-23>
- Carvalho, A. A. de, Montenegro, A. A. de A., Silva, H. P. da, Lopes, I., Morais, J. E. F. de, & Silva, T. G. F. da. (2020b). Trends of rainfall and temperature in Northeast Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24(1), 15-23. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n1p15-23>



- Correia, I., Correia, I. M. G., & Silva, J. B. da. (2021). Águas da transposição do Rio São Francisco na Paraíba: esgotos e inviabilidades municipais. *AMBIÊNCIA*, 16(1), 799-816. <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/5679>
- Farto, C. D., & Silva, T. C. da. (2020). Variações da qualidade da água de chuva e de açudes armazenada em cisternas em municípios do semiárido do estado da Paraíba. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 25(6), 859-871. <https://doi.org/10.1590/s1413-4152202020180151>
- MapBiomas 2023- Coleção 7.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, acessado em junho de 2023 através do link: <https://mapbiomas.org/>
- Melo, M. V. N. de, Oliveira, M. E. G. de, Almeida, G. L. P. de, Gomes, N. F., Montalvo Morales, K. R., Santana, T. C., Silva, P. C., Moraes, A. S., Pandorfi, H., & Silva, M. V. da. (2022). Spatiotemporal characterization of land cover and degradation in the agreste region of Pernambuco, Brazil, using cloud geoprocessing on Google Earth Engine. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 26, 100756. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100756>
- Morais, A. C. da S., & Barbosa, N. F. M. (2022). Modelagem de dados volumétricos do açude Epitácio Pessoa (Boqueirão). *Research, Society and Development*, 11(11), e409111133772. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i11.133772>
- Oliveira Júnior, J. G. de, Lopes, P. M. O., Nascimento, C. R., Moura, G. B. de A., & Oliveira Júnior, J. F. de. (2023). Space-temporal detection of environmental changes in the Brazilian semiarid through Google Earth Engine and GIS. *Journal of South American Earth Sciences*, 127, 104403. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104403>
- OLIVEIRA, L. N. de, & AQUINO, C. M. S. de. (2020). DINÂMICA TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA NA FRONTEIRA AGRÍCOLA DO MATOPIBA: análise na sub-bacia hidrográfica do rio Gurguéia-Piauí. *REVISTA EQUADOR*, 9(1), 317-333. <https://comunicata.ufpi.br/index.php/equador/article/view/9461>
- Pereira, S. B., Pruski, F. F., Silva, D. D. da, & Ramos, M. M. (2007). Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11(6), 615-622. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000600010>
- Seabra, V. da S., Xavier, R. A., Damasceno, J., & Dornellas, P. da C. (2014). MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DO SOLO DA BACIA DO RIO TAPEROÁ: REGIÃO SEMIÁRIDA DO ESTADO DA PARAÍBA. *Caminhos de Geografia*, 15(50). <https://doi.org/10.14393/RCG155024249>
- Silva, J. L. B. da, Moura, G. B. de A., Silva, M. V. da, Oliveira-Júnior, J. F. de, Jardim, A. M. da R. F., Refati, D. C., Lima, R. da C. C., Carvalho, A. A. de, Ferreira, M. B., Brito, J. I. B. de, Guedes, R. V. de S., Lopes, P. M. O., Nóbrega, R. S., Pandorfi, H., Bezerra, A. C., Batista, P. H. D., Jesus, F. L. F. de, Sanches, A. C., & Santos, R. C. (2023). Environmental degradation of vegetation cover and water bodies in the semiarid region of the Brazilian Northeast via cloud geoprocessing techniques applied to orbital data. *Journal of South American Earth Sciences*, 121, 104164. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104164>
- Sousa, L. de B. de, Montenegro, A. A. de A., da Silva, M. V., Almeida, T. A. B., de Carvalho, A. A., da Silva, T. G. F., & de Lima, J. L. M. P. (2023). Spatiotemporal Analysis of Rainfall and Droughts in a Semiarid Basin of Brazil: Land Use and Land Cover Dynamics. *Remote Sensing*, 15(10), 2550. <https://doi.org/10.3390/rs15102550>

Souza et al. (2020) - Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine - Remote Sensing, Volume 12, Issue 17, 10.3390/rs12172735

R Core Team. 2023. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.

Kendall, M.G. 1975. Rank Correlation Methods. London, Charles Griffin, 199 p.

Mann, H.B. 1945. Non-parametric test against trend. *Econometrica*, 13: 245-259.

Sen, P.K. 1968. Estimates of the Regression Coefficient based on Kendall's Tau. *Journal of American Statistics Association*, 63(324): 1379-1389.

#### SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS - SNIRH

(2023). Hidroweb-ANA - Dados fluviométricos. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em 1 de junho de 2023.

Calegario A, Althoff D (2023). `_hydrobr`: Access to the Brazilian National Water Agency (Agência Nacional de Águas) hydrological data\_. R package version 0.0.0.9000.

Brito, S. S. B., Cunha, A. P. M., Cunningham, C. C., Alvalá, R. C., Marengo, J. A., Carvalho, M. A. (2018). Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. *International Journal of Climatology*, 38(2), 517-529. doi: 10.1002/joc.5225

Juliani, B. H. T., Okawa, C. M. P. (2017). Application of a standardized precipitation index for meteorological drought analysis of the semi-arid climate influence in Minas Gerais, Brazil. *Hydrology*, 4(2), 1-21. doi: 10.3390/hydrology4020026

Mckee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales, In: Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, California.

Santos, C. A. G.; Brasil Neto, R. M.; Passos, J. S. A.; Silva, R. M. (2017a) Drought assessment using a TRMM-derived standardized precipitation index for the upper São Francisco River basin, Brazil. *Environmental monitoring and assessment*, 189(6), 1-32. doi: 10.1007/s10661-017-5948-9

Kaiser, H.F., 1958. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika* 23 (3), 187-200. <https://doi.org/10.1007/BF02289233>.

## ***Aplicação de tendência não paramétrica para análise da dinâmica do uso do solo em Pernambuco, Brasil***

### **RESUMO**

No Semiárido Brasileiro é essencial observar a dinâmica espaço-temporal da cobertura e uso do solo, sendo frequentemente assolado pelos processos ocasionados pelas mudanças climáticas, a destacar à seca severa. Com isso, objetivou-se monitorar e avaliar espaço-temporalmente os diferentes usos do solo por análise de tendência a partir de mapas temáticos anuais das mesorregiões do Estado de Pernambuco, Região Nordeste do Brasil. O estudo foi desenvolvido a partir de mapas temáticos anuais (entre os anos de 1985 e 2017) de cobertura e uso do solo de Pernambuco, provenientes de dados espaciais da série de satélites Landsat, fornecidos pelo Projeto MAPBIOMAS BRASIL. A tendência classes de cobertura e uso do solo foi analisada pelo método de Mann-Kendall, e as magnitudes pelo teste de Sen's Slope.. Os resultados mostraram uma tendência significativa de redução das áreas de floresta, com exceção da Mesorregião do Sertão do São Francisco, com concomitante aumento das áreas de agropecuária pelo teste de Mann-Kendall em todas as mesorregiões. Esses resultados são importantes para subsidiar a gestão dos recursos hídricos e naturais frente aos eventos extremos devido às mudanças climáticas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mudanças no uso do solo; Mann-Kendall; Semiárido;;

### **INTRODUÇÃO**

com destaque para a alta variabilidade da precipitação pluviométrica, com chuvas concentradas no tempo e com irregular distribuição espacialmente, favorecendo cenários de escassez hídrica e provocando mudanças na cobertura vegetal, com destaque o bioma Caatinga. Por sua vez, o bioma caatinga apresenta vulnerabilidade aos processos de degradação ambiental e desertificação do solo, sendo estes processos acelerados pelas ações antrópicas, com às práticas intensivas das atividades agropecuárias, queimadas e o desmatamento da vegetação nativa (Vieira et al., 2015; Paredes-Trejo & Barbosa, 2017; Barbosa et al., 2018; Mariano et al., 2018; Marengo et al., 2018; Tomasella et al., 2018).

As condições de uso e cobertura da terra têm impacto significativo nos regimes hidrológicos, gerando condições altamente dinâmicas como: erosão do solo, degradação e desertificação da terra, associadas principalmente às perdas de cobertura vegetal e alteração do microclima local, especialmente nas regiões áridas e semiáridas que apresentam problemas críticos com baixos índices de chuva e escassez de água (Mariano et al., 2018; Marengo et al., 2018; Tomasella et al., 2018; Bao et al., 2019).

O manejo do solo e recursos hídricos visam o planejamento eficiente e a gestão sustentável do meio ambiente. Contudo, a utilização da geotecnologia no monitoramento ambiental das regiões do Semiárido Brasileiro tem sido frequente aplicada, principalmente na detecção de respostas espectrais em sensores aerotransportados e orbitais, destacando o sensoriamento remoto através de imagens de satélites, onde vale destacar o monitoramento de parâmetros biofísicos espaço-temporal do balanço de energia no bioma Caatinga e condições de anomalias climáticas (Vieira et al., 2015; Barbosa et al., 2018; Mariano et al., 2018; Marengo et al., 2018; Campos et al., 2019; Silva et al., 2019; Silva et al., 2020).

A partir deste panorama, o monitoramento de parâmetros biofísicos é fundamental para diagnosticar no ambiente natural às mudanças causadas na paisagem tanto pelos eventos de seca como também pelas ações antrópicas e, com isso, poder orientar o estabelecimento de políticas públicas modernas, descentralizadas e participativas, favorecendo uma gestão adequada à sustentabilidade ambiental,

com a proteção e conservação dos remanescentes florestais do bioma Caatinga (Moura et al., 2017; Silva et al., 2019; Silva et al., 2020).

A necessidade de constatação de mudança e uso do solo nas escalas globais, regionais e locais, decorrentes da exploração intensa do patrimônio ambiental, torna-se relevante, a fim de identificar os níveis de degradação ambiental ao longo do tempo. Para esta identificação, o projeto Mapbiomas Brasil disponibiliza séries temporais do uso e cobertura das terras dos biomas brasileiros através de mapas temáticos. Os mapas anuais de cobertura e uso do solo são produzidos a partir da classificação pixel a pixel de imagens da série de satélites Landsat. Todo o processo é feito com extensivos algoritmos de aprendizagem de máquina (*machine learning*) através da plataforma Google Earth Engine que oferece imensa capacidade de processamento na nuvem (Costa et al., 2018; MapBiomas Brasil, 2020).

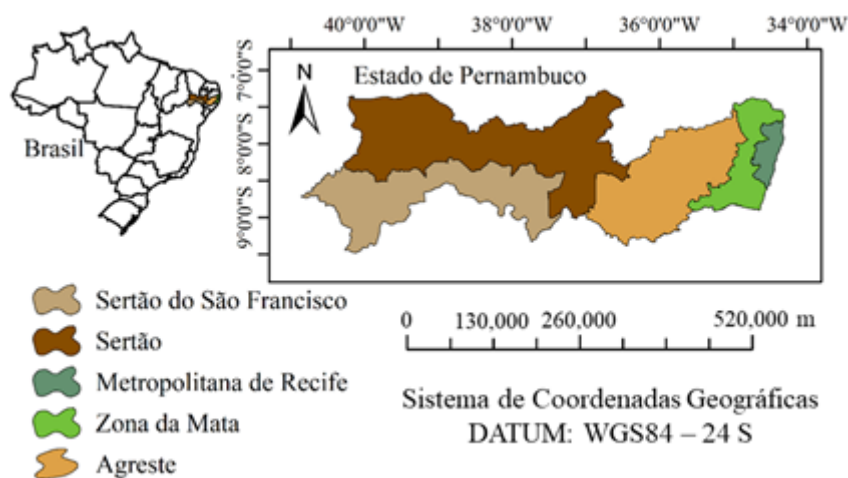
Ao longo do tempo observam-se diversas análises de tendência em séries históricas de dados hidrológicos, com destaque para temperatura e precipitação amplamente estudadas (Silva & Dereczynski, 2014; Asfaw et al., 2018; Regoto et al., 2018; Xu et al., 2018; Shrestha et al., 2019), porém existe a carência e necessidade de estudos relacionados a tendência no uso do solo. Para análise de tendência o teste não paramétrico de Mann-Kendall baseado em rankings tem sido amplamente usado para avaliar a significância de tendências monotônicas em séries temporais hidrometeorológicas (Liu et al., 2014).

## OBJETIVOS

Monitorar e avaliar no espaço e no tempo por análise de tendência os diferentes usos da terra através de mapas temáticos anuais de cobertura e uso do solo das mesorregiões do Estado de Pernambuco, entre os anos de 1985 e 2017.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo compreende as mesorregiões do Estado de Pernambuco (Sertão, Sertão do São Francisco, Agreste, Zona da Mata e Metropolitana de Recife) com áreas de 38680.28; 23895.99; 24307; 8451.498 e 2764.69 km<sup>2</sup>, respectivamente. A Figura 1, apresenta o Estado de Pernambuco com suas devidas mesorregiões.



**Figura 1.** Mapa espacial de localização do Estado de Pernambuco com a distribuição das mesorregiões.

A pesquisa foi desenvolvida a partir do processamento digital das classificações temáticas do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomias Brasil). A plataforma MapBiomias Brasil tem o objetivo de mapear a cobertura e uso do solo anualmente para todo os biomas do Brasil de forma automatizada através de equipes altamente especializadas em cada bioma e temas transversais (i.e. agricultura, pastagem, dentre outros), buscando produzir rapidamente mapeamentos consistentes em larga escala e de menor custo/tempo em relação aos métodos utilizados convencionalmente na atualidade (MapBiomias Brasil, 2020).

O mapeamento de cobertura e uso da terra do MapBiomias Brasil tem como referência imagens da série dos satélites Landsat (i.e. 5 - TM, 7 - ETM+ e 8 - OLI), com resolução espacial de 30 m, com disponibilidade de dados orbitais desde 1985 até a atualidade. De modo geral, é gerado um mosaico das imagens anual, e posteriormente é organizada a classificação dos biomas conforme cada classe de cobertura e uso do solo (floresta, agropecuária, área não vegetação e corpos hídricos, etc), onde geram-se mapas anuais de cada classe que são sobrepostos para integração num único mapa, baseado no mapa oficial de biomas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) com escala de 1:5.000.000 (IBGE, 2004; MapBiomias Brasil, 2020).

Todo o processo é feito com extensivos algoritmos de aprendizagem de máquina (*machine learning*) com operações e modelagem matemática altamente específicas através da plataforma Google Earth Engine, que oferece elevada capacidade de processamento digital na nuvem. Após o processamento, é realizado análise de acurácia da classificação da cobertura e uso do solo. Mais detalhes podem ser encontrados em Pontius Junior & Millones (2011) e MapBiomias Brasil (2020).

A análise de tendência foi realizada para os mapas temáticos anuais da superfície terrestre nos diferentes usos do solo, nas mesorregiões do Estado de Pernambuco pelo teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975). A estatística do teste (S) é descrita por:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{Sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

em que: n é o número de pontos de dados,  $x_j$  e  $x_i$  referem-se a cada uma das medições em diferentes etapas de tempo i e j, com  $i \neq j$ ; e  $\text{Sgn}(x_j - x_i)$  é definido por:

$$\text{Sgn} = \begin{cases} 1, & \text{se } (x_j - x_i) > 0 \\ 0, & \text{se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1, & \text{se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Se o conjunto de dados for distribuído de forma idêntica e independente, então a média de S é zero e a variância de S é dada pela Equação 7:

$$\text{Var}(S) = \frac{[n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^q t(t-1)(2t+5)]}{18} \quad (3)$$

em que: n - é o número do conjunto de dados; t - é o número de dados com valores repetidos em um determinado grupo; q - é o número de grupos contendo valores repetidos.

Durante uma longa série temporal, o valor estatístico S pode ser transformado em  $Z_c$ , de acordo com as seguintes condições:

$$Z = \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; S > 0; 0, S=0; \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, S < 0 \quad (4)$$

Quando  $-1,96 \leq Z_c \leq 1,96$ , aceita-se a hipótese nula ( $H_0$ ), o que indica que não existe uma tendência estatisticamente significativa na série temporal. A tendência é significativa no nível de confiança de 95% se  $|Z| > 1,96$  e no nível de confiança de 99% se  $|Z| > 2,58$ . Um valor de  $Z_c$  positivo indica que a sequência tem uma tendência de aumento, enquanto um  $Z_c$  negativo reflete uma tendência decrescente.

Após a identificação das tendências, realiza-se análise da magnitude da tendência por meio do teste da Curvatura de Sen (Sen, 1968), como de acordo com a Equação 9:

$$Q_i = \left( \frac{x_j - x_k}{j - k} \right), \text{ para } i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (5)$$

em que:  $x_j$  e  $x_k$  são os valores dados nos tempos  $j$  e  $k$  ( $j > k$ ), respectivamente. A mediana desses valores de  $N$  de  $Q_i$  é o estimador da declividade Sen. Quando os valores são positivos a tendência é positiva e quando os valores são negativos a tendência é negativa.

A análise de tendência de Mann-Kendall foi realizada com auxílio do pacote Kendall (McLeod, 2022) do software R (RCore Team, 2021) considerando um nível de significância de 5% de probabilidade. A análise espaço-temporal dos mapas temáticos anuais de cobertura e uso do solo também foi avaliada conforme os critérios de classificação de variabilidade, a partir do coeficiente de variação (CV, %), propostos por Warrick & Nielsen (1980):  $CV < 12\%$  - baixa variabilidade;  $12\% < CV < 60\%$  - média variabilidade e  $CV > 60\%$  - alta variabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentadas as informações dos valores médios, coeficiente de variação (CV) e a análise da tendência de Mann-Kendall com os parâmetros: estatística  $Z$  e  $p$ -valor (significância da tendência aos níveis de 1% ( $p < 0,01$ ), 5% ( $p < 0,05$ ) e 10% ( $p < 0,1$ )), considerada para identificar a tendência crescente ou decrescente na série temporal de uso do solo para as classes de floresta, agropecuária, área não vegetada e corpo hídrico, para as mesorregiões do Estado de Pernambuco.

**Tabela 1.** Análise da tendência de Mann-Kendall com os parâmetros: Valores médios de área ( $\text{km}^2$ ), Coeficiente de Variação (CV %), estatística  $Z$  e  $p$ -valor, para Mesorregiões de Pernambuco.

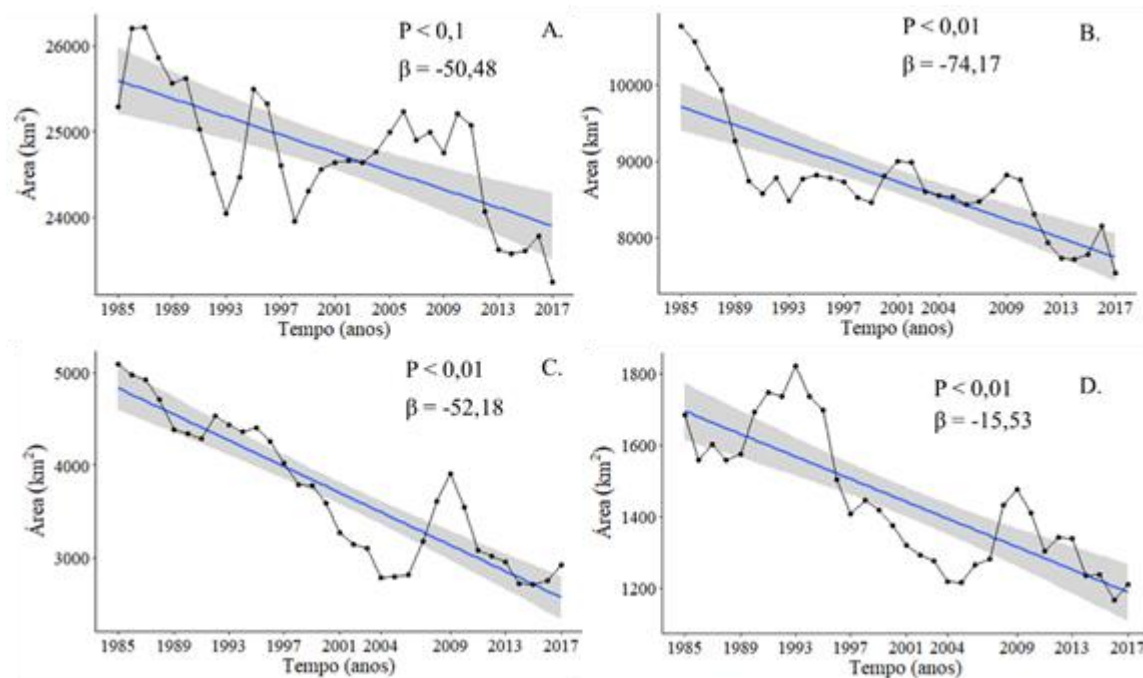
Mesorregiões						
		Sertão	Sertão do São Francisco	Agreste	Zona da Mata	Região Metropolitana
Floresta	Média ( $\text{km}^2$ )	24750,5	11097,3	8731,3	3705,1	1441,4
	CV%	3,0	6,6	8,5	20,4	13,2
	$Z$	<b>-3,36</b>	0,11	<b>-4,94</b>	<b>-6,21</b>	<b>-4,85</b>
	$p$ -valor	0,001	0,914	0,000	0,000	0,000
Agropecuária	Média ( $\text{km}^2$ )	12572,8	10881,0	11844,3	4382,5	916,9
	CV%	6,3	8,6	4,8	17,1	17,5
	$Z$	<b>3,58</b>	1,13	<b>4,76</b>	<b>5,97</b>	<b>3,83</b>
	$p$ -valor	0,000	0,258	0,000	0,000	0,000
Área não vegetada	Média ( $\text{km}^2$ )	194,8	470,7	242,9	289,7	342,7
	CV%	23,8	55,0	20,0	38,7	12,4
	$Z$	-1,38	-0,70	0,54	<b>1,87</b>	<b>6,12</b>
	$p$ -valor	0,168	0,486	0,588	0,061	0,000
Corpo hídrico	Média ( $\text{km}^2$ )	131,5	1015,6	33,9	37,8	58,2

	CV%	56,9	59,2	53,1	17,5	8,5
	Z	<b>-1,84</b>	<b>-2,94</b>	0,79	<b>2,84</b>	<b>2,71</b>
	p-valor	0,065	0,003	0,429	0,005	0,007

As mesorregiões do Sertão e Agreste apresentaram reduções na tendência de florestas. Este fato pode estar associado às ações de desmatamento na região, como relatado por Silva et al. (2018), que caracterizam áreas degradadas e de solo exposto para o bioma Caatinga. Ribeiro (2016) identificou, a partir de índices de vegetação, que diversos pontos na bacia do Rio Pajeú encontram-se susceptíveis ao processo de desertificação e que um dos principais fatores está ligado à acentuada ação antrópica.

As classes de floresta e agropecuária apresentaram baixo CV para as Mesorregiões do Sertão, Sertão do São Francisco e Agreste. Enquanto para a Zona da Mata e Região Metropolitana, constatou-se CV de 13,2 e 20,4%, respectivamente. Para as classes de Área não vegetada e Corpo hídrico, o comportamento médio do CV foi de 12,4 e 59,2%, respectivamente, exceto para a mesorregião da Região Metropolitana, na classe de Corpo hídrico, que foi de 8,5%.

Foi verificada uma tendência de redução da floresta no Sertão ( $-50,48 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$ ) (Figura 2A). De acordo com Ribeiro (2016), áreas susceptíveis ao processo de desertificação o Sertão de Pernambuco pode estar associado a fatores ligados à acentuada ação antrópica. Silva et al. (2017) verificaram uma aceleração no processo de aridez das bacias dos rios Ipanema e Garças em Pernambuco.



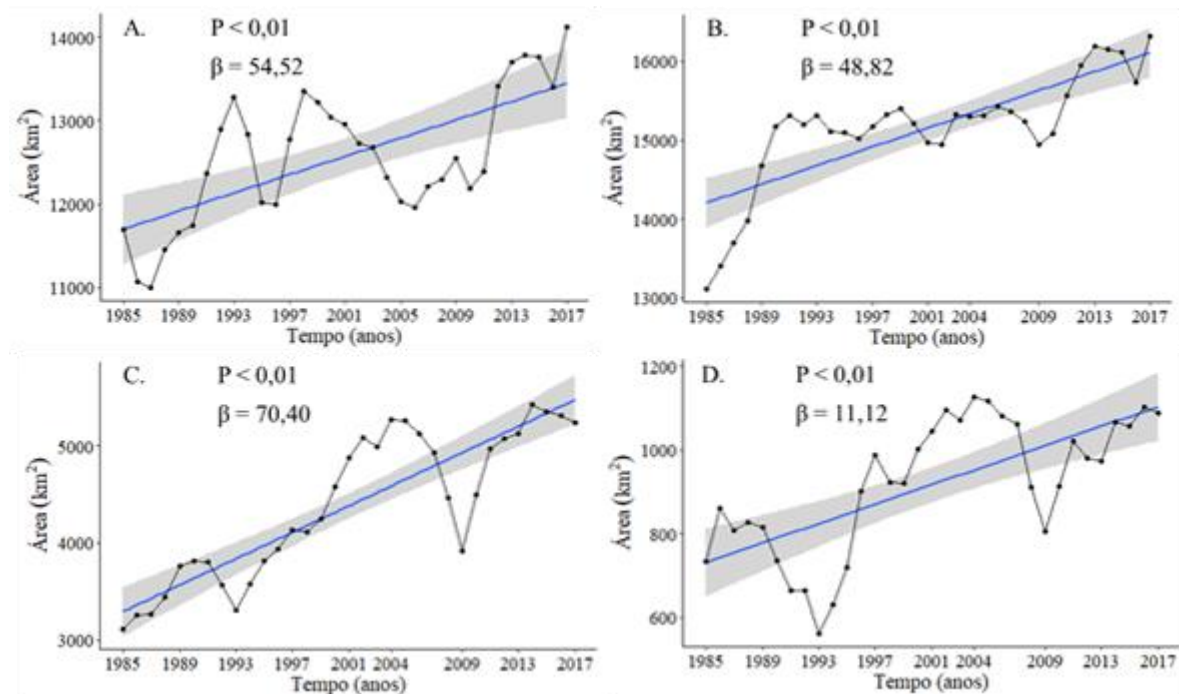
**Figura 2.** Área de floresta para o Sertão (A), Agreste (B), Zona da Mata (C) e Metropolitana (D). A área hachurada em cinza representa o intervalo de confiança de 95% da reta da tendência linear.

A redução da área de floresta ao longo do tempo e a redução da própria resiliência da vegetação de Caatinga pode estar ligada diretamente a expansão da atividade agropecuária nas mesorregiões de Pernambuco, devido o desmatamento para formação de áreas de pastagem e extração de madeira. Segundo Barros et al. (2018), diversos manejos alimentares de animais são baseados em soltas na caatinga, sobrevivendo com a pouca pastagem disponível. Esta atividade pode agravar a resiliência do bioma, elevando processos de desertificação.

Estudos alertam para o agravamento da degradação do solo nas regiões semiáridas do Nordeste do Brasil, ocasionados pelos eventos naturais extremos de chuvas e secas, bem como pelas ações antrópicas, acelerando processos de degradação e desertificação (Mariano et al., 2018; Silva et al., 2019; Silva et al., 2020). Marengo et al. (2016) estudando os eventos de seca no Nordeste do Brasil

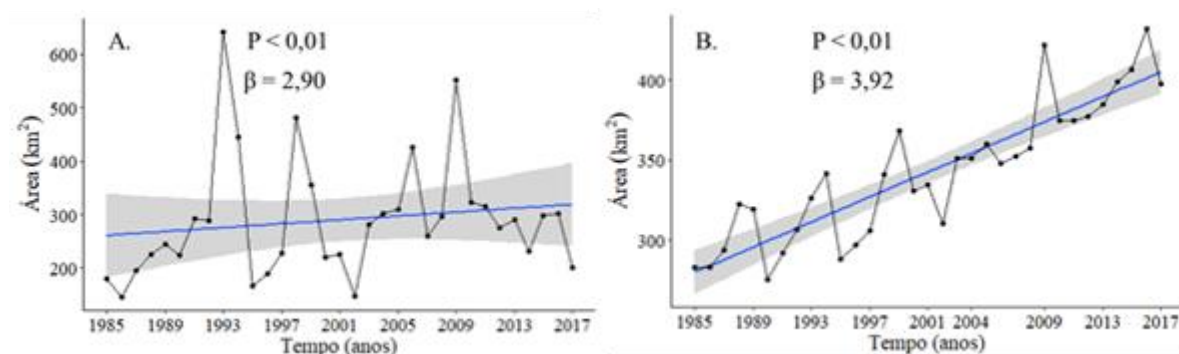
destacaram a vulnerabilidade do bioma Caatinga às mudanças climáticas devido, principalmente, aos baixos volumes de chuva e aumento da aridez do solo deste ecossistema.

As tendências de Mann-Kendall para áreas agropecuárias são ilustradas na Figura 2 com os valores de probabilidade (p), derivados a um nível de significância de 1% ( $p < 0,01$ ), 5% ( $p < 0,05$ ) e 10% ( $p < 0,10$ ) e a magnitude da tendência ( $\beta$ ).



**Figura 3.** Área Agropecuária para o Sertão (A), Agreste (B), Zona da Mata (C) e Metropolitana (D). A área hachurada em cinza representa o intervalo de confiança de 95% da reta da tendência linear.

Na Figura 4 são ilustrados os índices "p" da análise de tendência da precipitação de acordo com o teste Mann-Kendall e a magnitude da inclinação da reta pelo índice  $\beta$ , para a Região da Zona da Mata ( $p < 0,01$ ,  $\beta = 2,90$ ) e Metropolitana ( $p < 0,01$ ,  $\beta = 3,92$ ).



**Figura 4.** Área não vegetada para a Região da Zona da Mata (A) e Metropolitana (B).

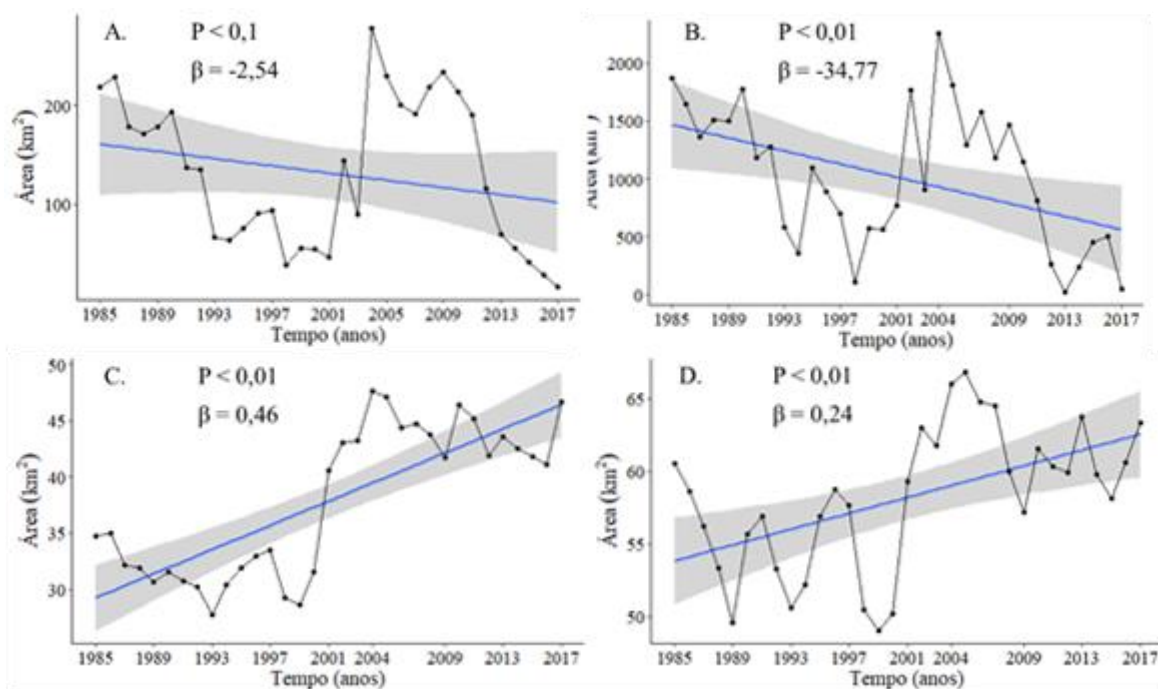
Além do comprometimento dos cultivos agrícolas, de acordo com Xavier et al. (2014), estas alterações nos regimes pluviométricos podem ameaçar a biodiversidade dos biomas brasileiros. Aqui destaca-se a caatinga, que vem sofrendo impactos significativos, em parte devido à diminuição da vegetação nativa, tornando diversas áreas susceptíveis à desertificação. Conforme Souza et al. (2015), estas áreas em desertificação devem ser consideradas um problema ambiental complexo, que compromete a capacidade e o suporte dos ecossistemas. Logo, pesquisas sobre tendências da



precipitação e do número de dias chuvosos são de grande relevância para suporte agrícola, industrial e ao manejo ambiental sustentável.

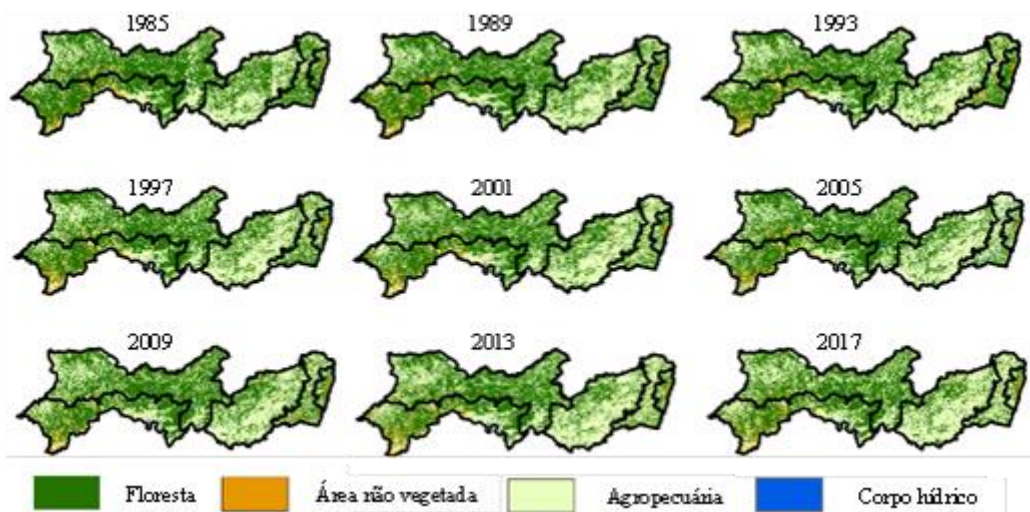
Vieira et al. (2015) destacaram em estudo sobre a susceptibilidade de áreas à desertificação na Região Nordeste do Brasil, um aumento de 3% de áreas desertificadas, entre o período dos anos de 2000 e 2010, quando concluíram que alguns dos principais fatores são as atividades agropecuárias, desmatamento e queimadas. Também, Pinheiro et al. (2018) ressaltam em estudo sobre a eficiência da cobertura vegetal de Caatinga em uma sub-bacia experimental na bacia do Alto Jaguaribe no Semiárido Brasileiro, que estas práticas que levam ao desmatamento da vegetação de Caatinga em substituição principalmente por uma vegetação de pastagem favorecem a degradação ambiental ao longo do tempo.

De acordo com o teste Mann-Kendall foi constatada tendência negativa para o corpo hídrico no Sertão (A) ( $p < 0,10$ ;  $\beta = -2,54$ ), Agreste (B) ( $p < 0,01$ ;  $\beta = -34,77$ ) e positiva na Zona da Mata (C) ( $p < 0,01$ ;  $\beta = 0,46$ ) e Metropolitana (D) ( $p < 0,01$ ;  $\beta = 0,24$ ), conforme observa-se na Figura 5.



**Figura 5.** Corpos hídricos para o Sertão (A), Agreste (B), Zona da Mata (C) e Metropolitana (D). A área hachurada em cinza representa o intervalo de confiança de 95% da reta da tendência linear.

Na Figura 6 observa-se a distribuição espaço-temporal de cobertura e uso do solo a partir de mapas temáticos das mesorregiões do Estado de Pernambuco. As mesorregiões apresentam as principais classes de floresta, área não vegetada, agropecuária e áreas de corpos hídricos.



**Figura 6.** Distribuição espaço-temporal anual de cobertura e uso do solo das mesorregiões do Estado de Pernambuco, entre os anos de 1985 e 2017.

Os principais resultados apresentados são úteis para entender o que aconteceu e o que acontecerá com a mudança climática e mudança de uso/coertura da terra, para adaptação à futura gestão dos recursos hídricos e naturais (Bao et al., 2019).

## CONCLUSÃO

Com exceção da Mesorregião do Sertão do São Francisco, uma tendência significativa de redução das áreas de floresta com concomitante aumento das áreas de agropecuária foi confirmada pelo teste de Mann-Kendall em todas as mesorregiões. Esses resultados são importantes para subsidiar a gestão dos recursos hídricos e naturais frente aos eventos extremos devido às mudanças climáticas.

## REFERÊNCIAS

- ANA. 2019. Agência Nacional de Águas. Termo de alocação de água 2018/2019. Reservatório da Barra do Juá. Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú. Disponível em: <  
[http://www.apac.pe.gov.br/down/not\\_1074\\_15295864935b2ba33dd1603\\_termo\\_alocacao\\_agua\\_barra\\_do\\_jua\\_2018\\_2019\\_completo\\_doc\\_n\\_038095\\_2018....pdf](http://www.apac.pe.gov.br/down/not_1074_15295864935b2ba33dd1603_termo_alocacao_agua_barra_do_jua_2018_2019_completo_doc_n_038095_2018....pdf)>. Acesso em: 21 de fev. de 2019.
- ASFAW, A.; SIMANE, B.; HASSEN, A., BANTIDER, A. Variability and time series trend analysis of rainfall and temperature in northcentral Ethiopia: A case study in Woleka sub-basin. **Weather and Climate Extremes**, v.19, p.29-41, 2018.
- BAO, Z., ZHANG, J., WANG, G., CHEN, Q., GUAN, T., YAN, X., LIU, C., LIU, J., WANG, J. The impact of climate variability and land use/cover change on the water balance in the Middle Yellow River Basin, China. **Journal of Hydrology**, v.577, 2019.
- BARBOSA, H. A., LAKSHMI KUMAR, T., PAREDES, F., ELLIOTT, S., AYUGA, J. G. Assessment of Caatinga response to drought using Meteosat-SEVIRI Normalized Difference Vegetation Index (2008-2016). **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.148, p.235-252, 2018.
- BARROS, J. R. L.; CRUZ, G. R. B.; MELO, D. A., SANTOS, D. G. Caracterização do manejo alimentar de caprinos e ovinos na microrregião do cariri ocidental do estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.13, n.4, p.144-151, 2018.

- CAMPOS, S. MENDES, K. R., SILVA, L. L., MUTTI, P. R., MEDEIROS, S. S., AMORIM, L. B., LUCIO, P. S. Closure and partitioning of the energy balance in a preserved area of a Brazilian seasonally dry tropical forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.271, p.398-412, 2019.
- COSTA, D. P., SANTOS, J. J., CHAVES, J. M., FRANCA, W. J. S., VASCONCELOS, R. N. Novas tecnologias e sensoriamento remoto: aplicação de uma oficina didática para a disseminação das potencialidades dos produtos e ferramentas do mapbiomas. **Sustainability, Agri, Food and Environmental Research**.v. 6, n.3, p.36-46, 2018.
- FERREIRA, P. S.; SOUZA, W. M.; SILVA, J. F., GOMES, V. P. Variabilidade Espaço-Temporal das Tendências de Precipitação na Mesorregião Sul Cearense e sua Relação com as Anomalias de TSM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.33, n.1, p.141-152, 2018.
- IPCC. 2014. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. In: FIELD, C. B. et al. (Ed.). Contribution of working group 2 to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press. Disponível em: <[https://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIIAR5-PartA\\_FINAL.pdf](https://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2019.
- KENDALL, M. G. 1975. **Rank Correlation Methods**. London, Charles Griffin, 199 p.
- LIU, Z., YAO, Z., HUANG, H., WU, S., LIU, G. Land use and climate changes and their impacts on runoff in the yarlung zangbo river basin, china. **Land Degradation & Development**, v.25, p.203-215, 2014.
- MANN, H. B. Non-parametric test against trend. **Econometrica**, v.13, p.245-259, 1945.
- MAPBIOMAS BRAZIL, 2020. Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil. Classificação temática do Bioma Caatinga. Disponível: <[http://mapbiomas.org/pages/database/mapbiomas\\_collection](http://mapbiomas.org/pages/database/mapbiomas_collection)>. Acesso: 21 mar. 2020.
- MARENGO, J. A., ALVES, L. M. Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, p.215-226, 2005.
- MARENGO, J.A., ALVES, L.M., ALVALA, R., CUNHA, A.P., BRITO, S., MORAES, O.L., 2018. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.90, p.1973-1985, 2018.
- MARIANO, D. A., SANTOS, C. A., WARDLOW, B. D., ANDERSON, M. C., SCHILTMAYER, A. V., TADESSE, T., SVOBODA, M. D. Use of remote sensing indicators to assess effects of drought and human-induced land degradation on ecosystem health in Northeastern Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v.213, p.129-143, 2018.
- MCLEOD, A. (2022). Kendall: Kendall Rank Correlation and Mann-Kendall Trend Test\_. R package version 2.2.1, <<https://CRAN.R-project.org/package=Kendall>>.
- MOURA, M. M. S., NETO, J. R.A., PALÁCIO, H. A. Q., BATISTA, F. J. A., SOUSA, M. M. M. Vulnerabilidade à erosão quanto aos aspectos solo e vegetação em uma bacia hidrográfica no semiárido. **Entorno Geográfico**, v.14, 2017.
- PAREDES-TREJO, F., BARBOSA, H. Evaluation of the SMOS-derived soil water deficit index as agricultural drought index in Northeast of Brazil. **Water**, v.9, n.6, 2017.

- PINHEIRO, A.G., SANTOS, J.C.N., PALÁCIO, H.A.Q., ARAÚJO NETO, J.R., ANDRADE, E.M., Eficiência da cobertura vegetal na redução das perdas de água e solo no município de Iguatu. **Irriga**, v.23, p.133-142, 2018.
- PONTIUS JUNIOR, R. G., MILLONES, M. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. **International Journal of Remote Sensing**, v.32, n.15, p.4407-4429, 2011.
- R CORE TEAM (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- REGOTO, P., DEREZYNSKI, C.P., SILVA, W.L., SANTOS, R., CANFALONIERI, U. Trends in Extreme Precipitation over Espírito Santo State - Southeast Brazil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v.41, n.1, p.365-381, 2018.
- RIBEIRO, E.P. 2016. **Mudanças ambientais e desertificação na bacia hidrográfica do rio Pajeú**. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Tese de Doutorado, 178p.
- SEN, P.K. Estimates of the Regression Coefficient based on Kendall's Tau. **Journal of American Statistician Association**, v.63, n.324, p.1379-1389, 1968.
- SHRESTHA, S., YAO, T., ADHIKARI, T.R. Analysis of rainfall trends of two complex mountain river basins on the southern slopes of the Central Himalayas. **Atmospheric Research**, v.215, p.99-115, 2019.
- SILVA, D. A., SILVA, J. L. B.; SILVA, T. S.S.; SANTOS, P. R.; LOPES, I., SANTOS, C.G. Impacto da alteração do uso do solo usando dados orbitais no baixo São Francisco. **Revista Ambientale**, v.10: p.71-85, 2018.
- SILVA, J. L. B., MOURA, G. B. A., FRANÇA, Ê. F.; LOPES, P. M. O., SILVA, T. T. F.; LINS, F. A. C., SILVA, D. A. O., ORTIZ, P. F. S. Spatial-temporal dynamics of the Caatinga vegetation cover by remote sensing in municipality of the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 4, p. 1-10, 2019.
- SILVA, J. L. B., MOURA, G. B. A., LOPES, P. M. O., FRANÇA E SILVA, Ê. F., ORTIZ, P. F. S., SILVA, D. A. O., SILVA, M. V., GUEDES, R. V. S. Spatial-Temporal Monitoring of the Risk of Environmental Degradation and Desertification by Remote Sensing in a Brazilian Semiarid Region. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13 n.02, p.544-563, 2020.
- SILVA, R. O. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L., SOUZA, W. M. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.22, n.3, p.579-589, 2017.
- SILVA, V. P. R., PEREIRA, E. R. R., AZEVEDO, P.V., SOUSA, F.A.S, SOUSA, I.F. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.131-138, 2011.
- SILVA, W. L., DEREZYNSKI, C. P. Caracterização Climatológica e Tendências Observadas em Extremos Climáticos no Estado do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, v.37, n.2, p.123-138, 2014.
- SILVA, W. L., DEREZYNSKI, C. P., CHANG, M., FREITAS, M., MACHADO, B. J. S., CHARGEL, L.T., RUGGERI, J.. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de

temperatura e precipitação no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.30, p.181-194, 2015

SIQUEIRA, A. A., SANTOS, S. M., LOPES, I.; LEAL, B. G., MONTENEGRO, A. A. A. Analysis of the statistical representativeness of meteorological data for a region of São Francisco Submiddle. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.11, p.798-813, 2018.

SOUZA, B. I.; ARTIGAS, R. C., LIMA, E.R.V. Caatinga e desertificação. **Mercator**, v.14, n.1, p.131-150, 2015.

TOMASELLA, J., VIEIRA, R. M. S. P., BARBOSA, A. A., RODRIGUEZ, D. A., DE OLIVEIRA SANTANA, M., SESTINI, M. F. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000-2016. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.73, p.197-206, 2018.

TUNDISI, J. G., MATSUMURA-TUNDISI, T., PARESCHI, D. C., LUZIA, A. P., VON HAELING, P. H., FROLLINI, E. H. A bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré: estudo de caso em pesquisa e gerenciamento. **Estudos avançados**, v.22, n.63, p.159-172, 2008.

VIEIRA, R. M. S. P., TOMASELLA, J., ALVALÁ, R. C. S., SESTINI, M. F., AFFONSO, A. G., RODRIGUEZ, D. A., BARBOSA, A. A., CUNHA, A. P. M. A., VALLES, G. F., CREPANI, E., OLIVEIRA, S. B. P., SOUZA M. S. B., CALIL, P. M., CARVALHO, M. A., VALERIANO, D. M., CAMPELLO, F. C. B. SANTANA, M. O. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. **Solid Earth**, v.6, p.347-360, 2015.

XAVIER, D. R.; BARCELLOS, C., BARROS, H.S., MAGALHÃES, M. A. F. M., MATOS, V. P., PEDROSO, M. M. Organização, disponibilização e possibilidades de análise de dados sobre desastres de origem climática e seus impactos sobre a saúde no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.19, p.3657-3668, 2014.

# **11. Desertificação, Arenização e Impactos Ambientais**

# ANÁLISE DO NDVI EM DOIS MUNICÍPIOS PRESENTES NAS ECORREGIÕES DO NORDESTE BRASILEIRO

**Maxsuel Bezerra do Nascimento**<sup>1</sup>; **Israel Walter Hilário da Silva**<sup>1</sup>; **Gabriel Victor Silva do Nascimento**<sup>2</sup>; **Albert Smith Feitosa Suassuna Martins**<sup>2</sup>; **Iara Bezerra da Silva**<sup>2</sup>; **Claudio Moises Santos e Silva**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Doutorando no programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, Rio Grande do Norte. Universidade Federal da Paraíba; <sup>2</sup>Mestrando no programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, Rio Grande do Norte. Universidade Federal da Paraíba; <sup>3</sup>Professor e Doutor no programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, Rio Grande do Norte. Universidade Federal da Paraíba

## RESUMO

O domínio ecogeográfico da Caatinga abrange uma área de aproximadamente 844.453 Km<sup>2</sup>, contemplando 10 estados brasileiros. A Caatinga é o único bioma totalmente brasileiro, correspondendo a 11% do território nacional e 70% da região Nordeste. A Depressão Sertaneja Setentrional caracteriza-se pelo domínio de Caatinga e sofre bastante com as transformações ambientais. A Ecorregião do Planalto da Borborema é mais a leste do bioma, alongada no sentido Norte/Sul em forma de arco, compreendendo partes do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas. A altitude e o relevo são os fatores principais que determinam os limites da ecorregião. O objetivo do trabalho busca identificar a diferença da vegetação nos períodos secos e úmidos por meio do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) em dois municípios dentro das ecorregiões do Planalto da Borborema e da Depressão Sertaneja Setentrional por meio do sensoriamento remoto. Deste modo, foram utilizados na realização das atividades as imagens do *United States Geological Survey* (USGS) disponibilizados no link <https://www.usgs.gov/landsat-missions>, foram utilizadas 4 imagens do *Landsat* 8 sendo utilizadas as bandas 4 e 5 para o cálculo do índice de vegetação. Sendo assim, os resultados apontam essa diferença nos períodos, com aumento da área de cultivo e pastagem, mas próxima do 0,50, observados pelas classes que variaram de 0,00 a 1,00. Vale destacar, que as áreas que mais protegem o solo são as de 0,75 e 1,00 o que é mais presente no período úmido e em partes no período seco.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vegetação; Caatinga; *Landsat*;

## INTRODUÇÃO

As caatingas na maioria das vezes têm sido acatadas como uma integração vegetacional homogênea em matérias que avaliam a sua composição florística para inferências biogeográficas e/ou ecológicas em análises extensas (PENNINGTON et al. 2000; OLIVEIRA-FILHO et al. 2006). Todavia, estudos despontam que há uma intensa afinidade entre o substrato e a alteração na vegetação, de tal maneira do ponto de vista fisionômico, como florístico e de aparências morfofuncionais (QUEIROZ 2006).

O domínio ecológico e geográfico da Caatinga compreende uma área de quase 844.453 Km<sup>2</sup>, considerando 10 estados brasileiros. A Caatinga é o único bioma inteiramente brasileiro, correspondendo a 11% do território nacional e 70% da região Nordeste (BRASIL, 1989).

Sendo assim, a caatinga é dividida em algumas ecorregiões, logo a Depressão Sertaneja Setentrional ocupa a maior parte do norte do bioma, desde a fronteira norte de Pernambuco, estende-se pela maior parte dos Estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará e contempla até uma breve faixa ao norte do Piauí, entre o litoral e as ecorregiões do Complexo de Campo Maior e Complexo Ibiapaba-Araripe, possui uma área territorial de 206.700 km. A ecorregião inclui o Seridó e o Cariri Paraibano no quadrante sudeste da ecorregião, limitando com o Planalto da Borborema (VELLOSO et al. 2002a).

A Depressão Sertaneja Setentrional distingue-se pelo domínio de Caatinga e sofre bastante com as modificações ambientais. Possui um clima semiárido, irregularidades pluviométricas e déficit hídrico,

que prossegue por mais de seis meses, a população local necessita desenvolver configurações para melhor viver com essa realidade (ARARIPE et al., 2021). Esta ecorregião se divide com a Depressão Sertaneja Meridional a paisagem mais peculiar do semiárido nordestino: uma ampla planície baixa, de relevo dominante suave-ondulado, com ascensões residuais difundidas na paisagem. (VELLOSO et al. 2002b). Assim, é uma das que mais suporta com as ações de degradação antrópica que alteram a intensificação do procedimento de desertificação na região. Portanto, a Depressão Sertaneja Setentrional conglomera quatro dos seis núcleos de desertificação do Nordeste brasileiro, Irauçuba, Inhamuns e Jaguaribe, no Ceará, e Seridó, no Rio Grande do Norte (SANTOS E AQUINO, 2016; FRANÇA, PIUZANA E ROSS, 2017).

Já a ecorregião do Planalto da Borborema é mais a leste do bioma, alongada no sentido Norte/Sul em configuração de arco, abarcando partes do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas. A altitude e o relevo são os fatores capitais que causam os limites da ecorregião, envolve uma área de 41.940 km<sup>2</sup>. (VELLOSO et al. 2002c).

Esse concerto de clima e topografia procede uma baixa disponibilidade geral de água, mas cria além disso alterações regionais, como clima mais ameno e mais pluviosidades nas áreas mais altas, especialmente da Borborema, nascentes de água nas encostas e declives das chapadas e vales acumulando água e sedimentos oriundos das encostas e tornando-se áreas mais aderentes ao aumento das plantas (SAMPAIO; FREITAS, 2017).

Os brejos de altitude e exposição ocorrem em Alagoas, Pernambuco e Paraíba associados ao Planalto da Borborema. A mediana da altitude é geralmente superior a 600m, com exceção das áreas de exposição mais próximas ao litoral, que apresentam mediana superior a 400m, como o brejo de Areias, na Paraíba (SOUZA et al., 2021).

## **OBJETIVOS**

Neste sentido, o objetivo do trabalho busca identificar a diferença da vegetação nos períodos secos e úmidos por meio do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) em dois municípios dentro das ecorregiões do Planalto da Borborema e da Depressão Sertaneja Setentrional por meio do sensoriamento remoto.

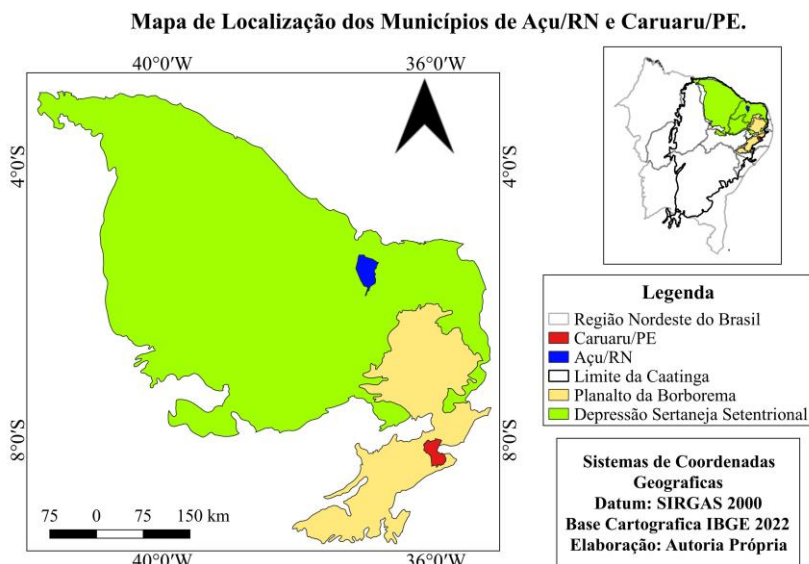
## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área de estudo**

Os municípios utilizados na análise do estudo foram Açu/RN localizado dentro da Ecorregião da Depressão Sertaneja Setentrional, ocupa uma área de pouco mais de 1.303,442 km<sup>2</sup>, sendo o quarto maior município potiguar em território, e sua população foi estimada no ano de 2021 em 58.743 habitantes, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Já o município de Caruaru/PE que se localiza dentro da Ecorregião do Planalto da Borborema, ocupa uma área de 923,150 km<sup>2</sup>, sendo que 80,561 km<sup>2</sup> estão dentro do perímetro urbano, sendo a mais populosa cidade do interior pernambucano e a terceira mais populosa do interior nordestino, o município localiza-se a oeste da capital do estado, Recife, distando desta cerca de 130 km e sua população foi estimada em 2021 em 369.343 habitantes.





**Figura 1:** Mapa de Localização dos Municípios de Açu/RN e Caruaru/PE.

### Dados do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI)

Foram utilizados na realização das atividades as imagens do United States Geological Survey (USGS) disponibilizados no link <https://www.usgs.gov/landsat-missions>, foram utilizadas 4 imagens do *Landsat 8* sendo utilizadas as bandas 4 e 5 para o cálculo do índice de vegetação, duas para cada município em períodos distintos, sendo eles no período seco e úmido, nesse caso levou em consideração as imagens com menor quantidade de nuvens. Portanto, as imagens de satélites podem ser pesquisadas com base na cobertura máxima de nuvens, órbita e ponto e coordenadas geográficas.

Os valores do NDVI gerado são valores reais contidos entre -1 e 1. Superficialmente, corpos hídricos são representados por valores negativos, enquanto solos expostos são representados por valores muito próximos de zero. Já para a vegetação, quanto maior o valor do pixel, maior será a densidade da vegetação ou sua atividade fotossintética (VERONA, 2003; NETO et al., 2008). A transformação NDVI é a razão entre as intensidades medidas no vermelho e no infravermelho, respectivamente, pela soma das duas reflectâncias (Rouse et al., 1973), com a seguinte equação, sendo:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$

NDVI = Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

NIR = Infravermelho próximo

R = espectro vermelho

Sendo assim, na realização das atividades de processamento para o mapeamento do NDVI utilizou-se o *Qgis 3.24.3*, deste modo, foram feitos os processamentos das imagens para verificar o NDVI, utilizando e calculando com a ferramenta de extensão a *semi-automatic classification plugin (SCP)*, dentro dessa ferramenta foi realizado todas as etapas, como processar, recortar e delimitar. Nesse sentido, foram classificados em 5 partes iguais, indo de 0 a 1, ficando a variação de 0,25 em cada intervalo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

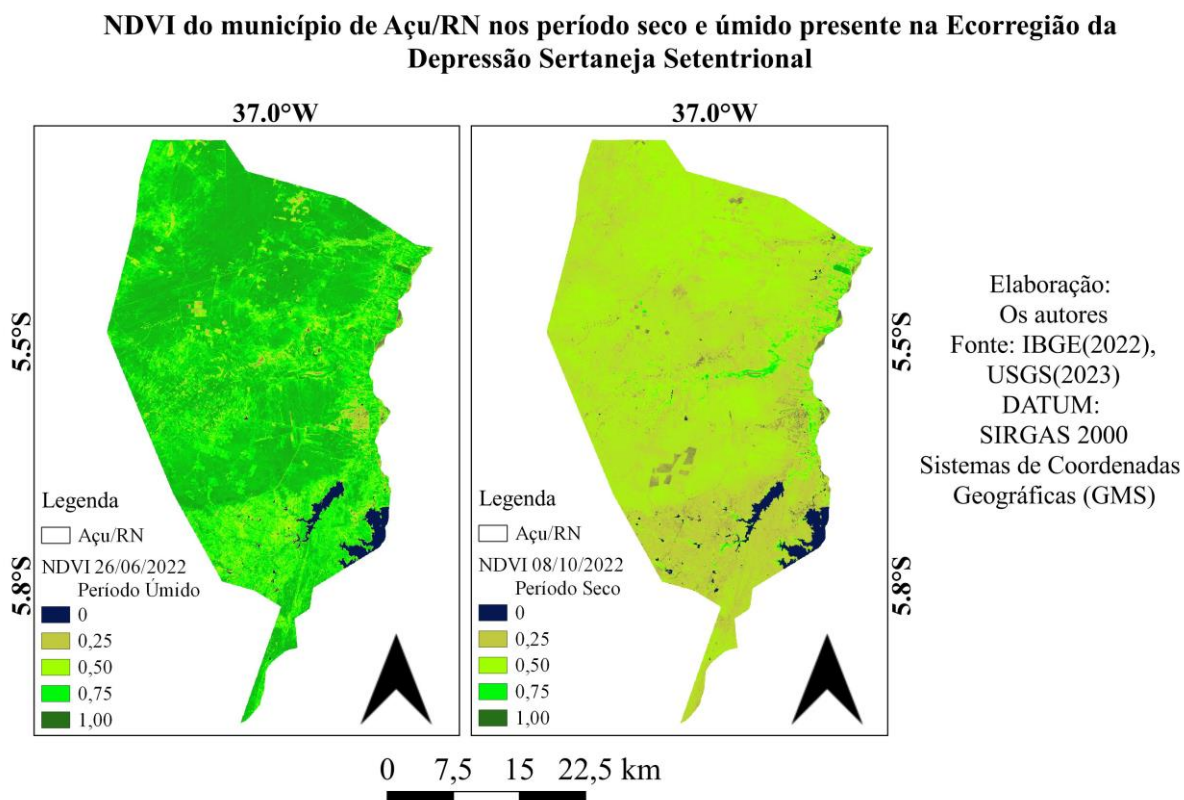
De acordo com as imagens presente na Figura 2, do município de Açu/RN, é possível destacar que a região ela apresenta suas particularidades entre o período seco para o chuvoso do local. Sendo assim, é possível notar como o tipo de vegetação reage nesses locais, por serem de uma região de caatinga, com suas características distintas se comparado a outra ecorregião.

Logo, é possível notar que não período chuvoso do dia 26/06/2022 o município de caruaru apresenta em sua maior totalidade, variações de 0,75 a 1,00 do NDVI, ou seja, uma maior produção primaria da vegetação em seu estado natural, isso por conta do período chuvoso o que é algo onde a floresta ela se regenera nesse período. Portanto, a caatinga arbustiva a arbórea, sobre solos de origem cristalina, presentes no município.

Por outro lado, nas áreas que contêm 0,50 nesses locais demonstram que a vegetação não se encontra mais no seu estado natural, ou seja, já teve a interação antrópica ali naquele local, podendo ser regiões de agricultura ou de restauração florestal. Existem áreas remanescentes de caatinga arbórea nas encostas e serras baixas, embora muito degradadas. Os vales continham originalmente caatinga arbórea, e ainda hoje encontram-se remanescentes ciliares. Ainda tem vegetação nativa (40-50%), mas boa parte é resultado de regeneração de áreas de agricultura itinerante (VELLOSO et al. 2002d).

Ainda de acordo com os mesmos autores, possui elementos da flora que são diferentes da Depressão Meridional, e de outras ecorregiões. A Depressão Setentrional contém duas áreas diferenciadas com extremos climáticos que condicionam uma vegetação pobre, de porte mais baixo.

Além disso, as regiões que contêm 0,25 são locais onde é a presença do homem diretamente, como a parte central do município, onde fica a região urbana do município, e em alguns pontos fragmentado é solo exposto, áreas desertificadas em quase sua totalidade. E a classe que dominam o 0,00 são os corpos hídricos que não entram na contabilidade, podendo o mesmo ser abaixo de 0,00.



**Figura 2:** NDVI do município de Açu/RN no período seco e úmido presente na Ecorregião da Depressão Sertaneja Setentrional

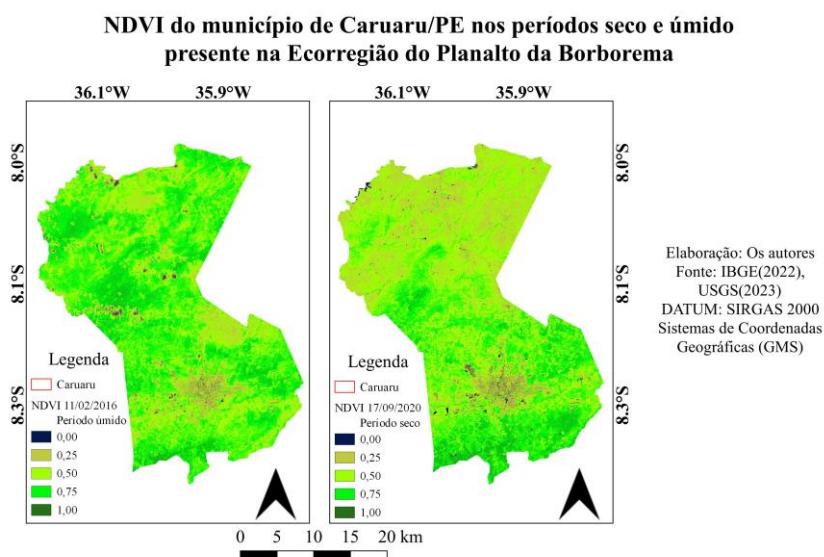
Já o NDVI do município de Caruaru/PE (Figura 3), não foi realizado em apenas um ano, como no município de Açu/RN (Figura 2), isso porque no momento do processamento das imagens, mas recente tinha muitas nuvens, nesse sentido foi preciso de duas imagens em anos distintos, ficando a do período úmido em 11/02/2016 e o período seco em 17/09/2020.

Sendo assim, é possível observar que no período úmido o maior quantitativo de vegetação está a 0,75 com alguns locais acima desse valor, chegando a 1,00. É plausível constatar que a vegetação nesse local é de característica de área úmida, formando em alguns locais os brejos de altitude, se comparado a outras características da mesma ecorregião, a caatinga varia desde arbustiva aberta a arbórea (com gradações intermediárias), a matas secas e matas úmidas (VELLOSO et al. 2002e).

Segundo o mesmo autor, as matas úmidas (brejos de altitude) estão restritas ao topo e parte da vertente oriental. Os brejos são considerados transitivo de Mata Atlântica a caatinga, e aparecem como "buracos" no mapa da ecorregião.

Já no período seco é possível notar que a maior parte do município, fica no 0,50, principalmente a área norte do município, na mesma imagem conseguimos notar que nessa área não tem presença de nuvens, o que distingue bem o NDVI detalhando as suas áreas. Portanto é possível verificar ainda que a parte urbana do município (0,25) que fica mais ao sul, nota-se que com o passar dos anos além do período seco se expandiu, ficando evidente também o aumento dos corpos hídricos (0,00) próximo a parte central.

Além disso apresenta nível altíssimo de degradação (>90%), restando apenas pequenas ilhas esparsas de vegetação nativa. Área de agricultura e pecuária intensivas, com muitos minifúndios e atividades de extrativismo. (VELLOSO et al. 2002f). Logo é possível admitir que a ecorregião do Planalto da Borborema, já se tem uma modificação na sua paisagem, o que representa diretamente no município de Caruaru, sendo, mas evidenciado no período seco.



**Figura 3:** NDVI do município de Caruaru/PE no período seco e úmido presente na Ecorregião do Planalto da Borborema.

## CONCLUSÃO

O presente trabalho verificou a diferença nos períodos distintos nos municípios de Açu/Rn e Caruaru/PE presente nas ecorregiões da Depressão Sertaneja Setentrional e no Planalto do Borborema respectivamente, como intuito de analisar a diferença da vegetação nesses períodos.

Sendo assim, os resultados apontam essa diferença nas estações, com aumento da área de cultivo e pastagem, mas próxima do 0,50, observados pelas classes que variaram de 0,00 a 1,00. Vale destacar, que as áreas que mas protegem o solo são as de 0,75 e 1,00 o que é mais presente no período úmido e em partes no período seco. A influência do período úmido nos meses que antecedem a data das imagens contribui diretamente para os valores de NDVI.

Por fim, vale destacar que a utilização do uso do sensoriamento remoto e geoprocessamento utilizando o processamento imagens de satélite para obtenção do cálculo do NDVI foram eficientes para identificação de cobertura vegetal nos municípios presentes nestas ecorregiões. Podendo dessa forma realizar um melhor monitoramento da vegetação a fim de diminuir a degradação do solo nessas ecorregiões.

## AGRADECIMENTOS

Programa de Pós-graduação em Ciências Climáticas da Universidade Federal da Paraíba e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## REFERÊNCIAS

ARARIPE, F. A. A. L.; CAMACHO, R. G. V.; COSTA, D. F. S.; SOARES, I. A.; BONILLA, O. H.; ALOUFA, M. A. I. Pressões e ameaças em unidades de conservação federais da depressão sertaneja setentrional, nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 05, p. 3279-3293, 2021.

BRASIL. DECRETO No 97.632, DE 10 DE ABRIL DE 1989. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1980-1989/d97632.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d97632.htm)> Acesso: 20 mai 2020

FRANÇA, L. C. J.; PIUZANA, D.; ROSS, J. L. S. Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente em núcleo de desertificação no semiárido brasileiro (Gilbués, Piauí). **Revista Espacios**, v. 38, n. 31, p. 21-39, 2017.

NETO, R.T.B; FILHO, M.B.B.B, LOPES, H.L; PACHECO, A.P. Determinação de valores físicos de imagens TM/Landsat-5 utilizando a linguagem LEGAL para obter índices de vegetação. Anais do II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, 2008.

OLIVEIRA-FILHO, A.T.; JARENKOW, J.A.; RODAL, M.J.N. Floristic relationships of seasonally dry forests of eastern South America based on tree species distribution patterns.: Pennington, R.T.; Lewis, G.P. & Ratter, J.A. (eds.). **Neotropical savannas and dry forests: plant diversity, biogeography, and conservation**. Taylor & Francis CRC Press, Oxford. p. 59-192, 2006.

PENNINGTON, R.T.; PRADO, D.E. & PENDRY, C.A. Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. **Journal of Biogeography** v. 27, p. 261-273, 2000.

QUEIROZ, L.P. The Brazilian caatinga: Phytogeographical patterns inferred from distribution data of the Leguminosae.: Pennington, R.T.; Lewis, G.P. & Ratter, J.A. (eds.). **Neotropical savannas and dry forests: plant diversity, biogeography, and conservation**.. Taylor & Francis CRC Press, Oxford Pp. 113-149, 2006.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Prog. Rep. RSC 1978-1. Remote Sensing Cent., Texas A&M Univ., **College Station**, 1973.

SANTOS, F. DE A. DOS, AQUINO, C. M. S. Panorama da Desertificação no Nordeste do Brasil: Características e Suscetibilidades. **Interespaço**, v. 2, n. 7, p. 144-161, 2016.

SAMPAIO, E. V. S. B.; FREITAS, A. D. S. Caatinga: descrição geral. In: MOURA, F. B. P.; SILVA, J. V. (org.). **Restauração da Caatinga**. Maceió: Ed. da Edufal, 2017. p. 13-38.

SOUZA, S. O.; LIMA, K. C.; VALEZIO, E. V.; SAMPAIO, S. A. **Perspectivas e desafios do sertão nordestino**. - 1. ed. Vol. 1 - Senhor do Bonfim-Ba: Univasf, 297 p. 2021.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. (eds). **Ecorregiões: propostas para o Bioma Caatinga; resultados do semina?rio de planejamento ecorregional da caatinga**. Recife, TNC/APNE, 76p, 2002a.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. (eds). **Ecorregiões: propostas para o Bioma Caatinga; resultados do semina?rio de planejamento ecorregional da caatinga**. Recife, TNC/APNE, 76p, 2002b.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. (eds). **Ecorregiões: propostas para o Bioma Caatinga; resultados do semina?rio de planejamento ecorregional da caatinga**. Recife, TNC/APNE, 76p, 2002c.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. (eds). **Ecorregiões: propostas para o Bioma Caatinga; resultados do semina?rio de planejamento ecorregional da caatinga**. Recife, TNC/APNE, 76p, 2002d.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. (eds). **Ecorregiões: propostas para o Bioma Caatinga; resultados do semina?rio de planejamento ecorregional da caatinga**. Recife, TNC/APNE, 76p, 2002e.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. (eds). **Ecorregiões: propostas para o Bioma Caatinga; resultados do semina?rio de planejamento ecorregional da caatinga**. Recife, TNC/APNE, 76p, 2002f.

VERONA, J. D. 2003. **Dissertação de Mestrado**, Classificação e Monitoramento Fenológico Foliar da Cobertura Vegetal na Região da Floresta Nacional do Tapajós - Pará, Utilizando Dados Multitemporais do Sensor Thematic Mapper (TM) do Landsat. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 161 p. 2003.

\_\_\_\_\_. United States Geological Survey. **Landsat Missions**. 2023. Disponível em < <https://www.usgs.gov/landsat-missions> >. Acesso em: 15 jun. 2023.

# RISCO CLIMÁTICO DE OCORRÊNCIA DE DERIVA EM APLICAÇÕES DE PESTICIDAS NA REGIÃO SUDESTE NO BRASIL

**Julio Roberto Pellenz**<sup>1</sup>; **Sidinei Zwick Radons**<sup>2</sup>; **Aline Ulzefer Henck**<sup>3</sup>; **Joelson Nadiel Haas**<sup>4</sup>; **Patrícia Pivetta**<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Mestre em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis. Cerro Largo, RS. Universidade Federal da Fronteira Sul;

<sup>2</sup>Professor. Cerro Largo, RS. Universidade Federal da Fronteira Sul; <sup>3</sup>Discente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Santa Maria, RS. Universidade Federal de Santa Maria; <sup>4</sup>Engenheiro Agrônomo. Cerro Largo, RS. Universidade Federal da Fronteira Sul; <sup>5</sup>Discente do curso de Agronomia. Cerro Largo, RS. Universidade Federal da Fronteira Sul

## RESUMO

O uso de pesticidas tem sido importante para manter produtividades agrícolas satisfatórias. Porém, os mesmos podem causar danos ambientais, sendo a ocorrência de deriva durante as aplicações uma das principais causas de contaminação ambiental por pesticidas. A partir de intervalos meteorológicos favoráveis para ocorrência de deriva, é possível identificar os momentos com maior risco de ocorrência de deriva. O objetivo deste trabalho foi estimar e comparar a média do risco climático de ocorrência de deriva em aplicações de pesticidas na região Sudeste do Brasil, em escala mensal e horária, bem como identificar quais os elementos meteorológicos com maior influência na ocorrência de risco. Dados meteorológicos foram obtidos das estações meteorológicas automáticas do INMET presentes na região Sudeste do Brasil. Foram identificados os horários com ocorrência de precipitação, temperatura do ar  $> 30$  °C, umidade relativa do ar  $< 55\%$  e velocidade do vento  $> 2,78$  m s<sup>-1</sup>. Momentos com uma ou mais dessas condições foram considerados como com risco de ocorrência de deriva. Setembro foi o mês com maior risco de ocorrência de deriva na região Sudeste. Os horários com maior risco de ocorrência de deriva foram entre as 14:00 e 15:00 horas (UTC -3). As variáveis meteorológicas mais influentes no risco de ocorrência de deriva na região Sudeste foram a umidade relativa do ar  $< 55\%$  e a velocidade do vento  $> 2,78$  m s<sup>-1</sup>.

**PALAVRAS-CHAVE:** Condições meteorológicas; Contaminação ambiental; Agrotóxicos;;

## INTRODUÇÃO

Durante o século XX teve-se um grande aumento da demanda por alimentos, demanda esta que pôde ser suprida através da implementação da Revolução Verde, que trouxe grandes aumentos de produtividade para a agricultura. Porém, para que fosse possível esses aumentos de produtividade, a agricultura passou a depender de vários insumos externos, entre eles, pesticidas (OERKE, 2005).

O Brasil foi o 2º país com maior consumo de pesticidas no ano de 2020, ficando atrás apenas dos Estados Unidos (FAOSTAT, 2022). A região Sudeste teve um total de 143.665 toneladas de ingrediente ativo comercializadas em 2020 (IBAMA, 2021). Além disso, a região Sudeste é a região com maior consumo de pesticidas por área, tendo utilizado em média 9,7 kg de ingrediente ativo por hectare no ano de 2020 (IBAMA, 2021; IBGE, 2022).

Segundo Andef (2010), a ocorrência de deriva durante as aplicações de pesticidas tem sido uma das principais causas de contaminação ambiental por pesticidas, a qual pode ser intensificada por condições meteorológicas adversas. Assim, com base em intervalos favoráveis para estas variáveis, é possível estimar o tempo disponível para aplicação de pesticidas, visando otimizar o uso de equipamentos e eficiência das aplicações (OLIVEIRA; FERREIRA; SENTELHAS, 2020).

De acordo com Andef (2010), os intervalos meteorológicos favoráveis para aplicação de pesticidas são umidade relativa do ar (UR) acima de 55 %, temperatura do ar abaixo de 30 °C, e velocidade do vento entre 3 e 10 km h<sup>-1</sup>. Já para Enz, Hofman e Thostenson (2019) o risco de ocorrência de deriva em momentos com velocidade do vento abaixo de 0,83 m s<sup>-1</sup> só existe em condições de inversão

térmica, a qual deve ser avaliada localmente no momento da aplicação, sendo desconsiderado na prática devido a inviabilidade de sua verificação.

## OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi estimar e comparar a média do risco climático de ocorrência de deriva em aplicações de pesticidas na região Sudeste do Brasil, em escala mensal e horária, bem como identificar quais os elementos meteorológicos com maior influência na ocorrência de risco.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizado o download dos dados das estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) presentes na região Sudeste, totalizando 149 estações. Os dados foram obtidos desde a data de fundação de cada estação até 31/12/2021.

Foram identificados os horários com as seguintes condições: ocorrência de precipitação, temperatura do ar  $> 30^{\circ}\text{C}$ , umidade relativa do ar (UR)  $< 55\%$ , velocidade do vento  $> 2,78 \text{ m s}^{-1}$ . Para estimativa do risco geral, foi considerado que estando qualquer uma dessas variáveis na faixa considerada de risco, representa a ocorrência de risco naquele horário. Foi realizado o somatório dos horários com risco em cada uma das variáveis meteorológicas e também do risco geral, o qual foi dividido pelo total de registros, obtendo-se assim os valores de risco geral e o risco associado a cada uma das variáveis.

A partir dos dados de risco geral, fez-se uma análise de *boxplot* para os horários do dia e meses do ano, usando-se o software Sigmaplot. Os dados de risco para as variáveis precipitação, temperatura, UR e velocidade do vento foram organizados em gráficos de linha e colunas. A análise estatística foi realizada utilizando o software SASM-Agri, usando-se o teste de Scott-Knott para comparação de médias.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O risco médio de ocorrência de deriva na região Sudeste foi de 38%. Verificou-se que existe uma variação significativa do risco de ocorrência de deriva em aplicações de pesticidas na região, tanto durante os meses do ano como durante os horários do dia (Quadro 1).

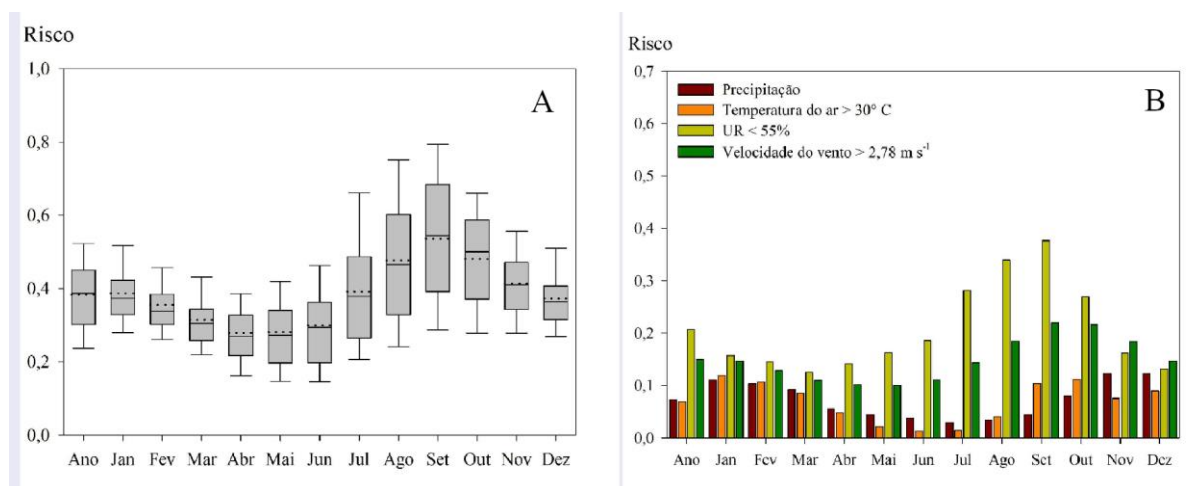
Mês	Média	Hora	Média	Hora	Média
Janeiro	0,39 d*	00:00	0,22 j*	12:00	0,65 c
Fevereiro	0,36 d	01:00	0,20 j	13:00	0,71 b
Março	0,31 e	02:00	0,19 k	14:00	0,74 a
Abril	0,28 e	03:00	0,18 k	15:00	0,74 a
Mai	0,28 e	04:00	0,17 k	16:00	0,71 b
Junho	0,30 e	05:00	0,16 k	17:00	0,62 c
Julho	0,39 d	06:00	0,16 k	18:00	0,48 e
Agosto	0,48 b	07:00	0,18 k	19:00	0,37 g

Setembro	0,54 a	08:00	0,24 j	20:00	0,32 h
Outubro	0,48 b	09:00	0,33 h	21:00	0,28 i
Novembro	0,41 c	10:00	0,44 f	22:00	0,26 i
Dezembro	0,37 d	11:00	0,56 d	23:00	0,24 j
CV (%)	34,29		38,46		

**Quadro 1:** Risco médio mensal e horário de ocorrência de deriva em aplicações de pesticidas na região Sudeste.

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

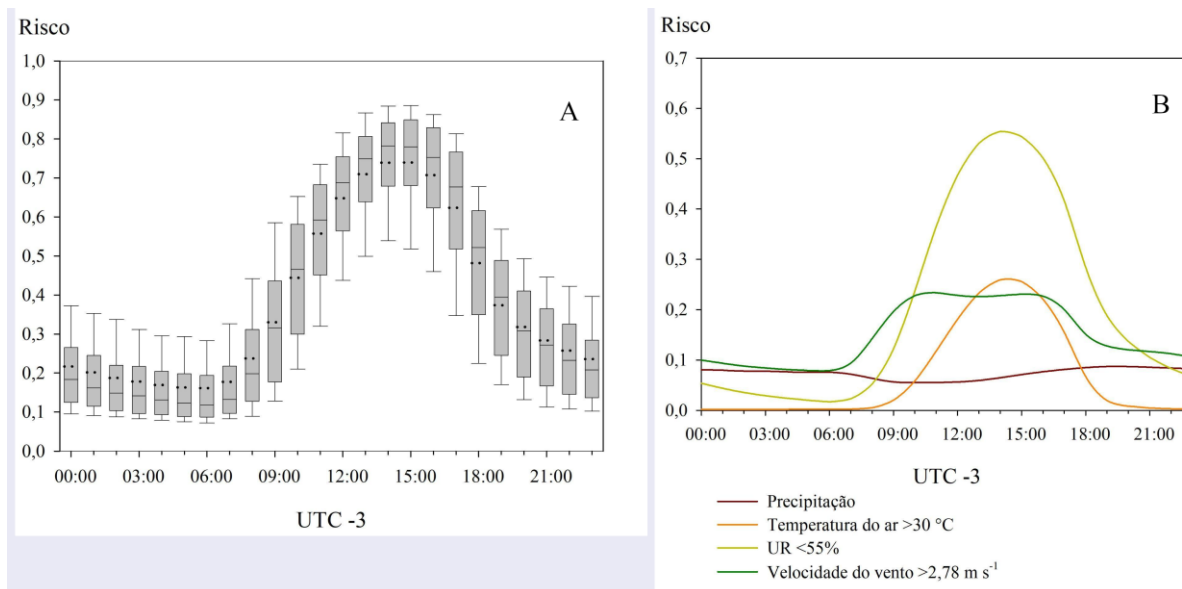
Setembro foi o mês com maior risco de ocorrência de deriva na região Sudeste (54 %). Os meses com menor risco de ocorrência de deriva compreendem o período entre março e junho (Figura 1A). Os elementos meteorológicos com maior influência na análise mensal do risco de ocorrência de deriva na região Sudeste a UR abaixo de 55% e a velocidade do vento maior que 2,78 m s<sup>-1</sup> (Figura 1B).



**Figura 1:** Risco mensal de ocorrência de deriva em aplicações de pesticidas na região Sudeste (A). Elementos meteorológicos com maior influência na ocorrência de risco na região Sudeste (B).

Na análise horária, observou-se que os horários mais propícios para a ocorrência de deriva foram entre as 14:00 e 15:00 horas (UTC -3). Já os horários com menor risco de ocorrência de deriva foram entre as 02:00 e 07:00 horas (Figura 2A). Os elementos meteorológicos com maior influência na ocorrência de risco na análise horária foram a UR abaixo de 55%, seguido da temperatura do ar maior que 30 °C e velocidade do vento maior que 2,78 m s<sup>-1</sup> (Figura 2B).





**Figura 2:** Risco horário de ocorrência de deriva em aplicações de pesticidas na região Sudeste (A). Elementos meteorológicos com maior influência na ocorrência de risco horário na região Sudeste (B).

Segundo Varejão-Silva (2005), as temperaturas mais altas do dia ocorrem cerca de 2 horas após a culminação do Sol, momento em que foi observado valores máximos de risco de ocorrência de deriva. A temperatura do ar apresenta uma relação inversa com a UR ao longo do dia, fazendo com que os horários com maior temperatura sejam aqueles com menor UR. Assim, estes dois fatores contribuem para um maior risco de ocorrência de deriva nos horários mais quentes do dia.

Oliveira, Ferreira e Sentelhas (2020) identificaram que nos municípios de Morro Agudo (SP) e Uberaba (MG) os fatores com maior influência na ocorrência de deriva foram a UR abaixo de 55% e a ocorrência de precipitação. Porém, esses municípios correspondem a áreas isoladas da região Sudeste, não condizendo com a condição média encontrada para toda a região neste trabalho.

## CONCLUSÃO

O mês com maior risco de ocorrência de deriva em aplicações de pesticidas na região Sudeste foi o mês de setembro. Os horários com maior risco de ocorrência de deriva foram entre as 14:00 e 15:00 horas.

Os elementos meteorológicos com maior influência na ocorrência de deriva na análise mensal foram a UR abaixo de 55% e a velocidade do vento maior que  $2,78 \text{ m s}^{-1}$ . Na análise horária os elementos com maior influência na ocorrência de deriva foram a UR abaixo de 55%, temperatura do ar acima de  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  e velocidade do vento maior que  $2,78 \text{ m s}^{-1}$ .

## REFERÊNCIAS

ANDEF - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL. **Manual de Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários**. Campinas: Linea Creativa, 2010. 52 p.

ENZ, John W.; HOFMAN, Vernon; THOSTENSON, Andrew. **Air Temperature Inversions: causes, characteristics and potential effects on pesticide spray drift**. Fargo, United States: North Dakota State University, 2019. 20 p.

FAOSTAT - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS: STATISTICAL DIVISION. **Pesticides Use**. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP/visualize>. Acesso em: 22 set. 2022.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Relatórios de comercialização de agrotóxicos**. 2020. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-deagrotoxicos#boletinsanuais>. Acesso em: 31 maio 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6588#notas-tabela>. Acesso em: 14 out. 2022.

OERKE, E. C. Crop losses to pests. **The Journal Of Agricultural Science**, Cambridge, v. 144, p. 31-43, 9 dez. 2005. Cambridge University Press (CUP).

OLIVEIRA, Francieli Santos de; FERREIRA, Marcella; SENTELHAS, Paulo Cesar. Favorabilidade para a aplicação de herbicidas na cultura da cana-de-açúcar com base em critérios agrometeorológicos. **Agrometeoros**, [s.l.], v. 28, n. 1, p. 1-10, 1 dez. 2020.

VAREJÃO-SILVA, Mário Adelmo. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: [s.ed.], 2005. 516 p.

# Atualização de processos de desertificação no semiárido pernambucano: dinâmica espaço-temporal

**Alanderson Firmino de Lucas**<sup>1</sup>; **Hernande Pereira da Silva**<sup>2</sup>; **Thieres George Freire da Silva**<sup>3</sup>; **Wilma Roberta dos Santos**<sup>1</sup>; **Carlos André Alves de Souza**<sup>4</sup>; **Marcelo José da Silva**<sup>1</sup>; **George do Nascimento Araújo Júnior**<sup>5</sup>; **Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim**<sup>6</sup>; **José Edson Florentino de Morais**<sup>4</sup>; **Matheus Henrique Bezerra de Melo**<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Discente de Pós-Graduação. Serra Talhada, Pernambuco. Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco; <sup>2</sup>Docente. Recife, Pernambuco. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco; <sup>3</sup>Docente. Serra Talhada, Pernambuco. Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco; <sup>4</sup>Pesquisador de Pós-Doutorado. Serra Talhada, Pernambuco. Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco; <sup>5</sup>Pesquisador de Pós-Doutorado Estratégico. Rio Largo, Alagoas. Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia, Departamento de Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas; <sup>6</sup>Pesquisador de Pós-Doutorado. Rio Claro, São Paulo. Departamento de Biodiversidade, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista; <sup>7</sup>Discente de Pós-Graduação. Campina Grande, Paraíba. Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande

## RESUMO

São notórios os impactos da desertificação nas regiões onde este fenômeno ocorre, cujos efeitos vão desde a erosão, diminuição da fertilidade dos solos e dos nutrientes das plantas, aumento do escoamento superficial, diminuição da precipitação e umidade relativa, extensas áreas severamente degradadas, etc. Assim, o objetivo deste estudo foi determinar o instrumento sensor mais adequado para quantificar e avaliar a expansão sistêmica de áreas desertificadas na região central do semiárido brasileiro, núcleo de desertificação de Cabrobó (NDC), utilizando o índice de risco de degradação (RisDes\_Index) a partir de imagens CBERS-4A e Landsat 8 de 2020. Os resultados indicaram uma expansão generalizada das áreas em processo de desertificação no NDC a partir do aumento das áreas de pastagem e da atividade agrícola. O RisDes\_Index e o índice de área foliar (LAI) apresentaram desempenho mais adequado quando utilizadas imagens do sensor OLI a bordo do Landsat 8. Isso indica a necessidade de o usuário estar atento à metodologia empregada e não apenas às características do sensor.

**PALAVRAS-CHAVE:** Landsat 8; CBERS-4A; índice de degradação;;

## INTRODUÇÃO

É notório os impactos da desertificação nas regiões em que este fenômeno ocorre, cujos efeitos vão desde erosão, queda de fertilidade dos solos e de nutrientes das plantas, aumento de escoamento superficial, diminuição de precipitação e umidade relativa, áreas extensivas severamente degradadas, entre outros (ALVES; DE AZEVEDO; COSTA DOS SANTOS, 2017; BEZERRA et al., 2020; BARBOSA NETO et al., 2021; DE OLIVEIRA et al., 2021).

A desertificação é definida como um fenômeno ambiental e social, sendo considerado um dos piores problemas ambientais da contemporaneidade, e estima que seus impactos podem afetar até 250 milhões de pessoas mundialmente. Na América do Sul, a região Nordeste do Brasil (NEB) compreende uma das regiões semiáridas mais susceptíveis (BEZERRA et al., 2020; SILVA et al., 2021). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em torno de 26 milhões de pessoas moram na região semiárida do NEB, que é igual a 46% da população do NEB e 13% da população nacional, tornando-a uma das regiões secas mais habitadas do mundo (IBGE, 2023).

Estudos anteriores sobre processos de desertificação no semiárido do NEB denotaram que mais de 65% desta região é predisposta a desertificação, assim como identificaram quatro áreas como já severamente degradadas denominadas de Núcleo de Desertificação (ND). Estes núcleos são Gilbués

(PI), Irauçuba (CE), Seridó (RN) e Cabrobó (PE) (BEZERRA et al., 2020; BARBOSA NETO et al., 2021).

Contudo, uma pesquisa recente usando a localização dos ND no NEB delimitados pelo Instituto Nacional do Semiárido (INSA) detectou seis ND: Gilbués (PI), Cabrobó (PE), Seridó (RN, PB), Irauçuba (CE), Jaguaribe (CE) e Inhamúns (CE). Desta maneira, ficou claro a expansão dos domínios dos ND, sendo que a difusão acelerada da desertificação no NEB causa supressão da vegetação da Caatinga, ao passo que a degradação deste bioma pode cumprir uma função essencial na formação e ampliação de centros de desertificação no NEB (SILVA et al., 2021).

É possível avaliar este fenômeno pelo uso de sensoriamento remoto (SR), que é acessível e econômico quando comparado com as técnicas tradicionais de pesquisa de campo, as quais demandam mais tempo, custo e trabalho, assim, o monitoramento sistemático em grande escala é mais caro e difícil de implementar. Paralelo a isso, índices de degradação são empregados para monitorar os padrões de degradação dessas áreas. Então, avaliar as mudanças espaciais da cobertura vegetal em uma certa região é um dos aspectos usados para definir o grau de desertificação de uma área, enquanto a análise temporal é de grande valor para estabelecer a velocidade de conversão da vegetação em ambientes áridos (TOMASELLA et al., 2018; BEZERRA et al., 2020; MOURA et al., 2022).

## **OBJETIVOS**

Neste sentido, o presente trabalho tem como principal objetivo determinar o instrumento sensor mais adequado para quantificar e avaliar a expansão sistêmica de áreas desertificadas no ND de Cabrobó (NDC), utilizando o índice de risco de degradação (RisDes\_Index) a partir de imagens CBERS-4A e Landsat 8 de 2020, onde a expectativa é que o índice de degradação apresente melhores resultados quando usadas imagens provenientes do Landsat 8, uma vez que este índice foi desenvolvido a partir de imagens do Landsat 8.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O NDC está situado no estado de Pernambuco no NEB, limitado pelos estados da Bahia (sul) e do Ceará (norte), apresenta uma área de aproximadamente 11.851,73 km<sup>2</sup> com seis municípios (Belém do São Francisco, Cabrobó, Floresta, Itacuruba, Parnamirim e Salgueiro) e, neste caso, foi escolhida a projeção WGS84 por tratar de uma área de escala regional (Figura 1). Este ND ainda conta com o reservatório de Itaparica no rio São Francisco e os rios são intermitentes (KOCH et al., 2020). Este ND está inserido em uma zona tropical de clima semiárido, conforme a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013).

Desta maneira, os valores médios mensais de temperatura do ar no Semiárido variam de 20,6 a 29,2 °C em julho e novembro, respectivamente (ARAÚJO et al., 2022). Concomitante a isso, em média, o clima semiárido permite um acumulado anual de precipitação menor que 500 mm (ALVARES et al., 2013). Neste sentido, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) favorece maior ocorrência de precipitação no semiárido pernambucano, sendo março o mês mais chuvoso, ao passo que o período seco predomina entre agosto e outubro, porém, pode se estender de 7 a 10 meses (OLIVEIRA et al., 2013; DINIZ; MELO-JÚNIOR, 2017; DE ASSIS et al., 2021).

Finalmente, este foco de desertificação apresenta grande diversidade de solos, dada a variação de altitude de 285,88 a 1073,77 metros, com os maiores valores concentrados nos municípios de Salgueiro e Floresta (centro-norte e leste), e as altitudes inferiores ao longo das depressões e planícies do rio São Francisco (Figura 1A).

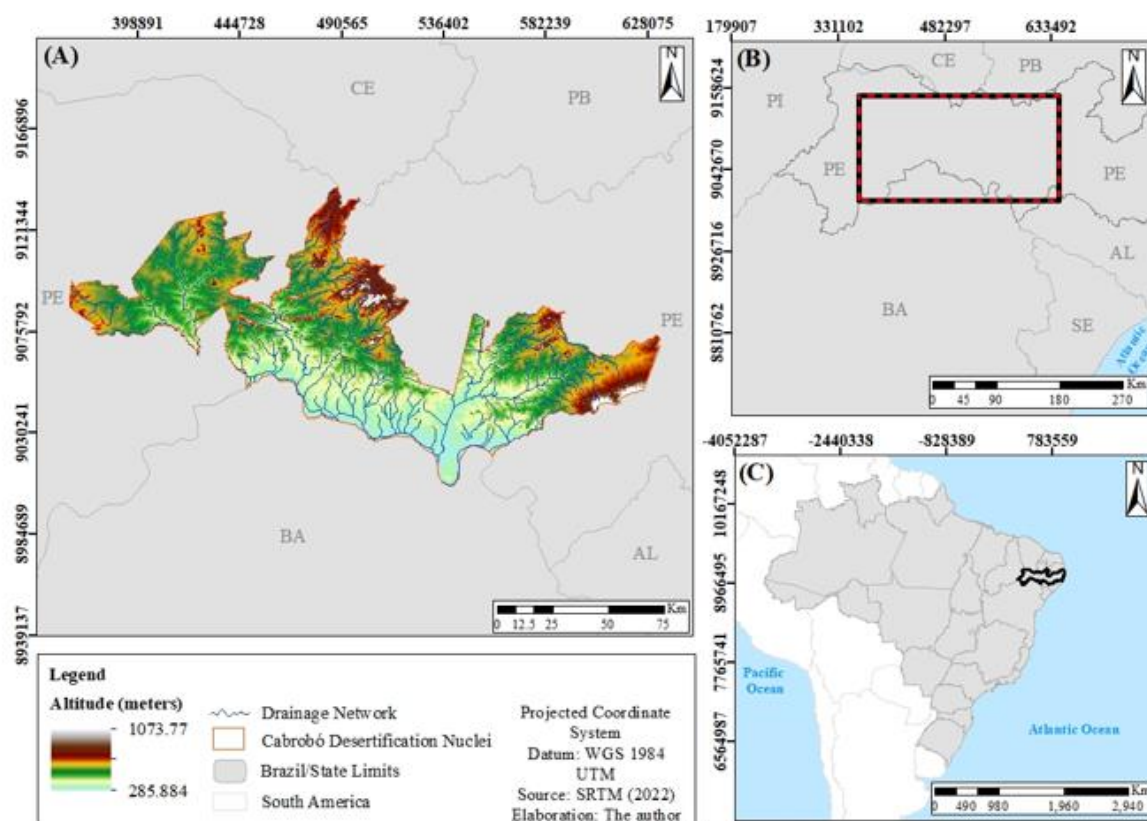


Figura 1: Localização do estado de Pernambuco, NEB (C); NDC no semiárido pernambucano (B); Modelo Digital de Elevação (MDE) da missão SRTM com 30 metros de resolução (A).

Sobre os dados de SR, foram utilizadas imagens com datas referentes a passagem do satélite no ano de 2020, com até 30% de cobertura de nuvens, onde optou pelo período seco (julho-novembro) da área reportada, a fim de minimizar ainda mais a cobertura de nuvens. Sendo imagens das bandas do visível e do infravermelho próximo oriundas do sensor sino-brasileiro WPM (Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura) a bordo do satélite CBERS-4A com resolução espacial de 8 metros (<https://dgi.inpe.br/CDSR/>), bem como do sensor *Operational Land Imager* (OLI) a bordo do Landsat 8 (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), onde usaram as bandas multiespectrais (visível, infravermelho próximo e médio) 2 a 7, com resolução espacial de 30 metros (Tabela 1).

Com isso, foi feito o *download* das imagens por meio de um retângulo envolvente que abarca a área do ND (-7.80, -9.01, -37.72, -40.28), para tanto, foi preciso duas (sete) cenas para o Landsat 8/OLI (CBERS-4A), obtendo um total de nove imagens. Contudo, como a área de interesse usa mais de uma cena para cobri-la completamente, para inibir o problema de periodicidade embutido neste procedimento, escolheram as cenas com datas mais próximas (Tabela 1).

Obtidas as imagens do Landsat 8/OLI, foi feita a correção radiométrica destas com base no cálculo automático da reflectância, enquanto as imagens do sensor orbital CBERS-4A/WPM não precisaram deste pré-processamento, já que segundo a Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) os níveis 2 e 4 realizam esta correção. Em seguida, as camadas foram reprojatadas para o mesmo sistema de referência de coordenadas (SRC) supracitado e, foi produzido o mosaico com as cenas que abrangem o NDC para cada banda de cada sistema sensor e, por fim, foi gerado o recorte por meio do limite atual do NDC expresso pelo INSA (SILVA et al., 2021).

Preferiu confrontar imagens do CBERS-4A com o Landsat 8, porque além do primeiro possuir melhor resolução espacial, ainda se encontra mais próximo da superfície terrestre dada a sua altitude (um pouco mais de 600 km) e apresenta menor faixa imageada (em torno de 100 km), onde estas últimas

características garantem um detalhamento da área ainda mais satisfatório. E como mudanças de uso do solo são avaliadas em escala anual não há necessidade de usar um sensor com menor resolução temporal, então, o satélite e o sensor selecionado para a realização deste manuscrito atendem aos critérios desejados para testar a hipótese proposta.

Acerca do Landsat 8, foi necessário usar imagens deste satélite ambiental, haja vista que o modelo proposto por CRUZ NETO (2021), o índice de risco de desertificação (RisDes\_Index), foi empregado nesta pesquisa pois foi construído baseado em imagens do Landsat, então, metodologicamente, esperou que o RisDes\_Index obtivesse resultados mais adequados do que aqueles gerados por meio de imagens do CBERS-4A, que foi utilizado em função das características nele presentes.

**Tabela 1:** Data, hora, dia juliano (DJ), órbita, ponto, ângulo azimutal, elevação e distância terra-sol (DTS) das passagens dos satélites Landsat 8/OLI e CBERS-4A.

Data	Hora (UTC)	DJ	Órbita	Ponto	Âng. Azimutal	Elevação	DTS
Landsat 8/OLI							
17/10/2020	12:42:09	291	216	66	93.9588715	65.9080540	0.996485
21/08/2020	12:48:04	234	217	66	54.9004208	54.6980646	1.011570
CBERS-4A/WPM							
08/10/2020	13:06:14	282	195	124	89.966279	12.059668	-
02/07/2020	13:06:19	184	196	123	89.960519	11.964617	-
02/07/2020	13:06:32	184	196	124	89.969805	11.959976	-
28/08/2020	13:11:02	241	197	123	89.965994	11.851998	-
29/10/2020	13:12:59	303	197	124	89.965714	11.836747	-
23/08/2020	13:14:03	236	198	123	89.964095	11.756476	-
23/08/2020	13:14:16	236	198	124	89.964548	11.730699	-

O RisDes\_Index foi desenvolvido combinando variáveis derivadas de imagens do satélite Landsat de 18 datas para o NDC, em que as variáveis que melhor retrataram os sítios dispostos no ND a partir deste índice foram o Índice de Área Foliar (IAF) e o albedo (CRUZ NETO, 2021). Portanto, o modelo proposto e suas respectivas variáveis são descritos na Equação 1:

$$RisDesIndex = \left[ \frac{\frac{(R-B)+(R+B)}{(R+B+G)} * IAF}{\alpha} \right] \quad \text{Eq. (259)}$$

onde R é a refletância da banda do vermelho, B é a refletância da banda do azul, G é a refletância da banda do verde, IAF corresponde ao Índice de Área Foliar e  $\alpha$  equivale ao albedo da superfície.

Na Tabela 2 são mostradas as faixas dos valores do RisDes\_Index para identificação do risco de desertificação.

**Tabela 2:** Classes dos valores do RisDes\_Index para áreas já desertificadas, com risco de desertificação (Caatinga rala e cactáceas), Caatinga densa e áreas úmidas. Adaptado de CRUZ NETO (2021).

Intervalos	Classes
$0,0 < \text{RisDes\_Index} \leq 0,33$	Nível alto de desertificação
$0,33 < \text{RisDes\_Index} \leq 0,66$	Nível médio de desertificação
$0,66 < \text{RisDes\_Index} \leq 1,0$	Nível baixo de desertificação
$1,0 < \text{RisDes\_Index} \leq 3,0$	Caatinga Rala/Cactáceas (com risco de desertificação)
$3,0 < \text{RisDes\_Index} \leq 6,0$	Caatinga Densa (sem risco)
$\text{RisDes\_Index} > 6,0$	Área Úmida (sem risco)

Os produtos de SR requeridos no cômputo do RisDes\_Index foram obtidos com base no cumprimento de algumas etapas (Figura 2).

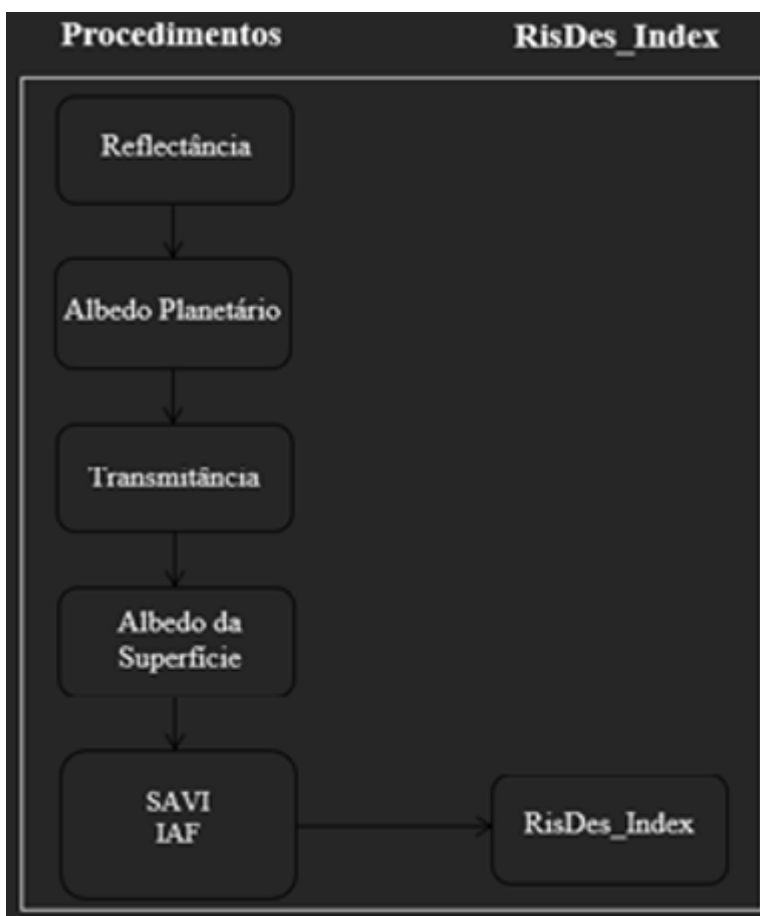


Figura 2: Fluxograma dos procedimentos necessários para obtenção dos produtos de SR para cômputo do RisDes\_Index.

Antes dos índices de vegetação calculou o albedo planetário, o qual precisou da reflectância já calculada de maneira automática em cada banda do visível (CRUZ NETO, 2021):

$$\alpha_{toa} = 0,3\rho_2 + 0,277\rho_3 + 0,233\rho_4 + 0,143\rho_5 + 0,035\rho_6 + 0,012\rho_7 \quad \text{Eq. (260)}$$

sendo  $\rho_i$  a reflectância das bandas 2 a 7.

Dando continuidade, calculou a transmitância atmosférica para condições de céu claro, que é dada pela seguinte relação (ALLEN; TREZZA; TASUMI, 2002):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2.10^{-5} z \quad \text{Eq. (261)}$$

z é igual a imagem referente a altitude de cada pixel (m) (Figura 1A).

Neste ponto, através do albedo planetário e da transmitância conseguiu o albedo da superfície ( BASTIAANSEN et al., 1998; ALLEN; TREZZA; TASUMI, 2002):

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw^2}} \quad \text{Eq. (262)}$$

$\alpha_p$  é a reflectância da atmosfera, sendo recomendado o valor de 0.03.

Posteriormente, foi obtido o SAVI (do inglês *Soil-Adjusted Vegetation Index*) pela relação a seguir (HUETE, 1988):

$$SAVI = \frac{(1 + L)(\rho_5 - \rho_4)}{(L + \rho_5 + \rho_4)} \quad \text{Eq. (263)}$$

L é igual a 0.5 e  $\rho_4$  e  $\rho_5$  representam as bandas do vermelho e do infravermelho, respectivamente.

Enquanto o IAF foi estabelecido baseado na formulação adiante (CRUZ NETO, 2021):

$$IAF = -\frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad \text{Eq. (264)}$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados revelaram que o NDC perdeu vegetação natural (Caatinga rala e densa), principalmente para áreas de pastagens, pecuária e atividades agrícolas, que aumentaram, exatamente como foi reportado na identificação de áreas susceptíveis a desertificação no NEB (Figura 3) (VIEIRA et al., 2015). Esse achado também corrobora com resultados que indicaram que as áreas degradadas aumentaram, principalmente em áreas de pastagem e Caatinga (TOMASELLA et al., 2018).

Deste modo, é inegável o avanço sistêmico do processo de desertificação no NDC, onde consequentemente a cobertura de solo exposto cresce substancialmente (Figura 3). Em função deste fenômeno também é esperado o aumento gradual de áreas urbanas e uma diminuição dos corpos d'água, cujas áreas reduzidas podem ser usadas como um indicativo de desertificação (SHARMA, 1998; GIORDANO; MARINI, 2008).

Nos últimos anos, tem se tornado comum nesta região a substituição da vegetação nativa (Caatinga), em virtude do crescimento acentuado de práticas agrícolas (SILVA et al., 2022).

Como o RisDes\_Index foi construído também baseado no IAF, é possível destacar a equivalência entre ambos no ano de 2020. A imagem do Landsat 8 usada pelo desenvolvedor deste índice também para o NDC detectou esta dinâmica espacial (CRUZ NETO, 2021). Embora as imagens provenientes dos dois sensores orbitais utilizados tenham denotado adequadamente a expansão generalizada de áreas em desertificação, ficou claro que o sistema sensor OLI do Landsat 8 é capaz de discriminar melhor o uso do solo da região, visto que sinalizou áreas agricultáveis, bem como o curso dos principais rios existentes no NDC independente de apresentar uma resolução menor (LIM; CHOI, 2015; OUZEMOU et al., 2018; KOCH et al., 2020). E o mesmo sensor pode não ter sido capaz de captar o sinal de vegetação nativa comum em regiões serranas devido a cobertura de nuvens no setor leste (Figura 1, Figura 3).

Por outro lado, o sensor WPM do CBERS-4A foi pertinente para a região de relevo acidentado na porção leste do NDC, no município de Floresta, mas não ocorreu este padrão para as demais regiões do NDC com altitude acentuada. Ainda é importante ressaltar que o WPM pode não ter destacado as



áreas agrícolas predominantes no extremo sudoeste do NDC em função da cobertura de nuvens na mesma área (Figura 1, Figura 3).

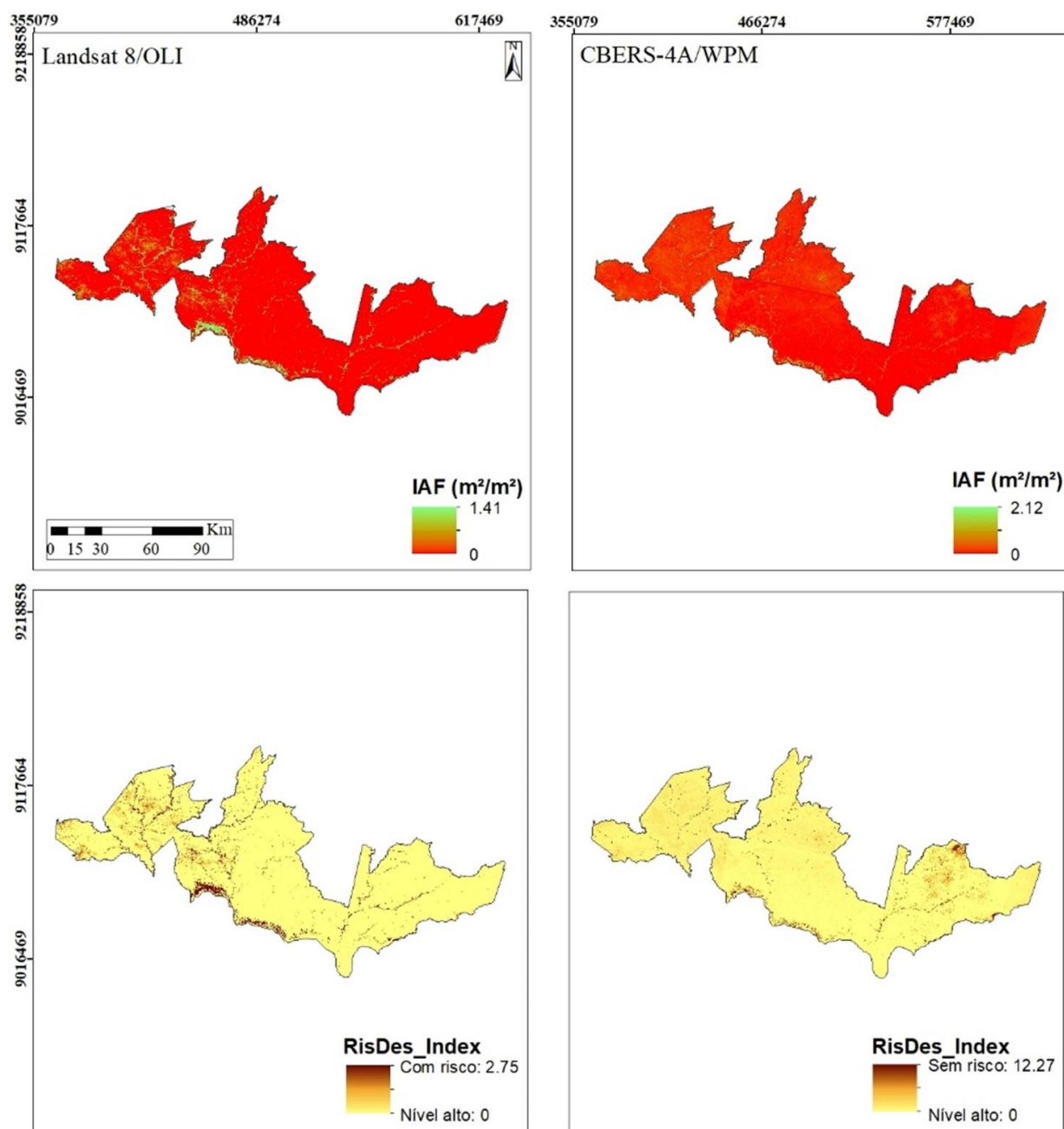


Figura 3: IAF e RisDes\_Index usando Landsat 8/OLI (coluna esquerda) e CBERS-4A/WPM (coluna direita).

Mesmo para as áreas de Caatinga densa e agrícolas, o IAF mal passou de  $2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{m}^{-2}$ , um sinal predominante de IAF ligeiramente acima de  $1 \text{ m}^{-2} \cdot \text{m}^{-2}$  foi percebido na avaliação de áreas desertificadas, de plantas, de Caatinga e de cana de açúcar irrigada com e sem palhada no NDC (CRUZ NETO, 2021). Com isso, o IAF produzido pelo sensor OLI possivelmente obteve melhor resposta no cômputo do RisDes\_Index (Figura 3).

**Tabela 3:** Estatística descritiva do RisDes\_Index usando imagens do LANDSAT8/OLI e do CBERS4A/WPM de 2020.

Estatística	Satélite/Sensor
-------------	-----------------

	LANDSAT8/OLI	CBERS4A/WPM
Máximo	2.75	12.27
Média	0.03	0.05
Mínimo	0	0
DP	0.13	0.26
CV (%)	33.03	32.94

**\* DP correspondente ao desvio padrão e CV igual ao coeficiente de variação.**

O sensor WPM generalizou as áreas desertificadas, mas por outro lado, subestimou o impacto da desertificação em áreas agrícolas, matas ciliares, vegetação do cume de serras etc., onde em comparação com o instrumento sensor OLI aumentou substancialmente o valor máximo do *RisDes\_Index* (+9.52) calculado pelo WPM, de modo que esta câmera definiu estas áreas como Caatinga densa e áreas úmidas, ou seja, sem risco de desertificação (Tabela 2, Tabela 3, Figura 3). Enquanto a câmara OLI detectou a maior parte do NDC com nível alto de desertificação e as demais áreas com risco de desertificação. Os valores do *RisDes\_Index* encontrados por intermédio da imagem do Landsat 8 de outro ano também para o NDC sugerem semelhança com os valores determinados neste manuscrito (CRUZ NETO, 2021).

O contraste de nível alto de desertificação em grande parte do NDC e a ausência de desertificação nas áreas com vegetação mais densa indicam que o sistema sensor WPM apresenta o dobro da variabilidade do sensor OLI (Tabela 3).

## CONCLUSÃO

Ficou clara a expansão generalizada das áreas sob processo de desertificação no NDC a partir da quantificação deste fenômeno no NDC. O *RisDes\_Index* e o IAF mostraram desempenho mais adequado quando foram usadas imagens oriundas do sensor OLI a bordo do Landsat 8. Isso indica a necessidade do usuário atentar a metodologia empregada e não somente as características do sensor. Contudo, existem erros associados ao acervo de imagens com cobertura de nuvens e as cenas com datas diferentes na construção do mosaico da área de interesse.

Recomenda ainda usar a banda pancromática de ambos os sensores com as bandas do vermelho, verde, azul e do infravermelho, a fim de aprimorar a resolução espacial, mas isso requer a disponibilidade de um elevado custo computacional, principalmente, com as imagens da banda pancromática do sensor WPM.

Entender os padrões de ocorrência desse fenômeno é fundamental para monitorar, obter informações e propor uma gestão sustentável das práticas agrícolas presentes na região, para tornar possível o desenvolvimento econômico da região em destaque, ao passo que atenua as pressões do processo de desertificação sobre a população local e o ambiente.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE - IBPG-0184-5.03/22), pelo financiamento da bolsa e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEA) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) pelo suporte no desenvolvimento desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; TREZZA, R.; TASUMI, M. Surface energy balance algorithms for land: advance training and user's manual. Version 1.0. Surface Energy Balance Algorithms for Land: Advance training and users manual, version, [S. l.], v. 1, 2002.
- ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE JOSÉ LUIZ AND SENTELHAS, PAULO CESAR AND DE MORAES GONÇALVES, José Leonardo; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, Germany, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ALVES, Telma Lucia Bezerra; DE AZEVEDO, Pedro Vieira; COSTA DOS SANTOS, Carlos Antonio. Influence of climate variability on land degradation (desertification) in the watershed of the upper Paraíba River. *Theoretical and Applied Climatology*, [S. l.], v. 127, n. 3-4, p. 741-751, 2017. DOI: 10.1007/s00704-015-1661-1. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-015-1661-1>.
- ARAÚJO, Caio Sérgio Pereira De; SILVA, Ivis Andrei Campos e; IPPOLITO, Matteo; ALMEIDA, Ceres Duarte Guedes Cabral De. Evaluation of air temperature estimated by ERA5-Land reanalysis using surface data in Pernambuco, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, [S. l.], v. 194, n. 5, p. 381, 2022. DOI: 10.1007/s10661-022-10047-2. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10047-2>.
- BARBOSA NETO, Manuella Vieira; DE ARAÚJO, Maria do Socorro Bezerra; DE ARAÚJO FILHO, José Coelho; SAMPAIO, Everardo Valadares de Sá Barretto; DE ALMEIDA, Brivaldo Gomes. Rill and sheet soil erosion estimation in an area undergoing desertification in the Brazilian semi-arid region. *Modeling Earth Systems and Environment*, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 1183-1191, 2021. DOI: 10.1007/s40808-020-01026-y. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40808-020-01026-y>.
- BASTIAANSEN, Wim G. M.; MENENTI, Massimo; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of hydrology*, [S. l.], v. 212, p. 198-212, 1998.
- BEZERRA, F. G. S.; AGUIAR, A. P. D.; ALVALÁ, R. C. S.; GIAROLLA, A.; BEZERRA, K. R. A.; LIMA, P. V. P. S.; DO NASCIMENTO, F. R.; ARAI, E. Analysis of areas undergoing desertification, using EVI2 multi-temporal data based on MODIS imagery as indicator. *Ecological Indicators*, [S. l.], v. 117, n. September 2019, p. 106579, 2020. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106579. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106579>.
- CRUZ NETO, José Francisco Da. Proposição metodológica e análise da sensibilidade do sertão central do Brasil à desertificação: dados in situ, modelagem, sensoriamento remoto e multicritérios. 2021. Universidade Federal Rural de Pernambuco, [S. l.], 2021.
- DE ASSIS, Janaina Oliveira Maria; MENEZES, Athos Farias; DE SOUZA, Werônica Meira; SOBRAL, Maria do Carmo Martins. Methods to analyze spatio-temporal rainfall variability: application to the Pajeú river basin, Pernambuco, Brazil. *Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)*, [S. l.], v. 56, n. 4, p. 577-588, 2021.
- DE OLIVEIRA, Michele L.; DOS SANTOS, Carlos A. C.; DE OLIVEIRA, Gabriel; PEREZ-MARIN, Aldrin M.; SANTOS, Celso A. G. Effects of human-induced land degradation on water and carbon fluxes in two different Brazilian dryland soil covers. *Science of the Total Environment*, [S. l.], v. 792, p. 148458, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148458. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148458>.

- DINIZ, Leidiane P.; MELO-JÚNIOR, Mauro D. E. Can nearby eutrophic reservoirs sustain a differentiated biodiversity of planktonic microcrustaceans in a tropical semiarid basin? *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, [S. l.], v. 89, p. 2771-2783, 2017.
- GIORDANO, Francesca; MARINI, Alberto. A landscape approach for detecting and assessing changes in an area prone to desertification in Sardinia (Italy). *International Journal of Navigation and Observation*, [S. l.], v. 2008, 2008.
- HUETE, Alfredo R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*, [S. l.], v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.
- IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E. ESTATÍSTICA. Population Estimates. 2023.
- KOCH, Hagen; SILVA, Ana Lígia Chaves; LIERSCH, Stefan; DE AZEVEDO, José Roberto Gonçalves; HATTERMANN, Fred Fokko. Effects of model calibration on hydrological and water resources management simulations under climate change in a semi-arid watershed. *Climatic Change*, [S. l.], v. 163, n. 3, p. 1247-1266, 2020. DOI: 10.1007/s10584-020-02917-w. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02917-w>.
- LIM, Jisang; CHOI, Minha. Assessment of water quality based on Landsat 8 operational land imager associated with human activities in Korea. *Environmental monitoring and assessment*, [S. l.], v. 187, p. 1-17, 2015.
- MOURA, Marks Melo; WALTER, Letícia Siqueira; LINS, Tarcila Rosa da Silva; ARAUJO, Emmanoella Costa Guaraná; DA CUNHA NETO, Ernandes Macedo; SANTANA, Gabriel Mendes; BRASIL, Iací Dandara Santos; SILVA, Thiago Cardoso. Temporal analysis of desertification vulnerability in Northeast Brazil using Google Earth Engine. *Transactions in GIS*, [S. l.], v. 26, n. 4, p. 2041-2055, 2022. DOI: 10.1111/tgis.12926.
- OLIVEIRA, L. G.; CAVALCANTI, M. A. Q.; FERNANDES, M. J. S.; LIMA, D. M. M. Diversity of filamentous fungi isolated from the soil in the semiarid area, Pernambuco, Brazil. *Journal of Arid Environments*, [S. l.], v. 95, p. 49-54, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.03.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196313000414>.
- OUZEMOU, Jamal-Eddine; EL HARTI, Abderrazak; LHISSOU, Rachid; EL MOUJAHID, Ali; BOUCH, Naima; EL OUAZZANI, Rabii; BACHAOUI, El Mostafa; EL GHMARI, Abderrahmene. Crop type mapping from pansharpened Landsat 8 NDVI data: A case of a highly fragmented and intensive agricultural system. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, [S. l.], v. 11, p. 94-103, 2018.
- REBOITA, Michelle Simões; KRUSCHE, Nisia; AMBRIZZI, Tércio; ROCHA, Rosmeri Porfírio Da. *Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul*. [s.l.: s.n.].
- SHARMA, K. D. The hydrological indicators of desertification. *Journal of Arid Environments*, [S. l.], v. 39, n. 2, p. 121-132, 1998.
- SILVA, Any Caroline; MENDES, Keila Rêgo; SANTOS E SILVA, Cláudio Moisés; RODRIGUES, Daniele Torres; COSTA, Gabriel Brito; DA SILVA, Duany Thainara Corrêa; MUTTI, Pedro Rodrigues; FERREIRA, Rosaria Rodrigues; BEZERRA, Bergson Guedes. Energy balance, CO2 balance, and meteorological aspects of desertification hotspots in Northeast Brazil. *Water (Switzerland)*, [S. l.], v. 13, n. 21, p. 1-17, 2021. DOI: 10.3390/w13212962.

SILVA, José Raliuson Inácio; MONTENEGRO, Abelardo Antônio de Assunção; FARIAS, Carolyne Wanessa Lins de Andrade; JARDIM, Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz; SILVA, Thieres George Freire Da; MONTENEGRO, Suzana Maria Gico Lima. Morphometric characterization and land use of the Pajeú river basin in the Brazilian semi-arid region. *Journal of South American Earth Sciences*, [S. l.], v. 118, p. 103939, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103939>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895981122002280>.

TOMASELLA, Javier; SILVA, Rita M.; VIEIRA, Pinto; BARBOSA, Alexandre A.; RODRIGUEZ, Daniel A.; OLIVEIRA, Marcos De; SESTINI, Marcelo F. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000 - 2016. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, [S. l.], v. 73, n. November 2017, p. 197-206, 2018. DOI: 10.1016/j.jag.2018.06.012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.06.012>.

VIEIRA, R. M. da Silva Pinto et al. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. *Solid Earth*, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 347-360, 2015.

# **ALTERAÇÕES AMBIENTAIS DO BIOMA CAATINGA NO ESTADO DA PARAÍBA: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA O ENTENDIMENTO DAS MICRORREGIÕES PARAIBANAS**

**Madson Tavares Silva <sup>1</sup>; José Diogenes Alves Pereira <sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Docente. Aprígio Veloso 882 - Bairro Universitário Campina Grande-PB - CEP: 58429-900 - Brasil. Universidade Federal de Campina Grande; <sup>2</sup>Discente. Aprígio Veloso 882 - Bairro Universitário Campina Grande-PB - CEP: 58429-900 - Brasil. Universidade Federal de Campina Grande

## **RESUMO**

A Caatinga é detentora de inúmeras riquezas denotadas por sua quantidade de recursos naturais, estes que por sua vez atraem o interesse de diversas atividades humanas, que os utilizam para suas manutenções, neste sentido o bioma é explorado ocasionando mudanças muitas vezes adversas no meio ambiente, transformações que são observadas em reduções de áreas nativas, onde o presente estudo objetivou compreender e determinar tendências de redução de cobertura vegetal da Caatinga nas 23 microrregiões paraibanas, por meio da utilização de dados do MapBiomas e Terra Brasilis, empregados no teste estatístico tendencial de Mann-Kendall. A partir dos resultados foi possível identificar as tendências de redução da cobertura savânica para o período analisado (1985 a 2020). De 2001 a 2004 anualmente eram perdidos aproximadamente 9 mil ha e posteriormente reduções contínuas que tomaram muitas áreas nativas. Foi constatado que das 23 microrregiões paraibanas, 13 detém tendências decrescentes de áreas de Caatinga, ou seja, a maior parte das micros do estado possuem uma expectativa de diminuição de vegetações nativas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bioma caatinga; desmatamento; microrregiões paraibanas;;

## **INTRODUÇÃO**

O Bioma caatinga ocupa por volta de 844.453 km<sup>2</sup> do território brasileiro, sendo exclusivamente nacional, é detentor de riquezas naturais, estando situado no clima semiárido, composto por vegetações resilientes a realidades secas e com baixas precipitações, porém estas riquezas são atribuídas por seus recursos naturais, que por sua vez geram interesse e atratividade de ações antrópicas que os utilizam (IBGE, 2019).

Inúmeras atividades humanas são empregadas em áreas de Caatinga, desde urbanização, agricultura, pecuária, mineração dentre outras, onde muitos destes feitos executados acarretam em alterações ambientais do bioma, sendo que a aplicação dessas atividades muitas vezes ocorrem de forma indevida, incidindo negativamente com a diminuição de áreas de caatinga (ISNP, 2023).

A Caatinga já perdeu cerca de 45,6% de suas áreas vegetadas, condição esta vista pela mudança de um meio natural muitas vezes intocado para um meio antropizado, por muitas atividades antrópicas, que suprimem vegetações nativas, favorecendo condições impactantes negativas, onde o desmatamento é praticado, tomando áreas do bioma para sediar espaço para execução outras atividades humanas (GAMA et al., 2022 e MEDEIROS et al., 2012).

Considerando estas mudanças que o bioma vem sofrendo, no estado da Paraíba também é observada esta realidade, a qual as vegetações nativas da caatinga no estado vem diminuindo com o passar dos anos, onde as áreas que compõem as microrregiões paraibanas, estão envoltas de perdas de áreas vegetadas nativas potencialmente ocasionadas por desmatamentos (GOVERNO DA PARAÍBA, 2021).

Neste cenário adverso de reduções de áreas nativas de Caatinga, se tem uma necessidade de dados que apontem condições ambientais e que propiciem a compreensão de como estão sendo conduzidas as alterações, para que assim sejam tomadas ações devidas de manejo ambiental, onde os projetos MapBiomas e Terra Brasilis, se tornam importantes ferramentas para a salva guarda do meio ambiente

por disponibilizarem dados de uso e ocupação das terras do Bioma caatinga e desmatamento respectivamente (MAPBIOMAS, 2023 e TERRABRASILIS, 2023).

## OBJETIVOS

O presente estudo visa compreender e determinar tendências de redução de cobertura vegetal da Caatinga nas microrregiões paraibanas, analisando os níveis de perdas de formação savânica com base em dados do MapBiomias e Terra Brasilis.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é o Estado da Paraíba em específico as 23 microrregiões paraibanas (Figura 1), onde foram utilizados dados de formação savânica em hectares, cedidos pelo Projeto MapBiomias da coleção 6.0 no período de 1985 a 2020 e dados de desmatamento em hectares do Projeto Terra Brasilis nos anos de 2001 a 2020, para compreender a variabilidade a presença de vegetações da Caatinga por microrregião e possíveis reduções.



Figura 1. Localização das microrregiões paraibanas

Os dados de formação savânica (1985 a 2020) do MapBiomias foram empregados no teste estatístico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) que verifica a existência de tendências de uma determinada série temporal, teste este que identifica eventuais flutuações ou comportamentos ambientais, onde foram verificados aumentos e reduções de vegetações da Caatinga na Paraíba, por microrregião, feito este alcançado pela Equação 1, a qual os resultados foram expostos em um mapa de tendências e suas significâncias estatísticas.

$$S = \sum_{i=j}^{n-1} \sum_{j=1+i}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

Eq.1

em que:  $n$  é o número de pontos de dados,  $x_i$  e  $x_j$  são os respectivos valores da série temporal  $i$  e  $j$  ( $j > i$ ).

Os dados de desmatamento (2001 a 2020) da Terra Brasilis foram aplicados e plotados em um gráfico de incremento de áreas desmatadas em hectares da Caatinga na Paraíba com um todo, possibilitando assim visualizar a dinâmica que o desmatamento ocorrente no estado detém.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Tendências de reduções e aumentos de áreas de Caatinga

De acordo com os resultados obtidos pelo teste de Mann-Kendall (Figura 2), foi possível identificar as tendências de redução da cobertura savânica para o período analisado (1985 a 2020), e também as suas significâncias estatísticas, sendo as microrregiões de Cajazeiras, Sousa, Piancó e Itaporanga as que apresentaram tendência decrescente estatisticamente significativa, ou seja, houve tendência significativa na redução da cobertura savânica de Caatinga ao longo dos anos estudados.

A qual segundo dados do TERRA BRASILIS (2023) em diversos municípios sertanejos que estão inseridos nestas micros, tiveram registro de desmatamento em áreas de caatinga, que evidenciaram reduções deste bioma, onde esta situação é observada com sucessivos aparecimentos de áreas desmatadas, condição esta que possivelmente implicou nesta expectativa de reduções evidenciadas pelas tendências decrescentes determinadas.



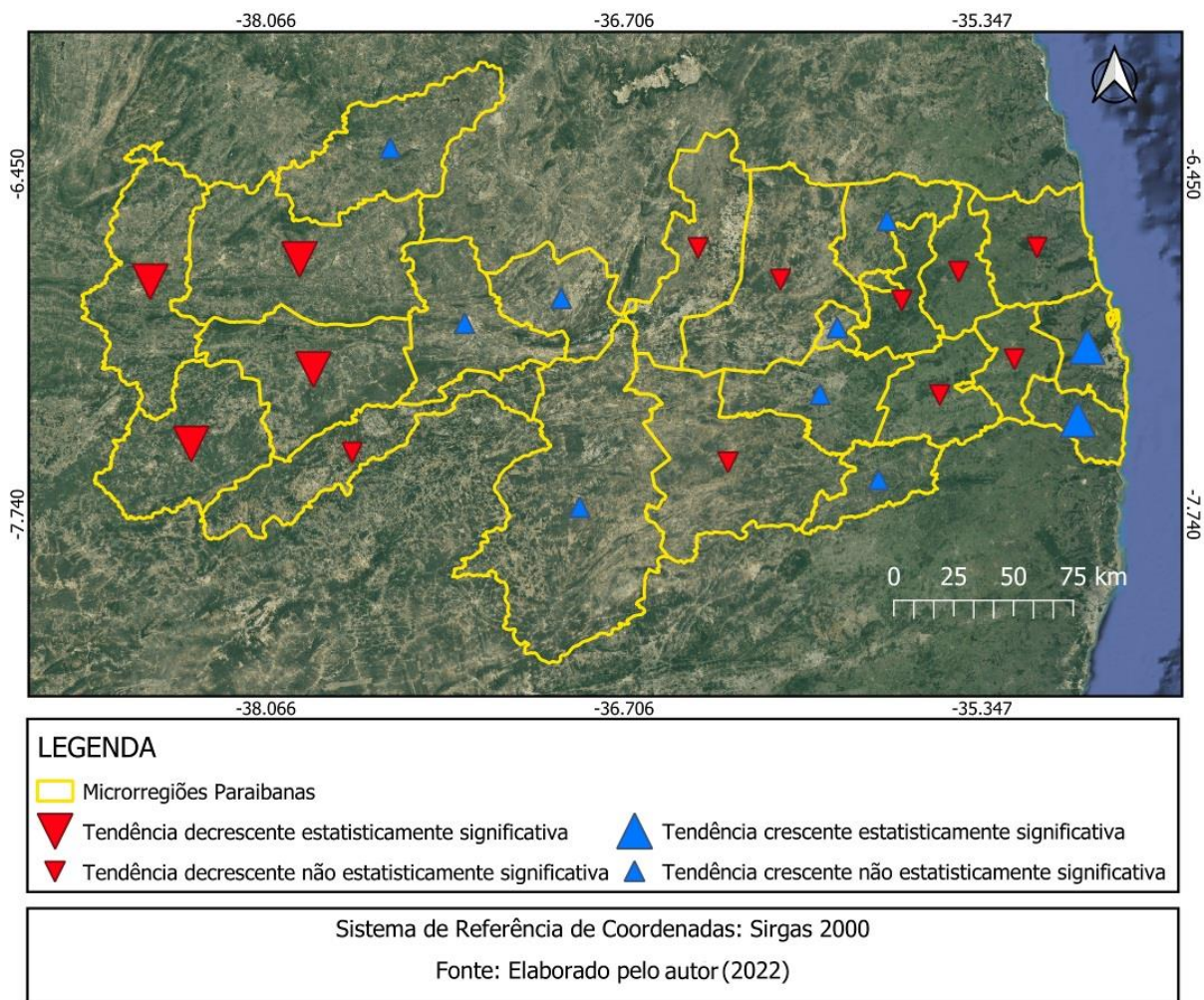


Figura 2. Tendências de reduções e aumentos de áreas de Caatinga nas microrregiões do estado da Paraíba

### Incremento de áreas desmatadas de Caatinga

A Figura 3 denota os incrementos de desmatamento em hectares de Caatinga no Estado da Paraíba, a qual é possível observar que de 2001 a 2022 tiveram sucessivas reduções de áreas de vegetações, onde estes incrementos implicam em diminuições do bioma ano após ano, alterando áreas nativas e as tornando desmatadas. De 2001 a 2004 anualmente eram perdidos aproximadamente 9 mil ha e posteriormente reduções contínuas que tomaram muitas áreas nativas.

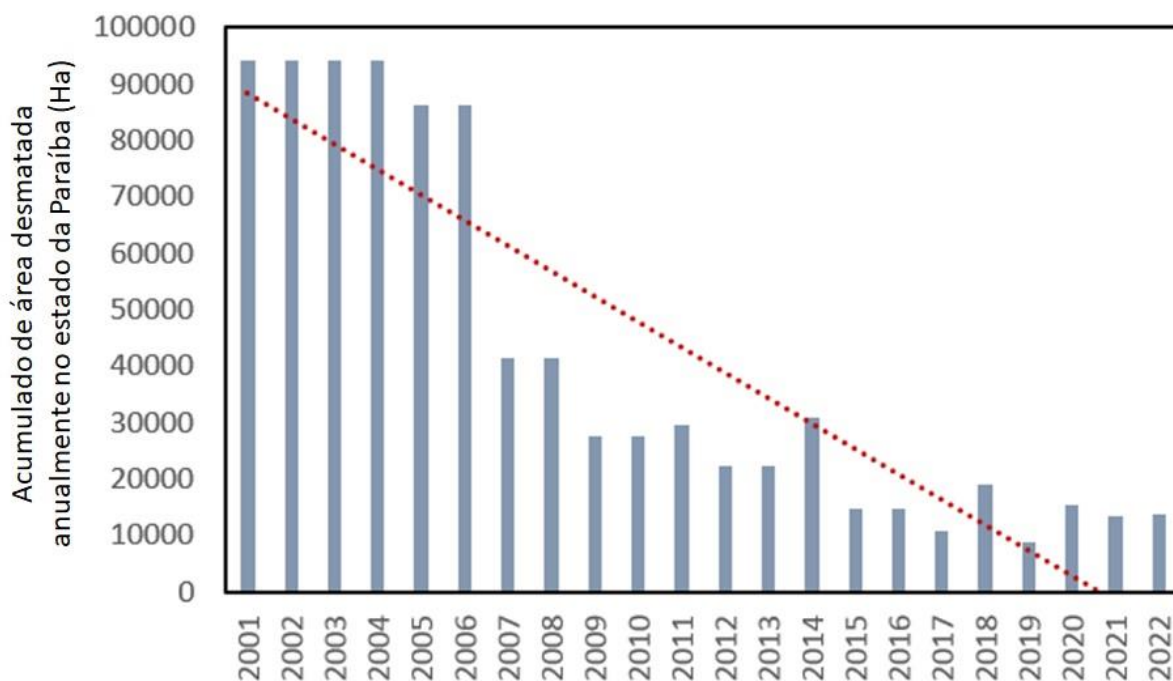


Figura 3. Acumulado de área desmatada anualmente no estado da Paraíba (Ha)

Segundo o TERRA BRASILIS (2023), cerca de 1.639.975 ha de Caatinga foram perdidos por desmatamento até o ano 2000, o que estrutura um cenário alarmante, devido as implicações adversas que condição impõe, considerando este valor já foi perdido e não recuperado e existem contínuos incrementos da ação que proporciona esta redução.

## CONCLUSÃO

Foi constatado que das 23 microrregiões paraibanas, 13 detém tendências decrescentes de áreas de Caatinga, ou seja, a maior parte das micros do estado possuem uma expectativa de diminuição de vegetações nativas.

Dado ao exposto pela dinâmica de desmatamento é possível inferir que na Paraíba, o desmatamento em áreas do Bioma caatinga é contínuo impactando adversamente este meio.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem pelo financiamento do Projeto de Pesquisa sob Termo de Outorga nº 3033/2021, Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ). E ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da Bolsa de Produtividade em Pesquisa (307608/2022-0) ao primeiro autor, bem como à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de mestrado ao segundo autor.

## REFERÊNCIAS

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFICA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Área perdida de Caatinga nos últimos anos**. Disponível em: <[https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/estudos\\_ambientais/biomas/mapas/](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/biomas/mapas/)>. Acesso em: 27 jul. 2023.

INSTITUTO SOCIEDADE, POPULAÇÃO E NATUREZA (ISPN). **Caatinga-Ameaças à Caatinga**. Disponível em: <<https://ispn.org.br/biomas/caatinga/ameacas-a->



# EVOLUÇÃO DO USO E COBERTURA DO SOLO NO HOTSPOT DE DESERTIFICAÇÃO DE INHAMUNS-CE, NO PERÍODO 2001-2021

**Larissa Ingrid Marques Linhares**<sup>1</sup>; **Pedro Rodrigues Mutti**<sup>2</sup>; **Albert Smith Feitosa Suassuna Martins**<sup>3</sup>; **Anderson da Silva Santos**<sup>4</sup>; **Iara Bezerra da Silva**<sup>5</sup>; **Vitória Régia Silva de Souza**<sup>6</sup>; **Fábio Vinicius Marley Santos Lima**<sup>7</sup>; **Itauan Dayvison Gomes de Medeiros**<sup>8</sup>; **Wagner Jefferson Rodrigues da Silva**<sup>9</sup>

<sup>1</sup>Bolsista CAPES. Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal, RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte; <sup>2</sup>Professor do Departamento de Ciências Climáticas. Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal, RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte; <sup>3</sup>Bolsista CAPES. Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal, RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte; <sup>4</sup>Bolsista . Campus Universitário, CERES, Caicó, RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte; <sup>5</sup>Bolsista CAPES. Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal, RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte; <sup>6</sup>Discente. Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal, RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte; <sup>7</sup>Bolsista CAPES. Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal, RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte; <sup>8</sup>Bolsista . Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal, RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte; <sup>9</sup>Discente. Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal, RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte

## RESUMO

O processo de desertificação de ambientes áridos, semiáridos e subúmidos secos estão diretamente ligados a vulnerabilidade climática, acarretando diversos danos socioeconômicos e ambientais. Em âmbito nacional, o processo de desertificação está mais acentuado na região Nordeste do Brasil, onde o clima predominantemente semiárido e a ação humana vêm acarretando na expansão da desertificação. O intuito dessa pesquisa foi analisar a evolução do uso e cobertura da terra no núcleo de desertificação de Inhamuns-CE, a partir de índices de vegetação (NDVI), albedo e temperatura de superfície (LST) obtidos por produtos do sensor MODIS. Os resultados mostraram que as zonas de caatinga esparsa têm aumentado no núcleo notadamente a partir da última grande seca de 2012 e a cobertura de caatinga é correlacionada de forma negativa com a classe agropecuária ( $r > 0,60$ ). Além disso, o NDVI e a LST também são negativamente correlacionados ( $r > 0,60$ ), porém não se correlacionam com o albedo. Este, por sua vez, pôde ser melhor modelado a partir das informações de classe e cobertura do solo do que o NDVI e o LST, indicando que pode ser um melhor indicador de sensoriamento remoto para monitoramento das mudanças de uso e ocupação do solo no núcleo de Inhamuns.

**PALAVRAS-CHAVE:** Semiárido; NDVI; Albedo; Temperatura da superfície; sensoriamento remoto

## INTRODUÇÃO

A desertificação se configura como um processo de degradação ambiental contínuo, presente em zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, ocasionadas pelas oscilações climáticas e alterações antrópicas, tais processos implicam mudanças no regime hídrico, ecossistema, clima, uso e cobertura do solo, Silva e Oliveira (2017). Admite-se que a desertificação expressa o resultado da combinação de condições naturais, climáticas e socioeconômicas, e das formas de utilização dos recursos naturais, especialmente para a produção agrícola e para o desenvolvimento rural.

No Brasil, esse processo se concentra no Semiárido Brasileiro, especialmente em alguns estados do Nordeste, além de Minas Gerais e Espírito Santo (MMA, 2020). Segundo Silva et al (2022) o fenômeno de desertificação no Nordeste brasileiro está ligado a condições geoambientais, tipos de solos, substrato rochoso, além de feições geomorfológicas, clima e vegetação. Estudos apontam forte relação do processo contínuo de desertificação da região semiárida a questões de uso e ocupação do solo, ausência de ordenamento territorial, extrativismo vegetal acarretando a erosão do solo, pastagem e agricultura indevidas e queimadas.

Nesse contexto, o sensoriamento remoto se apresenta como uma importante ferramenta para o monitoramento da evolução da desertificação em diferentes escalas, em especial quando utilizando

dados com alta resolução temporal como os provenientes do sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS).

A área de estudo concentra-se no Núcleo de Desertificação do Sertão dos Inhamuns, uma das várias regiões propensas à desertificação no Brasil. A pesquisa foi motivada pela necessidade de examinar os efeitos agravados pela intervenção humana, que tem acelerado o processo de desertificação. Nesse contexto, a análise abrange uma ampla gama de elementos naturais, socioeconômicos e científicos, com o objetivo de monitorar a progressão desse fenômeno. Entre as particularidades da região, destaca-se seu clima tropical de zona equatorial, caracterizado por uma estação chuvosa concentrada em poucos meses do ano, marcada por precipitações intensas e irregularmente distribuídas. Nesse cenário, influenciam os sistemas meteorológicos como El Niño-Oscilação Sul (ENOS), o dipolo do Atlântico Sul e a Oscilação Madden-Julian (Cavalcante, 2009). Como resultado, a área se apresenta com temperaturas elevadas e uma exploração intensiva do solo, sendo propícia a práticas agrícolas e de pastoreio.

## OBJETIVOS

Dessa forma, a necessidade de investigação nesse núcleo de desertificação se pauta nas oscilações climáticas locais e o impacto disso nas atividades antrópicas, assim, o objetivo da referida pesquisa foi verificar a evolução do uso e cobertura do solo a partir da correlação entre dados obtidos por sensoriamento remoto como o: Índice de Vegetação por Diferenças Normalizadas (NDVI), albedo e Temperatura da superfície (TSL) no período de 2001 a 2021.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo situa-se no centro-oeste do estado do Ceará, abrangendo os municípios de: Tauá, Independência e Arneiroz, municípios que correspondem ao Núcleo de Desertificação do Sertão dos Inhamuns.

O processamento dos dados foi feito utilizando a plataforma Google Earth Engine (GEE) juntamente com o software Excel e a linguagem- R. Os dados de NDVI foram retirados do produto MOD13Q(v061), onde são extraídos valores para o NDVI em uma resolução temporal de 16 dias. Os dados diários do albedo foram obtidos a partir do produto MCD43A3(v0061) e dados de LST foram obtidos pelo produto MOD11A1. Os dados de cobertura e uso do solo foram obtidos na plataforma MABBIOMAS, abrangendo a série histórica de 2001 a 2021. Para cada produto, utilizou-se a média dos valores dos pixels sobre o núcleo de Inhamuns.

Primeiramente, foi realizada uma análise da evolução temporal das principais classes de cobertura do solo no núcleo com foco nas áreas de caatinga densa (arbórea), caatinga esparsa (herbácea e arbustiva) e áreas de agropecuária (pastagens e mosaicos de uso agrícola). Além disso, o comportamento anual do NDVI, albedo e LST também foram avaliados no período de 2001 até 2021. As tendências lineares (a partir da regressão linear simples dos dados) foram calculadas para essas séries temporais anuais.

Essas informações foram correlacionadas entre si e o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) foi avaliado por meio de um mapa de calor (*heatmap*). Finalmente, os dados de NDVI, albedo e LST (variáveis dependentes - VD) foram modelados por meio de regressão múltipla com as classes caatinga densa (VI1), caatinga esparsa (VI2) e agropecuária (VI3) como variáveis independentes.

$$VD = \beta_0 + \beta_1.VI1 + \beta_2.VI2 + \beta_3.VI3$$

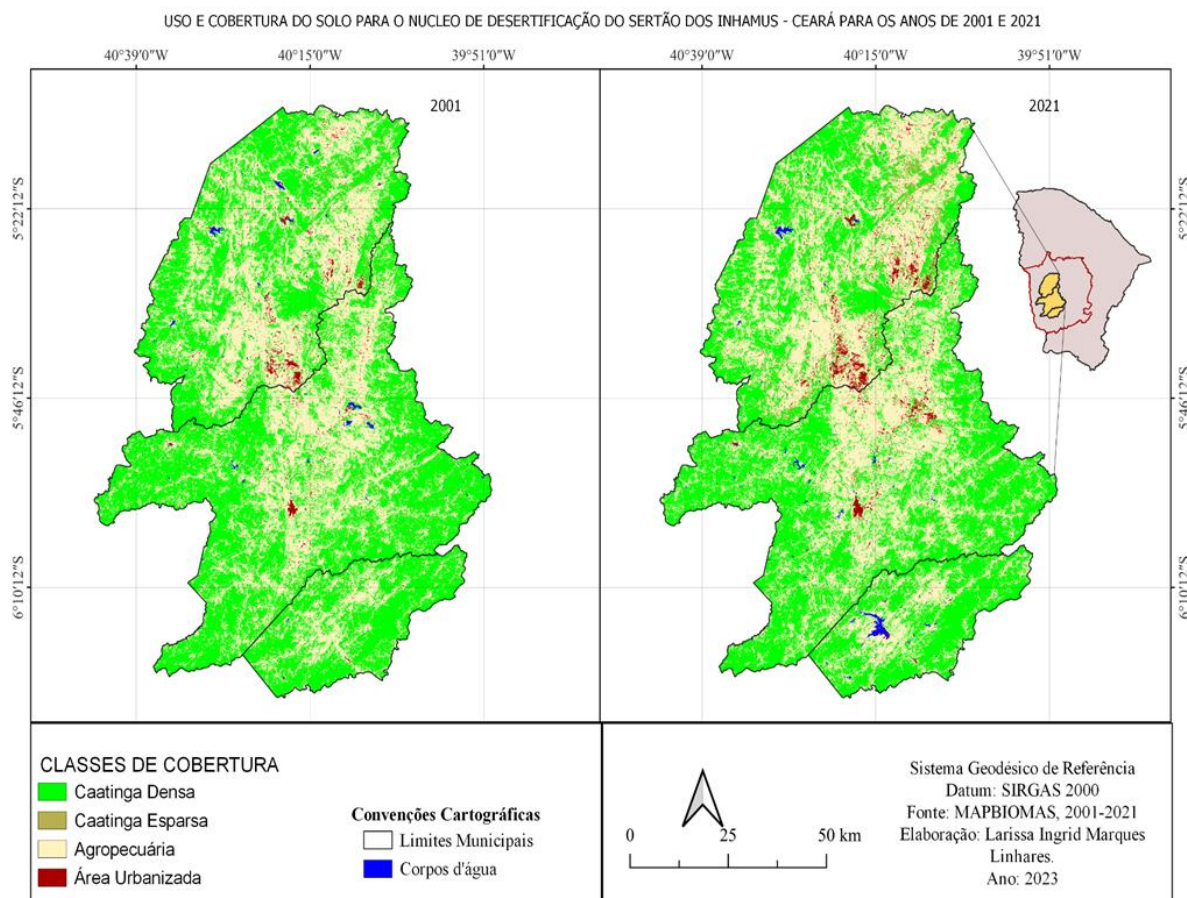
O objetivo dessa análise foi verificar quais parâmetros de superfície obtidos por sensoriamento remoto podem melhor representar as dinâmicas de alterações de uso e ocupação do solo no núcleo de desertificação de Inhamuns. Quando os coeficientes (?) da regressão foram estatisticamente

significativos ( $p$ -valor $<0,05$  e  $p$ -valor $<0,10$ ) pode existir uma melhor representação dos parâmetros com base nas coberturas do solo (intervalos de confiança de 95% e 90%).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos mapas de uso do solo da plataforma MAPBIOMAS, foi possível visualizar os principais tipos de classes de cobertura do solo, do Núcleo de Desertificação do Sertão dos Inhamuns conforme demonstrado na Figura 1.

**Figura 1:** Mapa de uso e ocupação do solo no Núcleo de Desertificação de Inhamuns no ano de 2001 e 2021

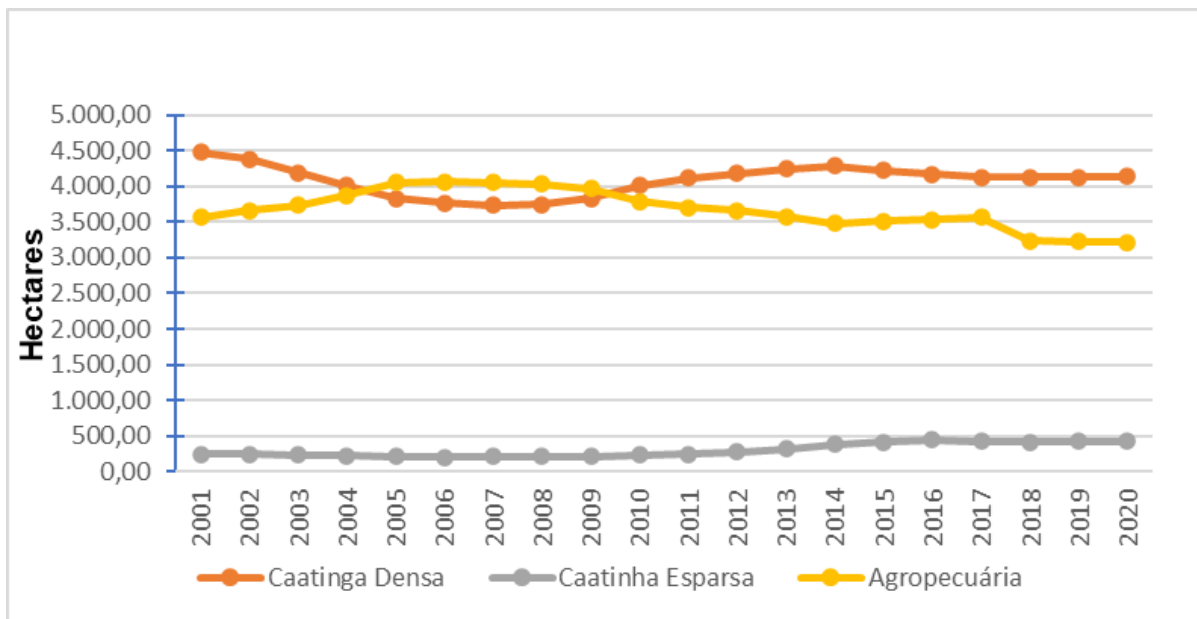


Observa-se que, especialmente a classe Caatinga Densa na série histórica de 2001 a 2021 diminui em paralelo a isso a classe agropecuária aparenta se expandir, o que poderia indicar o avanço da agricultura e pecuária, acentuando o processo de desertificação

A Figura 2 mostra que parece haver uma dinâmica complementar entre a caatinga densa (mais arbórea) e as áreas de agropecuária. O aumento gradativo da caatinga densa se dá com o declínio da agropecuária, e quando se tem o aumento da agropecuária existe um movimento decrescente da caatinga densa, dessa maneira as mudanças na cobertura vegetal são uma das respostas dinâmicas mais dominantes observadas nos ecossistemas terrestres relacionados a mudanças climáticas (SILVA et al. 2018).

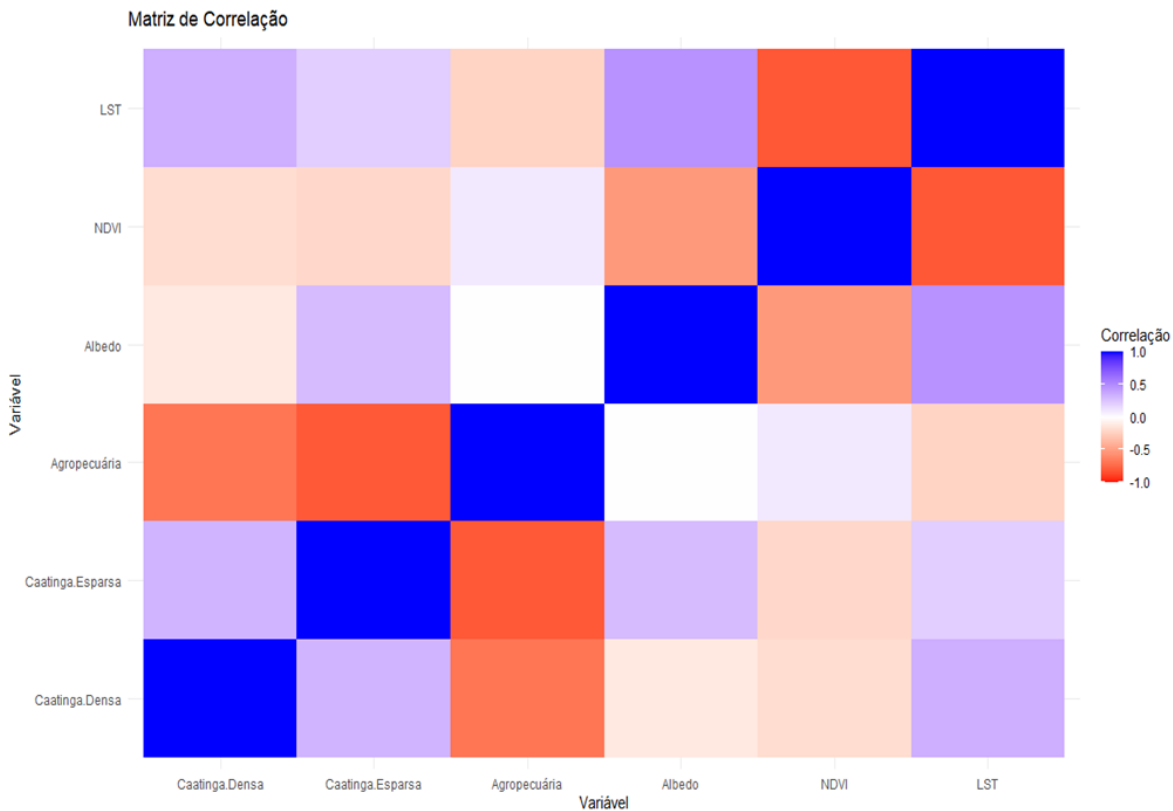
Aparentemente as áreas referentes a cada uma dessas classes se estabilizou a partir de 2012. Além disso, a classe de caatinga esparsa apresentou um aumento notadamente a partir dos anos de 2012 e 2013. Essa mudança pode indicar um processo de desertificação natural como consequência da forte seca que assolou a região a partir dos anos 2012 até 2018.

**Figura 2:** Evolução temporal da área (em hectares) abrangendo cada classe de uso e ocupação do solo no núcleo de desertificação de Inhamuns no período de 2001-2021



A figura 3 mostra a correlação entre as áreas de cada classe de uso e ocupação do solo e os dados de sensoriamento remoto (NDVI, albedo e LST). Os resultados apresentados corroboram com o exposto anteriormente, mostrando uma forte correlação negativa não só entre as classes agropecuária e caatinga densa, mas também com a caatinga esparsa. A figura mostra também uma forte correlação negativa entre o NDVI e a LST, mostrando que podem indicar respostas semelhantes da vegetação, com o NDVI aumentando conforme a LST diminui devido ao crescimento da vegetação e retenção da umidade. O albedo, por sua vez, se correlaciona de forma mais fraca com o NDVI e a LST.

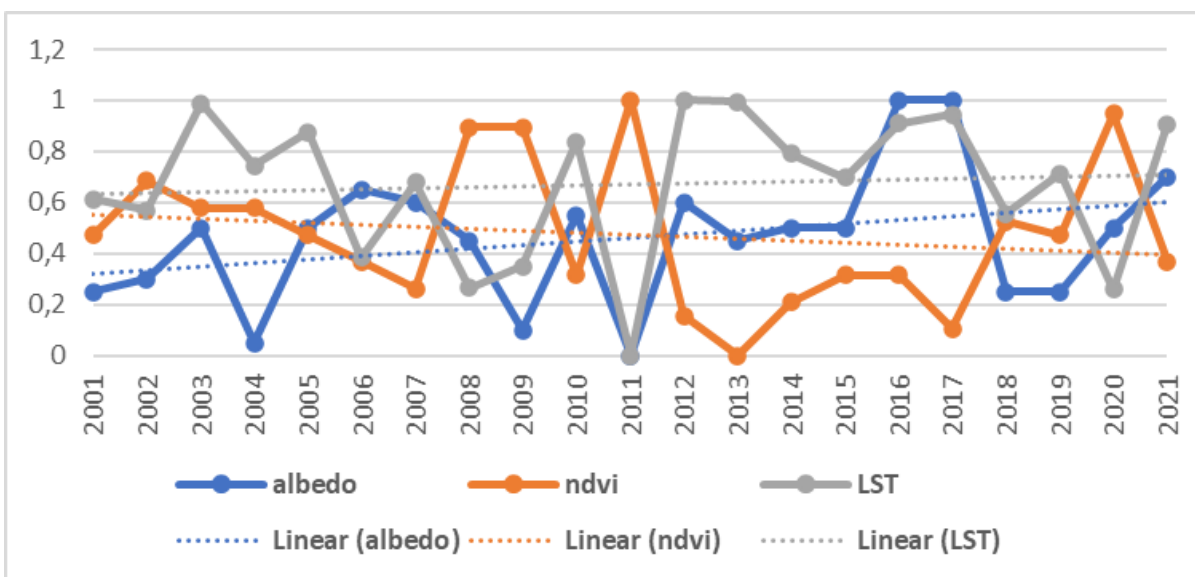
**Figura 3:** Mapa de calor da correlação entre cada classe de uso e ocupação do solo e os dados de NDVI, albedo e LST.



A variabilidade temporal do albedo, temperatura do solo e NDVI estão demonstradas no gráfico da figura 4, que mostra os valores médios anuais para esses parâmetros. É importante salientar que todas as informações foram normalizadas individualmente, ou seja, todos os dados estão com a mesma escala de forma a facilitar a comparação entre dados com dimensões diferentes.

As linhas de tendência lineares associadas a cada parâmetro mostram uma clara tendência negativa para o NDVI, e uma tendência positiva na mesma magnitude para a LST. O albedo também aparenta possuir uma tendência positiva, embora mais suave que os outros dois parâmetros. Esses resultados corroboram a relação apresentada anteriormente entre os parâmetros.

**Figura 4:** Série temporal do NDVI, LST e albedo médio mensal no núcleo de desertificação de Inhamuns no período de 2001-2021.





Pode-se perceber uma relação entre o aumento da temperatura do solo com os menores indicadores do NDVI, ou seja, as variações apresentadas pelo albedo se relacionam diretamente a transformação da cobertura vegetal, sendo um bom indicador para áreas susceptíveis à desertificação. As variações desses parâmetros ao longo do tempo podem estar associadas tanto a processos de desertificação quanto a processos de recuperação da vegetação de uma área em particular (ECKERT et al. 2015).

Finalmente, a regressão múltipla realizada para cada parâmetro de sensoriamento remoto permite identificar quais dos parâmetros pode melhor ser representado por alterações e características da cobertura do solo. A tabela 1 mostra que apenas o modelo do albedo possui coeficientes significativos (90% e 95%), indicando que provavelmente essa é a variável de superfície estudada que melhor pode ser explicada pelas características de cobertura observadas. Trata-se de uma potencial evidência de que é um melhor parâmetro de monitoramento de áreas susceptíveis a desertificação, conforme explicitado em outros trabalhos que avaliaram diferentes parâmetros de sensoriamento remoto para este fim (ZONGFAN, et al. 2022).

**Tabela 1.** Resultados dos coeficientes estimados pela regressão múltipla de cada parâmetro de sensoriamento remoto. Os p-valores estão mostrados nas colunas da direita, com os valores significativos à 90% em negrito e 95% em negrito e itálico.

Modelos	Valor				p-valor			
	Intercepto	B1 (Caatinga Ar)	B2 (Caatinga Esp)	B3 (Agricultura)	Intercepto	B1 (Caatinga Ar)	B2 (Caatinga Esp)	B3 (Agricultura)
Albedo	-0,590	0,659	1,077	0,834	0,169	<b>0,100</b>	<b><i>0,029</i></b>	<b>0,084</b>
NDVI	4,545	-3,845	-4,969	-4,370	0,329	0,369	0,331	0,394
LST	-41,090	74,220	108,710	80,800	0,685	0,430	0,334	0,472

## CONCLUSÃO

O presente trabalho avaliou a evolução do uso e cobertura do solo como indicio do processo de desertificação no núcleo dos Inhamuns ao longo da série histórica de 2001 - 2021, em conjunto com uma avaliação de diferentes parâmetros obtidos por sensoriamento remoto para este fim.

Os resultados mostram que, principalmente a partir de 2012, houve um aumento de zonas de caatinga esparsa no núcleo, indicando um potencial processo de desertificação de origem climática. Além disso, a degradação antrópica do solo tão presente nessa região intensificam diversas outras questões, principalmente as ligadas a socioeconômica. É notório destacar, que os dados de sensoriamento remoto dos últimos anos indicam o aumento da temperatura da superfície como também do albedo e a diminuição de dados referentes ao NDVI, corroborando o processo de redução na cobertura vegetal observada. Dentre os índices estudados, o albedo mostrou-se o mais responsivo a mudanças de uso e ocupação do solo no núcleo de Inhamuns.

Conforme as questões elencadas, esse trabalho visa demonstrar o impacto da desertificação em diferentes contextos, desde a vulnerabilidade ambiental até nos aspectos sociais, econômicos e políticos, dessa forma, se faz necessário que tais estudos possam alicerçar o entendimento e a dinâmica de áreas susceptíveis a desertificação, como forma de fomentar o monitoramento de tais áreas como também dá suporte à formulação de políticas públicas de adaptação.

## REFERÊNCIAS

CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque; FERREIRA, Nelson Jesus; SILVA, Maria Gertrudes Alvarez Justi da; SILVA DIAS, Maria Assunção Faus da. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo. Ed. Oficina de Textos, 2009. 463p.

ECKERT, S.; HÜSLER, F.; LINIGER, H.; HODEL, E. Trendanalysis of MODIS NDVI time series for detecting land degradation and regeneration in Mongolia. **Journal of Arid Environments**, v. 133, p. 16 28, 2015.

SILVA, Djane Fonseca et al. ANÁLISE DAS CAUSAS CLIMÁTICAS SOBRE O NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO DE IRAUÇUBA-CE. **Geosciences= Geociências**, v. 41, n. 04, p. 857-868, 2022.

SILVA, EGB; OLIVEIRA, Vlândia Pinto Vidal de. Identificação das áreas susceptíveis à desertificação no estado do Ceará: antecedentes cartográficos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1269-1280, 2017.

SILVA, V.P.R.; SILVA, M.T, SINGH, V.P, SOUZA, E.P, BRAGA, C.C, HOLANDA R.M.; BRAGA, A.C.R. Simulation of stream flow and hydrological response to land- cover changes in a tropical river basin. **CATENA**, v. 162, p.166 176, 2018.

ZONGFAN, Bai et al. Spatiotemporal evolution of desertification based on integrated remote sensing indices in Duolun County, Inner Mongolia. **Ecological Informatics**, v. 70, p. 101750, 2022.

# **CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS DO SOLO DA BACIA E SEDIMENTO DE RESERVATÓRIO SEMIÁRIDO**

**Gabriela Domingos Lima**<sup>1</sup>; **Gisele Torres de Oliveira**<sup>4</sup>; **José Brenno Carneiro de Lima**<sup>1</sup>; **Adunias dos Santos Teixeira**<sup>2</sup>; **Pedro Henrique Augusto Medeiros**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Discente de pós-graduação. Centro de Ciências Agrárias - CCA/UFC, Bloco 804, s/n - Pici, Fortaleza - CE. Universidade Federal do Ceará; <sup>2</sup>Docente. Centro de Ciências Agrárias - CCA/UFC, Bloco 804, s/n - Pici, Fortaleza - CE. Universidade Federal do Ceará; <sup>3</sup>Docente. Av. Treze de Maio, 2081 - Benfica, Fortaleza - CE. Instituto Federal do Ceará; <sup>4</sup>Discente de graduação. Av. Parque Central, 1315 - Distrito Industrial I, Maracanaú - CE. Instituto Federal do Ceará

## **RESUMO**

Os solos de uma bacia hidrográfica estão propensos à erosão, possibilitando impactos na bacia e em seu reservatório. A partir disso, o objetivo deste estudo foi avaliar as características granulométricas da bacia e do seu reservatório em ambiente semiárido a fim de compreender o processo de seletividade de partículas na erosão, transporte e deposição de sedimentos. Foram analisados 23 dados granulométricos em profundidade superficial a partir de agrupamentos, obteve-se três grupos com máxima variância e foram identificadas tendências granulométricas de deposição segundo a localização no açude. Assim, esta pode ser considerada uma ferramenta para auxiliar o manejo de bacias na retirada de sedimentos depositados, recuperando a qualidade e volume do reservatório.

**PALAVRAS-CHAVE:** Assoreamento; Deposição; Recursos hídricos;;

## **INTRODUÇÃO**

Compreender a relação granulométrica dos solos de uma bacia hidrográfica com o sedimento depositado no seu exutório é importante para conseguir identificar se há perda de material e avaliar como estes materiais se distribuem ao decorrer da bacia. No exutório normalmente encontram-se os açudes, que permitem a reserva de água à sociedade, como também permitem o barramento de partículas de solo desprendidas ao longo da bacia (BRONSTERT et al., 2014).

Pequenos açudes são muito importantes para proporcionar o armazenamento de água em pequenas comunidades rurais que estão mais distantes de grandes açudes, assim, é possível conviver com a seca durante uma parte do ano (ARAÚJO & BRONSTERT, 2006). Contudo, estes açudes podem sofrer impactos com a retenção de sedimentos, diminuindo a capacidade de armazenamento (DE ARAÚJO et al., 2023) e a qualidade da água (LIMA NETO et al., 2022).

Essa retenção de sedimentos ocorre através de um processo chamado assoreamento, que costuma ocorrer com o desprendimento do solo através das chuvas. Quando o solo não está protegido com a vegetação esse desprendimento pode ser ainda maior, pois a água pode impactar e arrastar a camada superficial do solo mais facilmente. O solo perde suas camadas superficiais com o processo erosivo, reduzindo sua qualidade e gerando impactos na bacia, tornando o solo improdutivo, altamente degradado e com maior presença de areia do que de materiais finos como silte e argila (ALENCAR; ARAÚJO; TEIXEIRA, 2020).

A partir disso, vê-se que a identificação de áreas de deposição e avaliação da qualidade do sedimento permitirá tomadas de decisões referentes ao manejo do sedimento nos reservatórios, visto que há potencial como material de retenção de umidade do solo (SENA, 2023) e como fonte de nutrientes (BRAGA et al., 2019), como apontam os estudos.

## **OBJETIVOS**

Avaliar as características granulométricas dos solos da bacia do açude Marengo e do sedimento assoreado no reservatório, a fim de compreender o processo de seletividade de partículas na erosão, transporte e deposição de sedimentos.

## MATERIAL E MÉTODOS

O sedimento foi coletado no açude Marengo, que possui 15,5 hm<sup>3</sup> de capacidade de armazenamento de água e 3,4 km<sup>2</sup> de área; com área de bacia de drenagem igual a 75,38 km<sup>2</sup>. O açude encontra-se localizado na Comunidade Quieto, compreendida no Assentamento 25 de Maio - A25M, município de Madalena-CE. Neste trabalho foram avaliados dados granulométricos de solo e sedimento da bacia, coletados em profundidade superficial, sendo 20 dados de sedimentos coletados no reservatório Marengo e 3 dados de solo na bacia. Na Figura 1 pode-se observar a localização da bacia, o açude em seu exutório e os pontos amostrados.

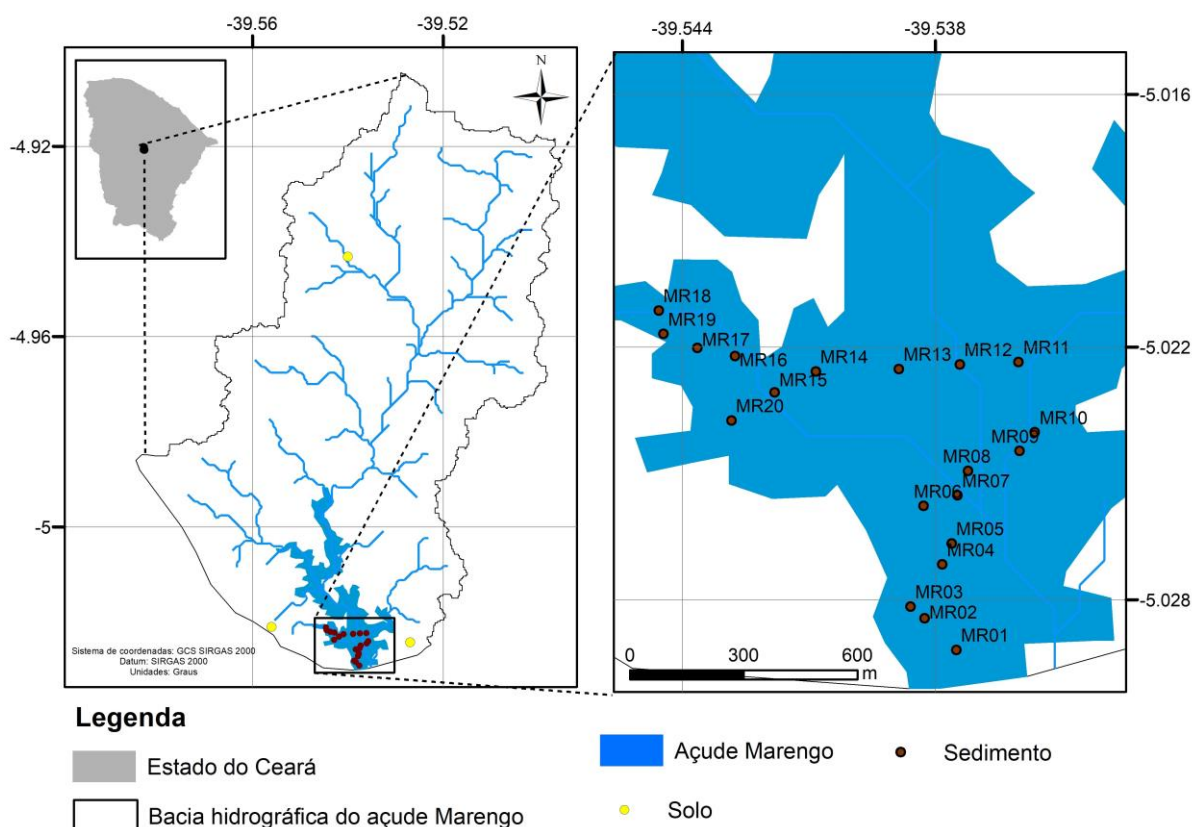


Figura 1: Localização da bacia do Marengo

Foram avaliados os seguintes parâmetros: areia grossa, areia fina, silte, argila e argila natural. Considerando os 20 dados de sedimentos para esses parâmetros, foi aplicado, no software RStudio, um agrupamento utilizando a função "k-means" e com o método "gap\_stat", que considera as médias dos dados e compara a variação dentro dos "clusters" - grupos e procura a maior lacuna entre eles, indicando um ponto de equilíbrio para a separação dos grupos. Após o agrupamento dos dados pelas suas respectivas médias e agrupamentos com diferenças máximas, avaliou-se os dados dos respectivos grupos formados, bem como os dados de solo compreendidos na bacia, a fim de observar se as frações granulométricas do solo coincidem com algum agrupamento obtido no reservatório.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de clusters nos dados de sedimento permitiu a formação de 3 grupos, como pode ser visto na Figura 2. O grupo 1 (em vermelho) apresenta pontos mais próximos entre si, compreendendo 6

pontos de coletas de sedimento; já o grupo 2 (em verde) apresenta pontos mais distantes, também com 6 pontos e, o grupo 3 (em azul) tem uma proximidade razoável, com 8 pontos. Além disso, vê-se que entre si os grupos são bem distintos e foram representados com alta variância: 72,8% (dim 1) e 20,3% (dim 2). Pode-se observar ainda na Figura 2, a representação espacial dos grupos através de suas respectivas cores. Nota-se que o grupo 1 compreende os pontos advindos do rio principal da bacia e em direção à parede do açude (local de maior profundidade), já o grupo 3 apresenta pontos mais próximos à borda do açude e o grupo 2 apresenta o intermédio entre os dois grupos.

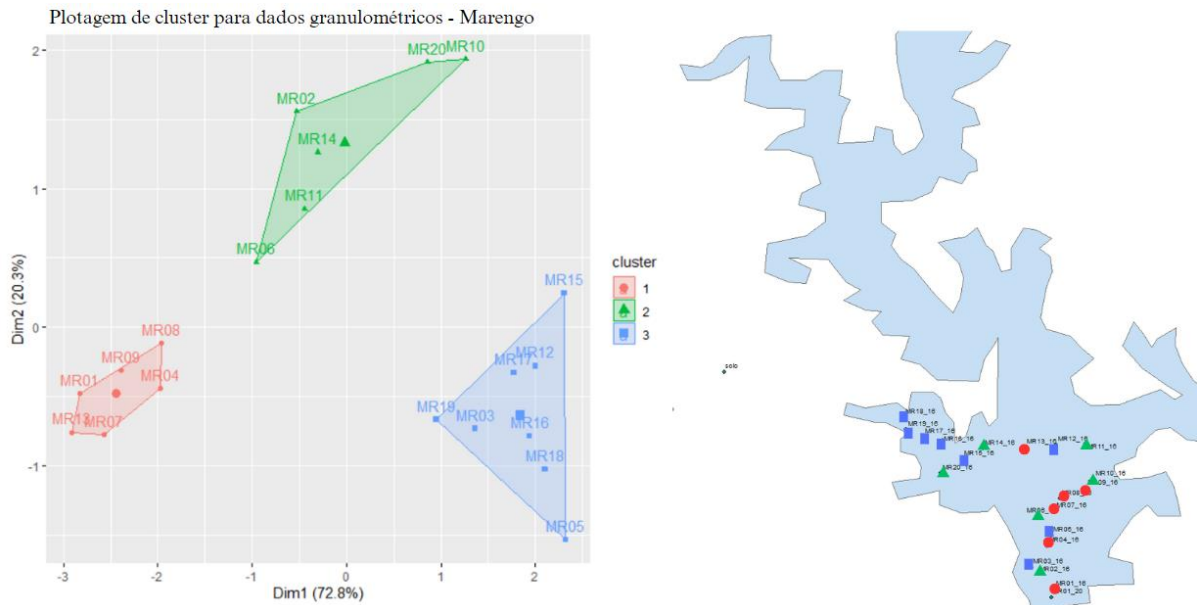


Figura 2: Agrupamento dos dados granulométricos por média, considerando a diferença máxima entre grupos.

Estudos mostram que a deposição na cota alta do açude contém a fração mais grosseira da carga de sedimentos, que é rapidamente depositada. Os depósitos da área intermediária são caracterizados por um aumento na inclinação e uma diminuição no tamanho dos grãos, em comparação com os da área da cota mais alta. Os depósitos do fundo consistem em sedimentos finos e de menor velocidade de sedimentação, que são depositados além do delta por correntes de turbidez ou fluxo não estratificado (MORRIS E FRAN, 1997; MAMEDE, 2008).

Por hipótese associa-se que o grupo 3 sejam de pontos arenosos devido sua proximidade com a borda do açude e por estar localizado nas proximidades de um rio contribuinte de menor comprimento, já o grupo 1 vê-se que seu rio contribuinte é maior, possibilitando maior deposição de materiais grosseiros durante o percurso e deposição de finos no reservatório (MAMEDE, 2008) e, o grupo 2, seria o intermediário entre sedimentos, sem altas frações de areia ou de argila.

Ao avaliar as frações granulométricas de cada grupo - Figura 3, observa-se que a hipótese é verdadeira, onde o grupo 1 é composto por sedimentos com maior predominância de argila, já o grupo 2 é o intermediário entre argila e areia e o grupo 3 corresponde à um grupo de sedimentos com maiores concentrações de areia. Pereira et al. (2021) observaram em reservatório de 5 hm<sup>3</sup>, localizado na bacia do Curu-Ceará, a mesma situação, onde os sedimentos obtidos em profundidade superficial apresentaram maiores frações de argila próximo à barragem e frações mais arenosas nas bordas do açude. De forma complementar, vê-se em amarelo, na Figura 3, as frações granulométricas do solo, com maiores teores de areia, entretanto, reduzida, quando comparado com a fração obtida nos pontos de sedimentos da borda do açude. Observa-se também que o solo apresenta reduzida faixa de decrescimento dos dados granulométricos, mas segue uma tendência de queda considerando a areia como maior fração e a argila natural o componente de menor fração no solo da bacia. Alencar, de

Araújo e Teixeira (2020) ao avaliarem ravinas no A25M também observaram que os solos apresentam características mais arenosas, corroborando com os resultados aqui obtidos.

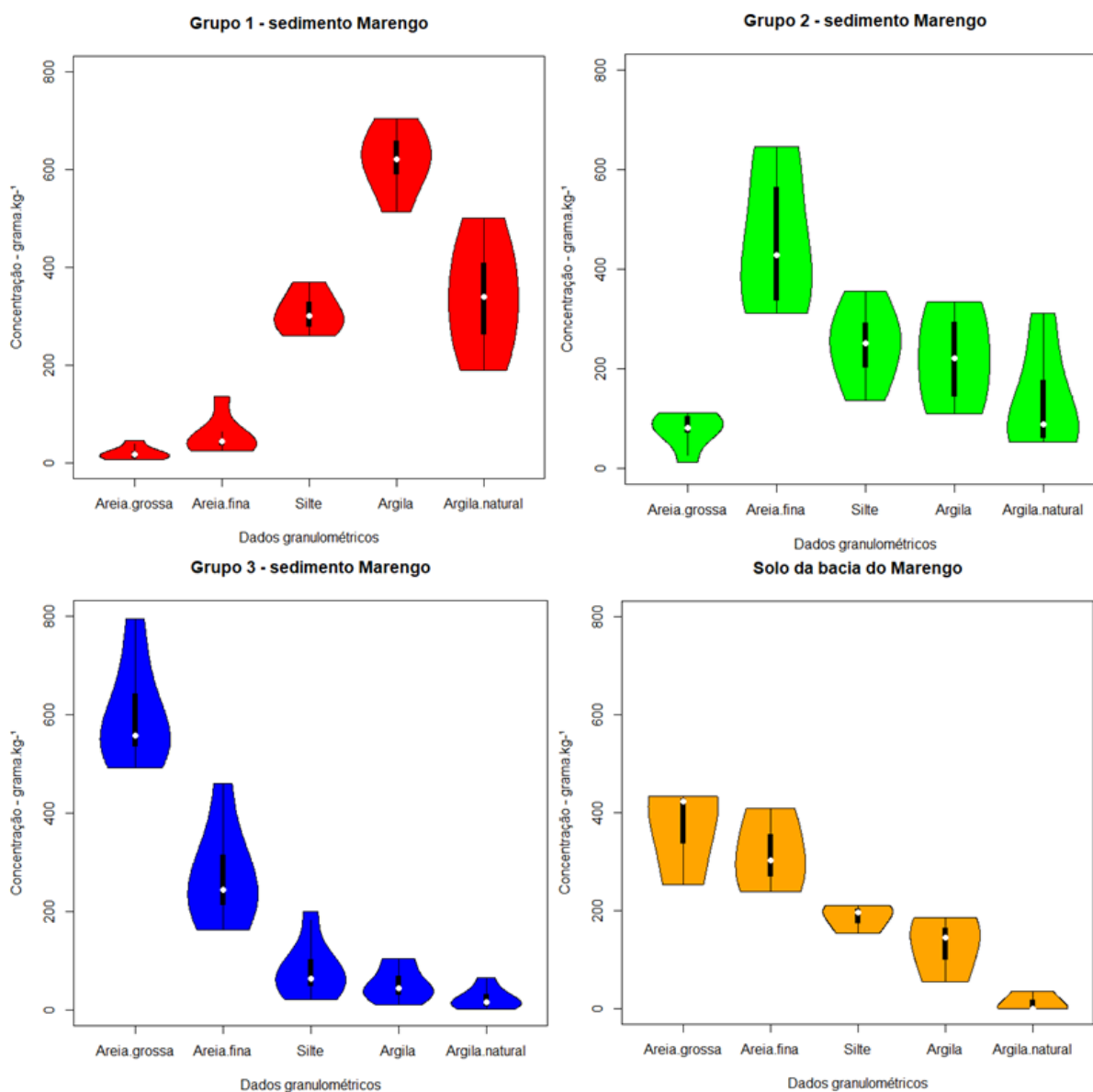


Figura 3: Avaliação granulométrica dos grupos obtidos e do solo da bacia

Com isso, observou-se que o solo degradado na bacia foi depositado no açude com diferentes agrupamentos de concentração granulométrica a depender da sua proximidade com a borda e do rio contribuinte. Além disso, nota-se que há altas concentrações de materiais silte e argila nos reservatórios, que posteriormente podem retornar à bacia, auxiliando na restituição das funções de retenção de umidade (SENA, 2023) e aumentando a capacidade de armazenamento de água do açude (DE ARAÚJO et al., 2023).

## CONCLUSÃO

Foi possível detectar, a partir da ferramenta de cluster, grupos homogêneos de granulometria no açude, indicando os pontos com maior fração de cada parâmetro, como os materiais mais finos, que são depositados próximo à barragem. Já os solos da bacia apresentam frações mais arenosas quanto à sua constituição.

Com isso, esta pode ser considerada uma ferramenta para auxiliar o manejo de bacias na retirada de sedimentos depositados, recuperando a qualidade e volume do reservatório.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Programa Cientista-chefe em Agricultura do Governo do Estado do Ceará (Convênio 14/2022 SDE/ADECE/FUNCAP e Processo 08126425/2020/FUNCAP) e à CAPES pela concessão de bolsas de inovação e pelo suporte financeiro para a realização da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ALENCAR, P. H. L.; DE ARAÚJO, J. C.; TEIXEIRA, A. dos S. Physically based model for gully simulation: Application to the Brazilian semiarid region. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 24, n. 8, p. 4239-4255, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/hess-24-4239-2020>>. Acesso em: 06 ago. 2023.

BRAGA, B. B. et al. From waste to resource: cost-benefit analysis of reservoir sediment reuse for soil fertilization in a semiarid catchment. **Science Of The Total Environment**, v. 670, p. 158-169, jun. 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.083>>. Acesso em: 05 ago. 2023.

BRONSTERT, A. et al. Process-based modelling of erosion, sediment transport and reservoir siltation in mesoscale semi-arid catchments. **Journal of Soils and Sediments**, v. 14, p. 2001-2018, 2014. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11368-014-0994-1>>. Acesso em: 05 ago. 2023.

DE ARAÚJO, J. C.; GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 51, n. 1, p. 157-170, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1623/hysj.51.1.157>>. Acesso em: 05 ago. 2023.

DE ARAÚJO, J. C. et al. Water Management causes increment of reservoir silting and reduction of water yield in the semiarid State of Ceará, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 121, p. 104102, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104102>

>. Acesso em: 05 ago. 2023.

LIMA NETO, I. E. et al. Assessment of phosphorus loading dynamics in a tropical reservoir with high seasonal water level changes. **Science of the Total Environment**, v. 815, p. 152875, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152875>>. Acesso em: 05 ago. 2023.

MAMEDE, G. L. **Reservoir sedimentation in dryland catchments: modelling and management**. 2008. Tese (Doutorado) - Instituto de Geocologia, Universität Potsdam, 2008. Disponível em: <<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn:nbn:de:kobv:517-opus-17047>>. Acesso em: 8 ago. 2023.

PEREIRA, E. C. B.; LOPES, F. B.; ALMEIDA, A. M. M. D.; ANDRADE, E. M. D.; LOPES, J. F. B. (2021). "*Sedimentos e nutrientes aportados a um reservatório de pequeno porte no Semiárido tropical*". Revista Ciência Agronômica, 52. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rca/a/WsJTf3hQbFrstwbnvnbqbs/?format=pdf&lang=en>>. Acesso em: 09 ago. 2023.

SENA, Daniel Oliveira. Reuso de sedimentos de reservatórios e seus impactos nos parâmetros físico-hídricos em substrato agrícola. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza-CE, 2023. p. 72.



# **12. Agroecologia e o Ambiente**

# FÍSICO-QUÍMICA DE GRÃOS DE GERGELIM EM SEIS TERRITÓRIOS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, SAFRA 2020

**Jesus Paulo Rodrigues**<sup>1</sup>; **José Rodrigues Pereira**<sup>2</sup>; **José Wellington dos Santos**<sup>3</sup>; **Whéllysson Pereira Araújo**<sup>4</sup>; **Mailson Araújo Cordão**<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Discente. Rua Jario Vieira Feitosa, 1770, CEP 58840-000, Pombal-PB. Universidade Federal de Campina Grande/CCTA, Campus Pombal, PB; <sup>2</sup>Pesquisador. Rua Oswaldo Cruz, 1143, Centenário, CEP 58428-095, Campina Grande-PB. Embrapa Algodão; <sup>3</sup>Pesquisador. Rua Oswaldo Cruz, 1143, Centenário, CEP 58428-095, Campina Grande-PB. Embrapa Algodão; <sup>4</sup>Docente. Rua Antônio Fulgêncio da Silva, S/N, Parque Universitário, CEP 68800-095, Breves-PA. Instituto Federal do Pará, Campus Breves, PA; <sup>5</sup>Bolsista. Parque Estacao Biologica, S/N, final Asa Norte, CEP 70770-901, Brasília DF. Embrapa Agroenergia

## RESUMO

Com o objetivo de determinar e comparar as características físico-químicas de grãos de gergelim produzidos no semiárido brasileiro, coletou-se amostras destas em Comunidades Rurais de seis territórios dessa região. As variáveis foram obtidas por análise laboratoriais realizadas no Laboratório de Análise de Alimentos da Embrapa Agroindústria Tropical. O delineamento foi inteiramente casualizado, com 7 tratamentos (1. Sertão do Apodi, RN, 2019; 2. Chapada do Araripe, CE; 3. Cariri Cearense; 4. Sertão do Pajeú, PE; 5. Sertão Alagoano; 6. Sertão do Apodi, RN e 7. Sertão Sergipano) e 3 repetições. As amostras de grãos coletadas em seis Territórios do semiárido brasileiro apresentaram adequado rendimento em óleo e proteínas e alto potencial de longevidade em prateleira em todos eles; potencial excelente para confecção de óleos finos, quando cultivados no Cariri Cearense e nos Sertões de Alagoas e de Sergipe e; bastante nutritivos, se cultivados no Sertão de Apodi, RN, Chapada do Araripe, CE e Sertão do Pajeú, PE.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gergelim (*Sesamum indicum* L.); Proteínas; Lipídeos;

## INTRODUÇÃO

No Brasil tem havido nos últimos anos um grande incremento na produção de gergelim (*Sesamum indicum* L.). Segundo a CONAB (2023), o Brasil plantou 213900 hectares na Safra 2021/22 e na Safra atual (2022/23) estima colher 317300 hectares. O gergelim também é considerado uma das principais oleaginosas cultivadas mundialmente, fonte de proteínas, lipídeos, minerais, vitaminas e antioxidantes importantes para a saúde humana (GOUVEIA, 2015), sendo, portanto, um alimento de grande valor nutritivo. A colheita manual do gergelim deve ocorrer preferencialmente no momento da maturação fisiológica, que ocorre a partir do amarelecimento dos ramos e flores e início de abertura das cápsulas basais (ANTONIASSI et al., 2013) e consiste no corte da base das plantas pouco abaixo da altura da inserção dos primeiros frutos (BOTELHO et al., 2022). Após o corte os feixes devem ser amarrados, deixando-se os ápices direcionados para cima, e devem ser agrupados e dispostos para a secagem natural no mesmo local. Após a secagem é realizada a batida sobre lona plástica e se necessário complementar a secagem dos grãos após isso. É recomendável espalhar uma camada fina de grãos sobre a lona plástica, até apresentar teor de água entre 4 e 6% (QUEIROGA et al., 2010). Dados sobre composição de alimentos para o consumo humano são fontes fundamentais para várias aplicações, tais como a determinação do consumo dos nutrientes, o balanceamento de dietas para grupos etários diversos em hospitais, escolas e no exército, a rotulagem nutricional, dentre outras aplicações (WEST e SCHÖFELDT, 2005). Por fim, além do manejo correto da cultura a campo, essas informações de como se colher e armazenar adequadamente são preponderantes para que se obtenha grãos de gergelim de qualidade, nesse caso nutricional, para consumo humano.

## OBJETIVOS

Pelo exposto, o presente trabalho objetivou determinar e classificar as características físico-químicas de grãos de gergelim produzidos em seis territórios do semiárido brasileiro.

## MATERIAL E MÉTODOS

Em meados de junho de 2020, um quilograma de grãos de gergelim da cultivar BRS Seda, com exceção da cv. BRS Anahi do Território Cariri Cearense, quase todas as amostras dessa safra, exceto uma das do Território Sertão do Apodi, RN, foi coletado em uma Comunidade produtora de cada um dos seguintes Territórios do Semiárido brasileiro: Sertão do Apodi, RN - safras 2019 e 2020, Chapada do Araripe, CE, Cariri Cearense, Sertão do Pajeú, PE, Sertão Alagoano e Sertão Sergipano, em sua maioria produzidos no sistema agroecológico de sequeiro, à exceção do Território Cariri Cearense, o qual foi no sistema convencional irrigado. Após a coleta, peneiramento e limpeza, as amostras foram transportadas para o Laboratório de Análise de Alimentos da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, onde passaram por um processo de limpeza para retirada de impureza e matérias estranhas e, de 150 g de grãos separados de cada Território, para determinação das seguintes características: teor de óleo, por extração em solvente, conforme método descrito por Randall (1974); índice de acidez em ácido oleico do óleo, segundo metodologias descritas por Moretto e Fett (1998); teores de umidade (método 925.10) e cinzas (método 923.03), de acordo com a metodologia indicada pela AOAC (2016); proteína por combustão, segundo o método de DUMAS em equipamento Analisador de Nitrogênio/Proteína NDA 701 Dumas (VELP, 2019), utilizando EDTA como padrão, com base no método da AOAC 992.23 (AOAC, 2016) e; lipídios, pelo método nº Am. 5-04 da American Oil Chemists' Society (AOCS, 2005), usando o sistema de extração sob alta pressão e alta temperatura em equipamento XT-15 Ankom (ANKON Technology Corporation, 2009). As variáveis computadas foram submetidas às análises de variância, pelo teste F (a 0,01 e 0,05 de probabilidade) e, as médias dos fatores, comparadas pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas através do software R (RCT, 2021).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve variação significativa do índice de acidez e dos teores de óleo, cinzas, proteínas, lipídeos e umidade entre os Territórios pesquisados ( $p \leq 0,01$ ) (Tabelas 1). A acidez apresentou-se alta (Tabela 2) para óleos não refinados como azeites de dendê, gergelim, oliva e babaçu, cujo teor máximo de acidez aceitável corresponde a 1% (ANVISA, 1999), exceto para os óleos obtidos de grãos colhidos/coletados no Cariri Cearense, Sertão Alagoano e Sertão Sergipano. Geralmente, esse índice pode revelar formas incorretas de colheita dos frutos ou sementes, amadurecimento e armazenamento impróprios, além de processos insatisfatórios de extração (MEHER, 2006; OLIVEIRA et al., 2011). Assim, como o método de extração foi o mesmo para todas as amostras, bem como a mesma forma de colheita, manual, e os grãos foram colhidos e imediatamente coletados em menos de um mês, provavelmente no cultivo irrigado (Cariri Cearense) e nos Sertões Alagoano e Sergipano, atendeu-se plenamente as necessidades hídricas de cultivo permitindo-se

**Tabela 1:** Análise de variância do Índice de acidez (IC - %) e dos teores de Óleo (O - %), Cinzas (Cz - %), proteínas (Pt - %), Lipídeos (L - %) e Umidade (U - %) em grãos de gergelim cultivados em seis Territórios do semiárido brasileiro. Campina Grande, PB, 2020

FV	GL	Quadrados Médios					
		O	IC	Cz	Pt	L	U
Territórios	6	1,502**	15,62**	1,69**	5,11**	27,31**	0,115**
Erro	14	0,003	1,02	0,11	0,04	0,98	0,001
CV (%)	-	4,702	1,87	7,38	0,94	3,57	0,618

FV = Fone de variação; GL = Graus de Liberdade

adequada maturação dos frutos. Quanto ao teor de óleo, os grãos de gergelim colhidos em diferentes Territórios apresentaram valores variando de 49,41 a 56,08% (Tabela 2), com maiores valores encontrados nas sementes colhidas nos Territórios Cariri Cearense, Sertão Alagoano, Sertão do Apodi - Safra 2020 e Sertão Sergipano. No estudo, os resultados se posicionaram, segundo Albuquerque et al. (2011), dentro da faixa obtida pelo mesmo em cultivo irrigado (de 47,74 a 60,71%), porém ultrapassando um pouco à obtida sob regime de sequeiro (de 47,08 a 53,64%); ademais, ficaram dentro da faixa de conteúdo de óleo de gergelim relatada por Queiroga et al. (2008), ou seja, entre 50 e 60%. No presente estudo, os maiores valores de Cinzas foram encontrados em grãos colhidos nos Territórios Sertão do Apodi - safra 2020 e Chapada do Araripe, ambos não se diferenciando dos valores do Sertão do Pajeú (Tabela 2). Segundo Freitas et al. (2018), o teor de cinzas de um alimento corresponde à sua fração mineral, sendo diretamente proporcional ao teor de minerais presentes na amostra. Dessa forma, os grãos colhidos em esses três Territórios apresentaram os maiores teores em nutrientes minerais, sendo que, nos grãos oriundos de esses dois primeiros Territórios, apresentaram valores semelhantes aos obtidos por Queiroga et al. (2010), ou seja, entre 5,34 a 6,25%. Já para o conteúdo de proteína, houve variação entre 18,92 e 22,21% (Tabela 2), próximos aos dados obtidos por Botelho et al. (2022). Esses valores também estão próximos aos encontrados por Antoniassi et al. (2013), que avaliaram a influência das condições de cultivo em ambientes de sequeiro e irrigado de grãos de gergelim cultivados em Barbalha, CE e Patos, PB (entre 18,95 a 23,16%) e aos de Costa et al. (2007), que avaliaram as características físico-químicas de grãos de sete genótipos de gergelim cultivados sob irrigação no município de Barbalha, CE (entre 21,95 a 24,57%). Por sua vez, os dados obtidos em relação ao teor de lipídios (Tabela 2) ficaram acima da extremidade inferior da faixa de valores encontrados na literatura, que é de 21,6% (TACO, 2011) mas inferior ao extremo superior, que é 55,98% (ANTONIASSI et al., 2013). Em todos os Territórios, o teor de água apresentou-se dentro da faixa considerada ideal, menor ou próximo de 6,0% (Tabela 2), resultado semelhante ao obtido por Botelho et al. (2022), sendo um pouco superior ao de Costa et al. (2007) (3,56 a 5,47%), que avaliaram grãos de sete variedades de gergelim cultivadas em Barbalha, CE. A baixa umidade do gergelim favorece sua vida de prateleira frente a outros tipos de sementes ou cereais com maior teor de água, como, por exemplo, a linhaça (6,7%), a aveia (9,1%) e o centeio (10,8%) (TACO, 2011), pois umidades maiores associadas à condições ambientais favoráveis podem causar deterioração devido ao ataque de insetos ou fungos (FREITAS et al., 2018).

Por fim, caracterização físico-química de grãos de gergelim, tipo essa do presente trabalho, pode apoiar e direcionar as agroindústrias dos Territórios pesquisados no processamento e também na seleção do produto a ser colocado no mercado, assim genuinamente e naturalmente destacado pelas particularidades edafoclimáticas locais.

**Tabela 2:** Médias do Índice de acidez (IC - %) e dos teores de Óleo (O - %), Cinzas (Cz - %), proteínas (Pt - %), Lipídeos (L - %) e Umidade (U - %) em grãos de gergelim cultivados em seis Territórios do semiárido brasileiro. Campina Grande, PB, 2020

Territórios	O	IC	Cz	Pt	L	U
Sertão do Apodi 2019	49,41c	1,68 b	3,76 c	21,17 b	23,26 c	5,35 c
Chapada do Araripe	55,25 ab	1,10 d	5,36 a	19,90 c	30,47 a	5,07 e
Cariri Cearense	56,08 a	0,27 f	4,00 bc	18,92 d	26,14 b	5,30 c
Sertão do Pajeú	53,13 b	1,44 c	4,81 ab	19,19 d	27,05 b	5,64 a
Sertão Alagoano	55,72 ab	0,54 e	3,81 c	19,13 d	29,88 a	5,19 d
Sertão do Apodi	53,53 ab	2,22 a	5,56 a	22,21 a	25,38 bc	5,45 b

Sertão Sergipano	54,60 ab	0,55 e	4,11 bc	21,38 b	31,48 a	5,52 b
------------------	----------	--------	---------	---------	---------	--------

Médias seguidas da (s) mesma (s) letras não se diferenciam pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade

## CONCLUSÃO

As amostras de grãos coletados em seis Territórios do semiárido brasileiro apresentaram adequado rendimento em óleo e proteínas e alto potencial de longevidade em prateleira em todos eles; potencial excelente para confecção de óleos finos, quando cultivados no Cariri Cearense e nos Sertões de Alagoas e de Sergipe; e bastante nutritivos, se cultivados no Sertão de Apodi, RN, Chapada do Araripe, CE e Sertão do Pajeú, PE.

## AGRADECIMENTOS

SEG/EMBRAPA e Projeto FAPED-ZARC/BCB/MAPA/CNPTIA/CNPA

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, F. A. de; BELTRAO, N. E. de M.; LUCENA, A. M. A. de; OLIVEIRA, M. I. P. de; CARDOSO, G. D. Ecofisiologia do gergelim (*Sesamum indicum* L.). In: BELTRÃO, N. E. de M.; OLIVEIRA, M. I. P. de. (Ed.). **Ecofisiologia das culturas de algodão, amendoim, gergelim, mamona, pinhão-manso e sisal**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2011. p.163-194.

ANKOM. **Technology method 2: rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction**. Macedon, 2009. p.2.

ANTONIASSI, R.; ARRIEL, N. H. C.; GONCALVES, E. B.; FREITAS, S. C. de; ZANOTTO, D. L.; BIZZO, H. R. Influência das condições de cultivo na composição da semente e do óleo de gergelim. **Revista Ceres**, v.60, n.3, p.301-310, 2013.

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Resolução nº 482, de 23 de setembro de 1999, regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de óleos e gorduras vegetais, **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, p.82-87, 1999.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of AOAC International**. 20 ed. Editor: Dr. George W. Latimer, Jr. Rockville, MD, USA, 2016.

AOCS. American Oil Chemists' Society. **Official Method Am 5-04, Rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction**. Urbana: Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society, 2005.

BOTELHO, S. de C. C.; FIORESE, D. A.; ARRIEL, N. H. C.; BOTELHO, F. M. **Gergelim: qualidade de grãos cultivados em Mato Grosso em função do tipo de colheita**. Sinop, MT: Embrapa, 2022. 24p. (Embrapa Agrossilvipastoril. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 7).

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: MAPA, v.10 - Safra 2022/23, n.9, 2023. 116p.

COSTA, M. L. M.; GONDIM, T. M. S.; ARAÚJO, I. M. S.; MILANI, M.; SOUSA, J. S.; FEITOSA, R. M.; FEITOSA, R. M.; Características físico-químicas de sementes de genótipos de gergelim. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 867-869, jul. 2007.

- FREITAS, M. N. de; BARROS, M. E. S.; FIRMINO, P. de T.; ARRIEL, N. H. C. **Composição química de três variedades de gergelim**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2018. 22p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 160).
- GOUVEIA, L. A. V. **Caracterização físico-química e microbiológica de sementes, farinha e óleo de gergelim (*Sesamum indicum* L.)**. 107p. Dissertação (Mestrado em Alimentação, Nutrição e Saúde) - Instituto de Nutrição, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- MEHER, L. C.; SAGAR, D. V.; NAIK, S. N. Technical aspects of biodiesel production by transesterification - a review. **Renewable Sustainability Energy Review**, v.10, n.3, p.248-268, 2006.
- MORETTO, E.; FETT, R. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. Varela: 1998. 150p.
- OLIVEIRA, D. M.; FIRMINO, P. de T.; MARQUES, D. R.; KWIATKOVSKI, A.; MONTEIRO, A. R. G.; SILVA, A. C.; SOUSA, J. dos S. **Caracterização físico-química dos co-produtos (óleo e torta) do gergelim cv. CNPA-G4**. **Revista Tecnológica**, Ed. Esp.. Simpósio de Engenharia, Ciência e Tecnologia de Alimentos, 5., p.37-42, 2011.
- QUEIROGA, V. de P., ARRIEL, N. H. C., SILVA, O. R. R. F. da. **Tecnologias para o agronegócio do gergelim**. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2010.
- QUEIROGA, V. de P.; GONDIM, T. M. de S.; VALE, D. G.; GEREON, H. G. M.; MOURA, J. de A.; SILVA, P. J. da; SOUZA FILHO, J. F. de. **Produção de gergelim orgânico nas comunidades de produtores familiares de São Francisco de Assis do Piauí**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008. (Embrapa Algodão. Documentos, 190).
- RANDALL, E. L. Improved method for fat and oil analysis by a new process of extraction. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v.57, n.5, p.1165-1168, 1974.
- RCT - R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. 2021.
- TACO. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. 4. ed. Campinas: NEPA - UNICAMP, 2011. 164 p.
- VELP SCIENTIFICA. **Operating Manual NDA Series Dumas Nitrogen Analyzer**. Italy, 2019 (Rev F 11/20/19), 145p.
- WEST, C. E.; SCHÖNFELDT, H. C. Composição dos Alimentos In: GIBNEY, M. J.; VORSTER, H. H.; KOK, F. J. (Ed.). **Introdução à nutrição humana**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005. Cap. 11, p. 228-240.

# **SUBSTRATOS NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA SECA DE MUDAS DE ABÓBORA EM CAPITÃO POÇO - PA**

**Priscila Martins da Silva**<sup>1</sup>; **José Darlon Nascimento Alves**<sup>2</sup>; **Yago Colares Hesketh**<sup>3</sup>; **Maria Francilene Vidal de Souza**<sup>1</sup>; **Ana Paula Silva Vieira**<sup>1</sup>; **Michel Sauma Filho**<sup>4</sup>; **Raimundo Daniel Rodrigues Vieira**<sup>3</sup>; **Raimundo Emerson Batista dos Santos**<sup>3</sup>; **Jadson de Jesus Rodrigues de Pinho**<sup>3</sup>; **Mayse Ferreira Sales**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Graduanda. Capitão Poço, Pará. Universidade Federal Rural da Amazônia; <sup>2</sup>Engenheiro Agrônomo. Belém, Pará. Secretaria de Estado e Meio Ambiente e Sustentabilidade; <sup>3</sup>Graduando. Capitão Poço, Pará. Universidade Federal Rural da Amazônia; <sup>4</sup>Docente. Capitão Poço, Pará. Universidade Federal Rural da Amazônia

## **RESUMO**

O substrato é de suma importância para a produção de mudas de qualidade de abóbora. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a produção de biomassa seca de mudas de abóbora em diferentes substratos no município de Capitão Poço - PA. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação na UFRA Campus de Capitão Poço. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 5 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos utilizados foram os seguintes substratos: 100% solo de capoeira; 100% areia branca lavada; 75% de solo de capoeira e 25% esterco bovino curtido; 50% de solo de capoeira e 50% de esterco bovino curtido e 70% solo de capoeira, 20% de esterco bovino e 10% de serragem curtida e as variáveis destrutivas analisadas foram: massa seca da parte aérea e massa seca da raiz. Os tratamentos com a presença de esterco bovino apresentaram maiores acúmulos de biomassa de mudas de abóbora. Por outro lado, os substratos com 100% de solo de capoeira, 100% de areia branca lavada e o substrato contendo 70% de solo de capoeira, 20% de esterco bovino e 10% de serragem curtida apresentaram menores valores de biomassa de mudas de abóbora. Dessa forma, o substrato 50% de solo de capoeira e 50% esterco bovino curtido promoveu maior produção de biomassa seca às mudas de abóbora.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Cucurbita moschata*; Adubação orgânica; Produção vegetal;;

## **INTRODUÇÃO**

A *Cucurbita moschata* é uma espécie indígena americana oriunda das américas central e do Norte, e seu cultivo se espalhou em todo o mundo (SEVERINO et al., 2019). As abóboras são cultivadas em todo o território brasileiro, desempenhando um papel fundamental na alimentação humana. (PINTO; GODINHO; SPÓSITO, 2015). A cultura é utilizada na fabricação de doces em calda ou em pasta e no preparo de pratos salgados, ensopados ou cozidos (RESENDE et al., 2013).

Para o cultivo bem-sucedido da abóbora, é necessário produzir mudas uniformes e com nutrição mineral adequada, a fim de reduzir as perdas da cultura no campo. Para isso, é importante utilizar um substrato com propriedades físicas, químicas e biológicas adequadas para garantir o pleno desenvolvimento das mudas (LERNER et al., 2021). Segundo Silva e Queiroz (2014), os substratos são materiais de origem orgânica, mineral, natural ou residual que dão sustentação as plantas e ajudam na fixação do sistema radicular. O substrato deve possuir baixo peso, boa retenção de água e alta porosidade (SÁ et al. 2017).

Apesar da importância da cultura da abóbora ainda existem poucos estudos que avaliem o crescimento das plantas sob diferentes composições de substratos. Dessa forma, é necessários estudos que venham aprimorar o sistema de produção de abóbora para diminuir os custos de produção e aumentar a produtividade da cultura.

## **OBJETIVOS**

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a produção de biomassa seca de mudas de abóbora em diferentes substratos.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação com sombrite de 50%, localizado na área experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) campus de Capitão Poço - PA (1°43,44'55"S; 47°3,48'03"W). O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen é o Ami, com pequena estação seca e precipitação média anual em torno de 2400 mm (PACHECO; BASTOS, 2001). O solo do local é classificado como Latossolo Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2013). Foram utilizadas sementes de abóbora sergipana (*Cucurbita moschata*). O experimento foi desenvolvido durante o mês de setembro de 2022.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 5 tratamentos e 4 repetições, o que totalizou 20 unidades experimentais. Os tratamentos utilizados foram os seguintes substratos: 100% solo de capoeira (S1); 100% areia branca lavada (S2); 75% de solo de capoeira e 25% esterco bovino curtido (S3); 50% de solo de capoeira e 50% de esterco bovino curtido (S4) e 70% solo de capoeira, 20% de esterco bovino e 10% de serragem curtida (S5). Foram utilizados sacos de polietileno com capacidade de 2,5 kg, para cada recipiente foram semeadas cinco sementes. Após a germinação das plantas foi feito o desbaste deixando apenas uma planta por recipiente.

Aos 30 dias após a implantação do experimento foram analisadas as seguintes variáveis destrutivas: massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR). Para a determinação das variáveis, as partes da planta (caule, folhas e raiz) foram separadas e acondicionadas em sacos de papel kraft para secagem em estufa de circulação de ar forçada à 70°C até atingir peso constante, sendo posteriormente pesadas em balança analítica.

As médias foram submetidas à análise de variância ( $p < 0,05$ ), e para os resultados de F significativo foi aplicado o teste de Tukey por meio do software AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2015).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância, todas as variáveis analisadas apresentaram diferença significativa ( $p < 0,01$ ) em relação aos substratos utilizados (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância para as variáveis massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) em plantas jovens de abóbora em Capitão Poço, Pará.

FV	GL	Quadrados Médios e Significâncias	
		MSPA	MSR
Tratamentos	4	8,326 **	0,085 **
Resíduo	15	0,900	0,003
Total	19	-	-
CV (%)	-	24,638	28,401

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Autores (2023).



Os maiores acúmulos de biomassa de mudas de abóbora foram obtidos no substrato com 50% de solo de capoeira e 50% de esterco bovino (Tabela 2). Pois a matéria orgânica presente nesse substrato proporciona uma série de benefícios às plantas, já que possibilita o fornecimento de nutrientes, melhora as qualidades físicas do solo, com a diminuição da densidade do solo, aumento da microporosidade, da capacidade de infiltração e armazenamento de água (SÁ et al., 2019). Alves et al. (2020) ao estudarem níveis de esterco na composição de substratos para a produção de mudas de abóbora, concluíram que os níveis mais elevados do mesmo são benéficos para o crescimento e desenvolvimento das mudas.

Tabela 2. Massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) em plantas jovens de abóbora em Capitão Poço, Pará.

Substratos	Variáveis	
	MSPA	MSR
100% solo capoeira	0,09 c	0,03 c
100% areia	0,27 c	0,21 b
75% de solo e 25% de esterco bovino	2,03 b	0,31 ab
50% de solo e 50% de esterco bovino	3,37 a	0,36 a
70% solo, 20% de esterco bovino e 10% de serragem	0,30 c	0,06 c

Fonte: Autores (2023).

Por outro lado, menores acúmulos de biomassa foram obtidos no substrato com 100% de solo capoeira, isso pode ser explicado devido possivelmente à baixa fertilidade natural dos solos amazônicos (RESENDE et al. 2016). Os substratos com 20% de esterco bovino e 10% de serragem curtida e 100% de areia branca lavada também apresentaram baixos resultados (Tabela 2). A redução da massa seca das plantas na areia lavada está relacionada ao fato de ser um substrato com baixa concentração de nutrientes.

## CONCLUSÃO

Dessa forma, o substrato 50% de solo de capoeira e 50% esterco bovino curtido promoveu maior produção de biomassa seca às mudas de abóbora.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, J. C. PÔRTO, M. L. A. SILVA, A. O. NASCIMENTO, M. S. SILVA NETO, J. F. OLIVEIRA, A. F. S. Níveis de esterco bovino em substratos para produção de mudas de abóbora. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 2, p. 685-694, 2020.
- BARBOSA, J. C. MALDONADO, JUNIOR, W. **AgroEstat - sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: FCAV/UNESP. 2015. 396p.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. rev. ampl. - Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

- LERNER, B. L. STRASSBURGER, A. S. CAMELLO, H. DUARTE, T. S. SILVA, M. A. S. SCHÄFER, G. Substratos orgânicos para a produção de mudas de alface Organic substrates for lettuce seedlings. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 10, p. 99742-99761, 2021.
- PACHECO, N. A. BASTOS, T. X. **Caracterização climática do município de Capitão Poço-PA**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 17p.
- PINTO, L. E. V.; GODINHO, A. M. M.; SPÓSITO, T. H. N. Desenvolvimento inicial de mudas de abóbora menina brasileira (*Cucurbita moschata*D.) em função de diferentes tipos de substratos agrícolas. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 11, n. especial, p. 36-43, 2015.
- SÁ, F. V. S.; MESQUITA, E. F.; SOUZA, F. M.; MESQUITA, S. O.; PAIVA, E. P.; SILVA, A. M. Depleção de água e composição do substrato na produção de mudas de melancia. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, Fortaleza, v. 11, n. 3, p. 1398 - 1406, 2017.
- SÁ, F. V. S.; MESQUITA, E. F.; SOUZA, F. M.; FERREIRA, D. S.; FERREIRA, A. R. S.; ALVES, A. S. Crescimento de mudas de pepino sob restrição hídrica e doses de esterco bovino. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 4, p. 3568-3577, 2019.
- SEVERINO, K. L. P., CREPALDI, J., ZEQUINI, V. M., MONTEIRO, A. R., PEDRO, M. A. M., PATRÍCIA DE CARVALHO, D. B., & VERONEZI, C. M. Potencial uso de sementes de abóbora (*Cucurbita moschata*) como aproveitamento de resíduo. **Revista Científica**, v. 1, n. 1, 2019.
- RESENDE, G. M.; BORGES, R. M. E.; GONÇALVES, N. P. S. Produtividade da cultura da abóbora em diferentes densidades de plantio no Vale do São Francisco. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 3, p. 504-508, 2013.
- RESENDE, A.V.; FONTOURA, S.M.V.; BORGHI, E.; SANTOS, F.C.; KAPPES, C.; MOREIRA, S.G.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; BORIN, A.L.D.C. Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **Informações Agronômicas**, v.156, p.1-17, 2016.

## **CRESCIMENTO INICIAL de variedades de abóbora COM DIFERENTES SUBSTRATOS EM CAPITÃO POÇO - PA**

**Mayse Ferreira Sales**<sup>1</sup>; **Paulo Arthur Silva Pardim**<sup>1</sup>; **José Darlon Nascimento Alves**<sup>3</sup>; **Gabriel Rodrigues do Nascimento**<sup>1</sup>; **Bruno dos Santos da Silva**<sup>1</sup>; **Daislen dos Reis Soares**<sup>1</sup>; **Carlos Valmison da Silva Araújo**<sup>1</sup>; **Michel Sauma Filho**<sup>8</sup>; **Alberto Cruz da Silva Junior**<sup>9</sup>; **Heráclito Eugênio Oliveira da Conceição**<sup>10</sup>

<sup>1</sup>Discente. CAPITÃO-POÇO PARÁ. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA; <sup>2</sup>Discente. CAPITÃO-POÇO PARÁ. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA; <sup>3</sup>Engenheiro Agrônomo. Belém- PARÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade; <sup>4</sup>Discente. CAPITÃO-POÇO PARÁ. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA; <sup>5</sup>Discente. CAPITÃO-POÇO PARÁ. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA; <sup>6</sup>Discente. CAPITÃO-POÇO PARÁ. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA; <sup>7</sup>Discente. CAPITÃO-POÇO PARÁ. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA; <sup>8</sup>Docente. CAPITÃO-POÇO PARÁ. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA; <sup>9</sup>Engenheiro Agrônomo. CAPITÃO-POÇO PARÁ. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA; <sup>10</sup>Docente. CAPITÃO-POÇO PARÁ. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

### **RESUMO**

Um dos aspectos importantes na produção de mudas olerícolas é a utilização de substratos adequados. Apesar da importância dos substratos, existem poucos estudos sobre a proporção ideal de solo e esterco bovino para a cultura da abóbora. Assim, objetivou-se avaliar o crescimento inicial de abóboras em diferentes substratos nas condições edafoclimáticas de Capitão Poço - PA. O experimento foi realizado em casa de vegetação na Universidade Federal Rural da Amazônia. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente Casualisado em esquema fatorial 2 x 4, com três repetições, sendo analisado duas variedades (Jacarezinho e Sergipana) e 4 substratos. Os substratos foram areia lavada, solo local, 75% solo local + 25% de esterco bovino curtido e 50% solo local + 50% esterco bovino curtido. Aos 15 dias após a sementeira foram avaliadas a altura da planta (AP), o diâmetro (DC) e o comprimento de caule (CC). Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ) e quando significativos foi aplicado o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Houve resposta significativa ( $p < 0,05$ ) apenas para o fator substratos nas variáveis altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e comprimento do caule (CC). Por outro lado, o substrato areia apresentou as menores respostas, em virtude de ser um material inerte, com pouca disponibilidade de nutrientes. O substrato 75% solo + 25% de esterco bovino possibilitou maior crescimento inicial das variedades.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura familiar; *Cucurbita Moschata*; Esterco bovino;;

### **INTRODUÇÃO**

A Abóbora (*Cucurbita Moschata*) é uma olerícola nativa do continente americano pertencente à família Cucurbitáceas (Ventura et al., 2019). Essa espécie é rica em propriedades antioxidantes, vitaminas, minerais, fibras, carotenoides e água (Gil et al., 2019). Além disso, apresenta baixos teores de carboidratos, lipídios e calorias (Manos et al., 2017).

Essa cultura é bastante cultivada pela agricultura familiar contribuindo para a economia do país. Segundo o IBGE (2017), o estado do Pará produz cerca de 8.253 toneladas, essa baixa produção no estado pode estar ligada a falta de informações para melhorar o sistema de produção, como uso de mudas com a finalidade de melhorar a homogeneidade e qualidade do estande de cultivo.

Um dos aspectos importantes na produção de mudas olerícolas é a utilização de substratos com resíduos orgânicos, como o esterco bovino, de qualidade e de preço acessível ao produtor (N'dafá et al.; 2022). Os substratos ideais devem conter teores de nutrientes e matéria orgânica adequados, possuir porosidade e armazenamento de água satisfatórios e apresentar níveis de biota do solo suficientes para realizar a ciclagem de nutrientes (Bristot, 2019). Apesar da importância dos substratos, existem poucos estudos sobre a proporção ideal de solo e esterco bovino para a cultura da abóbora.

## OBJETIVOS

Assim, objetivou-se avaliar o crescimento inicial de variedades de abóbora em diferentes substratos nas condições edafoclimáticas de Capitão Poço - PA.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação aberta na Universidade Federal Rural da Amazônia, *campus* Capitão Poço, Capitão Poço PA (1°44'39" S; 47°3'26" W, altitude 73 m) entre abril e maio de 2023. Segundo a classificação de Koppen, o clima da região é classificado, como do tipo Am (altitude tropical). O solo do local é Latossolo Amarelo de textura média (Santos, 2018). As características químicas estão descritas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Análise química dos substratos.

Substratos	pH	N	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca+Mg	Al <sup>3+</sup>	H+Al	m	V
	(H <sub>2</sub> O) % -- mg dm <sup>-3</sup> -----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----%---										
Solo local	4,4	0,1	9,8	19,9	0,9	0,6	1,5	0,2	2,3	11,4	40,3
75% SL + 25% EB	5,4	0,3	26,1	99,8	1,3	1,7	3,0	0,1	0,5	3,0	86,7
50% SL + 50% EB	5,7	0,4	26,1	159,7	1,3	1,7	3,0	0,1	0,5	1,5	87,2

Fonte: Laboratório Pró-Solos (2023).

As sementes de abóboras foram adquiridas no comércio local. Em seguida foi realizado o processo de embebição em água destilada, para superar a dormência, durante um período de 24 horas. Após essa etapa as sementes foram semeadas em recipientes do tipo bacias de 5 L, em que cada bacia continha 20 sementes e após a emergência foram desbastadas, permanecendo 10 plântulas.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente Casualizado em esquema fatorial 2 x 4, com três repetições, no qual foram analisadas duas variedades (Jacarezinho e Sergipana) e 4 substratos. Os substratos foram areia lavada, solo local, 75% solo local + 25% de esterco bovino curtido e 50% solo local + 50% esterco bovino curtido.

Aos 15 dias após a semeadura foram avaliadas a altura da planta (AP, cm), determinada a partir do solo até ápice da planta, com uso de uma régua milimetrada. O diâmetro (DC, cm, cm) foi medido com um paquímetro a 5 cm acima do solo e o comprimento de caule (CC) considerando desde a superfície até o meristema apical. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ) e quando significativos foi aplicado o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), por meio do uso do Software AgroEstat (Barbosa; Maldonado Junior, 2015).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve resposta significativa ( $p < 0,05$ ) apenas para o fator substratos nas variáveis altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e comprimento do caule (CC) em plantas jovens de abóbora (Tabela 2).

**Tabela 2:** Resumo da análise de variância das médias das variáveis altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e comprimento do caule (CC) de variedades de abóbora em diferentes substratos.

FV	GL	Quadrado médio
		AP
Variedades (V)	1	7,7 <sup>ns</sup>
Substratos (S)	3	121,0 <sup>**</sup>
V * S	3	1,5 <sup>ns</sup>
Resíduo	16	2,8
Média Geral		13,4
CV (%)		12,7
FV	GL	Quadrado médio
		DC
Variedades (V)	1	0,01 <sup>ns</sup>
Substrato (S)	3	0,02 <sup>**</sup>
V * S	3	0,00 <sup>ns</sup>
Resíduo	16	0
Média geral		0,3
CV (%)		14
FV	GL	Quadrado médio
		CC
Variedades (V)	1	0,7 <sup>ns</sup>
Substratos (S)	3	8,6 <sup>**</sup>
V * S	3	0,2 <sup>ns</sup>
Resíduo	16	0,5
Média Geral		7,2
CV (%)		9,9

Fonte: Autores, (2023).

Não se observaram diferenças significativas entre as variedades nas variáveis analisadas, o que indica nesse período comportamento de crescimento semelhante entre as variedades (Tabela 3). A taxa de crescimento da variedade da cultura a ser escolhida é fundamental para o tempo de produção e qualidade da muda, garantindo o maior retorno financeiro do produtor (Custodio et al.; 2018).

Tabela 3: Altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e comprimento do caule (CC) de variedades de abóbora.

Variedades	AP	CC	DC
Jacarezinho	12,84 a	7,39 a	0,31 a
Sergipana	13,97 a	7,06 a	0,34 a

Fonte: Autores, (2023).

As maiores respostas para as variáveis estudadas foram no substrato 75% solo + 25% de esterco bovino (Tabela 4), o que indica a importância do adubo orgânico para o crescimento inicial da abóbora. O esterco melhorou a quantidade e disponibilidade de nutrientes ao longo do tempo (Tabela 1), além disso, aumenta a retenção e disponibilidade de água, beneficia a aeração do solo e promove o desenvolvimento da biota do substrato (Salomão et al.; 2020).

**Tabela 4:** Altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e comprimento do caule (CC) de plantas jovens de abóbora em substratos.

Substratos	AP	CC	DC
Areia lavada	8,45 d	5,65 c	0,25 c
Solo local	11,26 c	7,10 b	0,30 bc
75% solo + 25% de esterco bovino	18,72 a	8,50 a	0,40 a
50% solo local + 50% esterco bovino	15,19 b	7,66 ab	0,35 ab

Fonte: Autores, (2023).

Por outro lado, o substrato areia apresentou as menores respostas, em virtude de ser um material inerte, com pouca disponibilidade de nutrientes, não atende a necessidade nutricional das plantas, reduzindo seu crescimento (Amorim et al.; 2021). Assim, seu uso é limitado na agricultura. O solo local também apresentou respostas inferiores, em virtude do baixo pH, baixa CTC e menores disponibilidades de nutrientes, conforme constatado na Tabela 1, isso porque, os solos amazônicos na sua composição predominam a caulinita que possui alta intemperização, portanto, não apresentam nutrientes necessário para o crescimento e desenvolvimento da olerícola (Damasceno et al.; 2018).

## CONCLUSÃO

O substrato 75% solo + 25% de esterco bovino possibilitou maior crescimento inicial das variedades nas condições edafoclimáticas de Capitão Poço - PA.

## REFERÊNCIAS

AMORIM, Edinéia Lima et al. Avaliação de diferentes substratos orgânicos na produção de biomassa da hortelã (*mentha piperita* l.): Evaluation of different organic substrates in the biomass production of mint (*mentha piperita* l.). *Latin American Journal of Development*, v. 3, n. 5, p. 3313-3319, 2021.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR, W. *AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos*. Jaboticabal, FCAV/UNESP. 396p, 2015.

CUSTÓDIO, Aldo Max et al. Desempenho produtivo de cultivares de cabotiá em Novo São Joaquim, Mato Grosso. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, ano. 16, n. 2, 2018.

DAMACENO, João Batista Dias; LOBATO, Ana Cecília Nina. Solos do Amazonas: descrição de um perfil de solo. DELOS: Desarrollo Local Sostenible, ano.12, n. 34, 2019.

DE OLIVEIRA BRISTOT, André et al. Efeito da composição de substrato na produção de mudas de gergelim irrigadas por capilaridade. Habitats Urbanos e Rurais, p. 135, 2019.

N'DAFÁ, Gerson et al. CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE CACAUEIRO FERTILIZADO COM DOSES DE ESTERCO BOVINO. ENCICLOPEDIA BIOSFERA, v. 19, n.42,2022.

SALOMÃO, Pedro Emílio Amador et al. Metodologia de implantação da bananeira prata anã com adubação orgânica. Research, Society and Development, v. 9, n. 2, p. e114922155-e114922155, 2020.

27 e 30 de novembro de 2018 Página de

# **13. Análise de Eficiência Agrícola - Yield-Gap Analysis**



# Intensificação agrícola pode ajudar a proteger a Floresta Amazônica e reduzir o aquecimento global

**FABIO RICARDO MARIN**<sup>1</sup>; **ALENCAR JUNIOR ZANON**<sup>1</sup>; **Juan Pablo Monzon**<sup>1</sup>; **José F. Andrade**<sup>1</sup>; **Evandro H.F.M. Silva**<sup>1</sup>; **Gean Ritcher**<sup>1</sup>; **Bruna San Martin**<sup>1</sup>; **RAFAEL BATTISTI**<sup>1</sup>; **Alexandre B. Heinemann**<sup>1</sup>; **PATRICIO GRASSINI**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>DOCENTE. AV. PADUA DIAS, 11 - PIRACICABA - SP. USP/ESALQ

## RESUMO

The Amazon basin includes 550 M ha covered with rainforests, with 60% of this area being in Brazil. Conversion of rainforest for soybean production raises concerns about the degree to which Brazil can reconcile production and environmental goals. Here we investigated the degree to which intensification could help Brazil produce more soybean without further encroachment of the Amazon Forest. Our analysis shows that continuation of current trends in soybean yield and area would lead to conversion of additional 5.7 M ha of forests and savannas during the next 15 years, with an associated 2550 Mt of CO<sub>2</sub>eq released into the atmosphere. In contrast, acceleration of yield improvement, coupled with expansion of soybean area only in areas currently used for livestock production, would allow Brazil to achieve similar economic benefits without deforestation and with substantially lower global climate warming.

**PALAVRAS-CHAVE:** potential yield; crop modeling; emissions; deforestation;

## INTRODUÇÃO

The COVID-19 pandemic, together with the war in Ukraine, brought two signals that can have a massive impact on developing countries that rely on commodity crops as a main source of income. One is a sharp increase in crop commodity prices, which have risen *ca.* 75% compared with pre-pandemic levels<sup>1</sup>. The other signal is a strong desire of national governments to quickly recover from the negative economic impact by making use of their comparative advantages<sup>2</sup>. These signals are of critical importance for developing countries with vast tracts of land suitable for farming that are currently covered with fragile ecosystems such as rainforests and savannas, because they can trigger massive land conversion in a relatively short period of time, leading to biodiversity loss and global warming<sup>3-9</sup>.

Brazil hosts one of the largest pools of biodiversity in the world, with 516 M ha of forests and savannas (MAPBIOMAS Project - Collection 5.0)<sup>10</sup>. Of special relevance are the vast areas of rainforests located within the Amazon basin, summing to 330 M ha. At the same time, Brazil is the main soybean exporting country, accounting for *ca.* 40% of global exports (FAOSTAT, 2017-2019)<sup>11</sup>. Soybean production has driven massive deforestation during the late 1990s and early 2000s<sup>12,13</sup>. Fortunately, Brazil has made tangible progress in subsequent years to reduce deforestation rates *via* moratoriums and incentive programs funded by foreign countries<sup>14,15</sup>. At question is whether these measures alone will be sufficient to prevent conversion of fragile ecosystems in a context of high grain prices and with governments seeking economic growth *via* increased agricultural output.

Soybean area in Brazil has expanded at 1.4 M ha per year during the 2007-2019 period, with most of this expansion occurring in four regions: Pampa, Atlantic Forest, Cerrado, and Amazonia. The first two regions experienced a massive process of land conversion for agriculture many decades ago and only a small portion of the native vegetation now remains. In contrast, large tracks of pristine forest and savanna remain in Cerrado and especially Amazonia. Unfortunately, one third of the annual land converted for soybean production in Brazil is now occurring in Amazonia, with half of the soybean expansion in this region occurring at expense of tropical rainforest.

## OBJETIVOS

Here we investigated the degree to which agricultural intensification, that is, increasing the productivity of existing cropland, could serve as a means of enabling Brazil to simultaneously reconcile production and environmental goals. To evaluate the potential of achieving both outcomes, we combined crop modeling and spatial analysis to investigate different scenarios of intensification and land-use change and associated impact on production, land conversion, and climate change. We discuss the resultant implications for policy makers and priorities in agricultural research and development (AR&D) programs to foster agricultural intensification and protection of fragile ecosystems.

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Study regions and recent trends in land-use change*

Our analysis focuses on four biomes (referred to as 'regions' in the rest of the text), accounting for nearly all soybean area in Brazil: Pampa, Atlantic Forest, Cerrado, and Amazonia (**Supplementary Material, Section 1**). Soybean production is negligible in Pantanal and Caatinga so these two regions were excluded from our analysis. We focused on soybean-based systems in Brazil, either those that include one crop per year (single soybean), or those including a second-crop maize. In the latter system, soybean is sown in Sept-Oct and maize is sown right after soybean harvest in late Jan-Feb. Single soybean is common in Pampa, where drier climate does not allow double cropping. In contrast, higher precipitation allows double cropping in Amazonia, Cerrado, and most of the Atlantic Forest (**Supplementary Material, Section 2**).

Recent trends in yield, area, and production for soybean and second-crop maize were derived from official statistics for the 2007-2019 period<sup>16</sup>. We fitted linear models to derive the annual rate of yield improvement and harvested area for soybean and second-crop maize, separately for each region (**Figure 1 and Extended Data Figure 1**). Land use change arising from soybean expansion was estimated using data from the MAPBIOMAS project (v5.0)<sup>10</sup> (**Supplementary Table 1**). Our estimation of land-use change accounted for the time lag between land conversion and beginning of soybean production, which can include transitional stages such as cultivation of upland rice or short-term pasture-based livestock systems<sup>33</sup>. To do so, we looked at the new land brought into soybean production during the 2008-2019 period, and we analyzed how much of this land was under a different land use type (forest, savanna, grassland, pasture, other crops) around the year 2000 (**Extended Data Figure 2**).

### *Estimation of yield potential and yield gaps*

We used results on yield potential for Brazil generated by the authors through the Global Yield Gap Atlas project (GYGA)<sup>34</sup> using well-validated process-based crop models and best available sources of weather, soil, and management data. Briefly, we selected a total of 32 sites to portray the distribution of the soybean harvested area within the country, following protocols that ensure representativeness and a reasonable coverage of national crop area<sup>35</sup>. The 32 sites collectively accounted for half of soybean harvested area in Brazil. In turn, these sites were located within agro-climatic zones accounting for 86% national soybean production and accounted for 72-92% of soybean area in each region. Following protocols that give preference to measured data at a high level of spatial and temporal resolution<sup>36</sup>, databases on weather, soil, management, and crop yields were collected for soybean for each site, and also for second-crop maize at those sites where double cropping is practiced (**Supplementary Tables 2-3; Supplementary Material Section 3**).

Yield potential was simulated for widespread cultivars in each region using CROPGRO soybean model embedded in DSSAT v 4.5<sup>37</sup> and Hybrid-Maize model<sup>38</sup>. We first evaluated CROPGRO and Hybrid Maize models on the ability to reproduce measured phenology and yields across 40 well-managed experiments located across the four regions. Models showed satisfactory performance at

reproducing measured values (**Extended Figure 3**). Subsequently, we simulated soybean yield potential for the dominant agricultural soils at each site (usually two to three), as determined from the soil maps generated by the Radambrasil project<sup>39</sup>. Simulations were based on long-term (1999-2018) measured daily weather data retrieved from Brazilian Institute of Meteorology (INMET)<sup>40</sup>. We also simulated yield potential for second-crop maize crop for those sites where double cropping is practiced. To estimate average yield potential for each site, simulated values for each soil types was weighted by soil area fraction at each site. In all cases, simulations assumed no limitations to crop growth due to nutrient deficiencies and incidence of biotic stresses such as weeds, insect pests, and pathogens. Results were up-scaled from site to region and then to country following van Bussel et al.<sup>35</sup>. Briefly, average yield potential for each region was estimated by averaging simulated yields across the sites located within each region, weighing sites according to their share of the soybean area within each region. A similar approach was followed to upscale yield potential from region to national level. Details on crop modeling, data sources, and upscaling is provided in **Supplementary Material Section 3**.

Average farmer yield was calculated separately for soybean and second-crop maize based on the average yield reported over the 2012-2017 period for the municipalities that overlap with each site, weighing municipalities based on their share of the soybean or maize area within each site<sup>16</sup>. Including more years before 2012 would have led to a biased estimate of average actual yield due to the technological yield trend in Brazil. Average farmer yields were estimated at region and country levels following the same upscaling approach as for yield potential. Finally, the exploitable yield gap was calculated as the difference between attainable yield and average farmer yield. The attainable yield was calculated as 80% of the simulated yield potential, which is considered a reasonable yield for farmers with adequate access to inputs, markets, and technical information (**Supplementary Material Section 2**).

#### *Assessment of different scenarios of intensification and land-use change*

We explored three scenarios with different soybean and maize yields and area by year 2035 and assessed their outcomes in terms of production, land use change, and GWP (**Supplementary Table 4**). A 15-year future timespan is long enough to facilitate the implementation of long-term policies, investments, and technologies devoted to close the exploitable yield gap and to implement land-use policies, but it is short enough to minimize long-term effects from climate change on crop yields and cropping systems. In the business-as-usual (BAU) scenario, historical (2007-2019) trends of soybean and second-crop maize area and yield (**Extended Data Figure 1**) remain unchanged in all regions between the baseline year (2019) and final year (2035). Likewise, soybean area expands following the same pattern of land-use change observed during 2008-2019 (**Extended Data Figure 2**).

To explore the available opportunity for increasing production on existing production area, we considered an intensification (INT) scenario in which there is no physical expansion of cropland while full closure of the exploitable yield gap occurs in the regions where current yield gaps are small (Pampa and Atlantic Forest) and 50% closure of the exploitable yield gap takes place in regions where current yield gap is large (Amazonia and Cerrado) (**Supplementary Table 4**). These rates are comparable to historical yield gains in Pampa and Atlantic Forest. In contrast, a scenario of full yield closure in Amazonia and Cerrado would have been unrealistic as it would have required rates of yield improvement that are three-to-four times higher than historical rates and much higher than those in Pampa and Atlantic Forest and well beyond those reported for main soybean producing countries. In the case of second-maize crop, we assumed full closure of the exploitable yield gap by 2035 because historical rates of yield improvement are adequate to reach that yield level. In the case of second-crop maize area, we projected the proportion of double cropping to increase from current 47% (Amazonia), 39% (Cerrado), and 31% (Atlantic Forest) to 100%, 70%, and 50%, respectively, as determined based on the degree of water limitation in each region (**Supplementary Material Section 4**).

Finally, we explored a third scenario of intensification plus target area expansion (INT+TE), in which identical yield gain rates and adoption of double cropping equivalent to those in the INT scenario were assumed, but with physical expansion of the soybean-maize system allowed in low-C ecosystems. In this scenario, soybean expansion is limited to 10% of existing pastures and grasslands in Pampa, Atlantic Forest, and Cerrado (total of 11.4 M ha) as a result of a parallel intensification in the pasture-based livestock sector that frees up land for soybean production. Such intensification would require a modest 10% increase in stocking rate, which is a reasonable target within a relatively short timeframe, as reported in previous studies<sup>25,26</sup>. Another assumption is that the yield potential of pasture and grasslands converted for soybean production is similar to that in existing soybean areas in each region. Cropland expansion into grassland and pastures was allowed in all regions, except for Amazonia to prevent 'leaking' effects and the impact of road development on land clearing<sup>41,42</sup>. Similarly, conversion of area cultivated with food crops for soybean production is not allowed to avoid the negative impact of indirect land use change<sup>43</sup>.

### *Estimation of global warming potential and gross income*

We estimated greenhouse gas emissions (GHG), including carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxides (N<sub>2</sub>O) associated with land conversion (GHG<sub>LUC</sub>) and crop production (GHG<sub>PROD</sub>) for the baseline year (2019) and for the three scenarios by year 2035 (BAU, INT, INT+TE). The GHG<sub>LUC</sub> includes emissions associated with changes in C stocks from aboveground and belowground biomass when land is converted for soybean production (GHG<sub>BIO</sub>), and also GHG emissions derived from associated changes in soil organic C (GHG<sub>SOC</sub>). For each land use type, annual GHG<sub>BIO</sub> was estimated based on the change in C stocks between the land use type that was converted for production (**Supplementary Table 5**) and, depending on the scenario and region, the average C stocks of the new cropping system<sup>44-46</sup>:

$$GHG_{CON} = ? (TDM_i - TDM_{crop}) * Ai \text{ Eq. [1]}$$

where  $i$  is the land cover type,  $TDM$  is the total dry matter (t C ha<sup>-1</sup>) in land cover type  $i$  and in cropland ( $crop$ ), and  $Ai$  is the annual area converted from land use type  $i$  for soybean cultivation (**Supplementary Table 4**). C stocks for single soybean and soybean-second maize systems were assumed at 2 and 5 t C ha<sup>-1</sup>, respectively<sup>44-46</sup>. Changes in soil organic C (SOC) stocks was estimated following the IPCC 2019 guidelines<sup>45</sup> and the SOC estimated for each region<sup>47,48</sup>:

$$GHG_{SOC} = ? (SOC_{REF i} * F_{LU} * F_{MG} * F_I) * Ai \text{ Eq. [2]}$$

where  $i$  is the land cover type,  $SOC_{REF}$  is the soil organic C stock for mineral soils in the upper 30 cm for the reference condition (t C ha<sup>-1</sup>)<sup>47</sup> in land cover type  $i$  (**Supplementary Table 5**),  $F_{LU}$  is the stock change factor for SOC land-use systems for a particular land-use,  $F_{MG}$  is the stock change factor for SOC for management regime,  $F_I$  is the stock change factor for SOC for the input of organic amendments, and  $Ai$  is the annual area converted from land use type  $i$  (**Supplementary Table 4**). We used a  $F_{LU} = 0.84$  that corresponds to area converted to annual crops in tropical wet regions,  $F_{MG} = 1.04$  that corresponds to reduced tillage in tropical wet regions, and  $F_I = 1.0$  representative for annual cropping with cereals where all crop residues are returned to the field. We assumed that GHG<sub>BIO</sub> and GHG<sub>SOC</sub> occurred during the first year after land conversion and were expressed as CO<sub>2</sub> equivalents by multiplying changes in C stocks by 3.67.

Annual GHG emissions derived from soybean and second-crop maize production (GHG<sub>PROD</sub>) were calculated for each scenario and included those derived from manufacturing, packaging, and transportation of agricultural inputs, fossil fuel use for field operations, and soil N<sub>2</sub>O emissions derived from application of nitrogen (N) fertilizer, and domestic grain transportation. For the baseline year (2019), annual GHG from N, phosphorous (P), and potassium (K) fertilizers and other inputs (lime, pesticides, and fuel) was calculated based on current average input rates for soybean and

second-crop maize in each region as derived from the crop management data collected for each region (**Supplementary Table 6; Supplementary Material Section 3.4**). To calculate GHG emissions associated with manufacturing, packaging, and transportation of N, phosphorous (P), and potassium (K) fertilizers and lime, we used specific updated emissions factors for South America<sup>49</sup>, selecting those fertilizer sources that are most commonly used for soybean and second-crop maize production: urea (N), monoammonium phosphate (P), and potassium chloride (K). Our calculations also included the extra lime application that is needed to correct soil acidity converted areas. Emission factors associated with seed production, pesticides and diesel were derived from Lal (2014)<sup>50</sup>. Soil N<sub>2</sub>O emissions derived from N fertilizer application were calculated assuming a N<sub>2</sub>O emission factor of 1.6% of the applied N fertilizer applied based on the IPCC emission factor for mineral soils in tropical regions<sup>45</sup>. Emissions derived from domestic grain transportation for each region were estimated using the GHG per ton of grain as reported by previous studies for each region<sup>51</sup>. We assumed that inputs other than nutrient fertilizer will not change relative to the baseline in the BAU scenario. In the case of the INT and INT-TE scenarios, applied inputs were calculated based on those reported for current high-yield fields where the yield gap is small. In the case of fertilizer nutrient rates, we estimated them for the three scenarios following a nutrient-balance approach that depends upon the projected yield for each scenario (**Supplementary Table 6; Supplementary Material Section 3.4**)

The GHG<sub>PROD</sub> in the baseline year (2019) and for the three scenarios in 2035 (BAU, INT, and INT-TE) was estimated for each region by multiplying the emissions per unit of area by the annual soybean harvested area, summing them up to estimate GHG emissions at national level. Overall 100-y GWP was estimated as the sum of GHG<sub>LUC</sub> and GHG<sub>PROD</sub>, both expressed as CO<sub>2</sub> equivalents (CO<sub>2</sub>eq) to account for the higher warming potential of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O, which are 25 and 298 times the intensity of CO<sub>2</sub> on per mass basis, respectively. The gross income was estimated for each scenario by multiplying annual crop production by the average price for soybean and maize grain during the past ten years (453 and 184 US\$ t<sup>-1</sup> for soybean and maize, respectively<sup>1</sup>). Finally, to combine the environmental and economic impact into one metric, we calculated the GWP intensity as the ratio between GWP and gross income.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

The COVID-19 pandemic, together with the war in Ukraine, brought two signals that can have a massive impact on developing countries that rely on commodity crops as a main source of income. One is a sharp increase in crop commodity prices, which have risen *ca.* 75% compared with pre-pandemic levels<sup>1</sup>. The other signal is a strong desire of national governments to quickly recover from the negative economic impact by making use of their comparative advantages<sup>2</sup>. These signals are of critical importance for developing countries with vast tracts of land suitable for farming that are currently covered with fragile ecosystems such as rainforests and savannas, because they can trigger massive land conversion in a relatively short period of time, leading to biodiversity loss and global warming<sup>3-9</sup>.

Brazil hosts one of the largest pools of biodiversity in the world, with 516 M ha of forests and savannas (MAPBIOMAS Project - Collection 5.0)<sup>10</sup>. Of special relevance are the vast areas of rainforests located within the Amazon basin, summing to 330 M ha. At the same time, Brazil is the main soybean exporting country, accounting for *ca.* 40% of global exports (FAOSTAT, 2017-2019)<sup>11</sup>. Soybean production has driven massive deforestation during the late 1990s and early 2000s<sup>12,13</sup>. Fortunately, Brazil has made tangible progress in subsequent years to reduce deforestation rates *via* moratoriums and incentive programs funded by foreign countries<sup>14,15</sup>. At question is whether these measures alone will be sufficient to prevent conversion of fragile ecosystems in a context of high grain prices and with governments seeking economic growth *via* increased agricultural output.

Here we investigated the degree to which agricultural intensification, that is, increasing the productivity of existing cropland, could serve as a means of enabling Brazil to simultaneously

reconcile production and environmental goals. To evaluate the potential of achieving both outcomes, we combined crop modeling and spatial analysis to investigate different scenarios of intensification and land-use change and associated impact on production, land conversion, and climate change. We discuss the resultant implications for policy makers and priorities in agricultural research and development (AR&D) programs to foster agricultural intensification and protection of fragile ecosystems.

Soybean area in Brazil has expanded at 1.4 M ha per year during the 2007-2019 period, with most of this expansion occurring in four regions: Pampa, Atlantic Forest, Cerrado, and Amazonia (**Figure 1a; Extended Data Figures 1 and 2; Supplementary Table S1; Supplementary Material Section 1**). The first two regions experienced a massive process of land conversion for agriculture many decades ago and only a small portion of the native vegetation now remains. In contrast, large tracks of pristine forest and savanna remain in Cerrado and especially Amazonia. Unfortunately, one third of the annual land converted for soybean production in Brazil is now occurring in Amazonia, with half of the soybean expansion in this region occurring at expense of tropical rainforest (**Extended Data Figure 2**). Soybean expansion into the Amazonia and Cerrado has been driven by availability of suitable soils for crop production and favorable weather, which allow farmers to achieve high and stable soybean yields and to cultivate an additional maize crop (hereafter referred to as 'second-crop maize') in the same cropping season (**Extended Data Figure 1**). Yield improvement has been comparably slower in Cerrado and Amazonia compared to that in other regions (**Figure 1b**), which has led to soybean production increasing mostly from cropland expansion (**Figure 1c**).

## CONCLUSÃO

*In the current context of high grain prices and food supply disruptions, we believe there is a critical need for major crop producing countries to re-assess their potential to produce more on existing cropland. Our national assessment for Brazil moves beyond previous efforts to quantify yield gaps at local level<sup>29,30</sup>, showing that intensification can help achieve a reasonable balance between crop production and protection of fragile ecosystems. We are aware of other approaches to protect natural ecosystems. For example, previous studies in Brazil have shown that moratoriums, certification, and incentive programs can help protect fragile ecosystems from conversion<sup>15,31</sup>. However, recent examples for Brazil and other countries showed that these programs fall short in protecting forests in countries that depend heavily on crop commodity exports, especially when the socio-economic context is favorable for converting natural ecosystems to agricultural production (e.g., high crop prices, poor enforcement of land-use policy)<sup>7,32</sup>. Intensification can complement these other approaches to protect fragile ecosystems, providing a means to reconcile economic and environmental goals. To be effective, however, intensification would require proper policy and enforcement to ensure that land savings derived from crop yield improvement led to land sparing for nature. The main message still remains: without an emphasis on intensifying crop production within the existing agricultural area, it would be difficult to protect the last bastions of forests and biodiversity in the planet.*

## AGRADECIMENTOS

*This project was funded by the International Plant Nutrition Institute (grant INS-19/0007 to P.G.), the Research Foundation of the State of São Paulo (FAPESP 433 grants 2017/20925-0, 2018/06396-7, 2021/00720-0 to F.R.M.), the Brazilian Research Council (CNPq 130972/2019-3, 425174/2018-2 and 300916/2018-3 to F.R.M.), the Research Foundation of the State of Rio Grande do Sul (FAPERGS - 17/2551-0000775-1 to A.J.Z.), and the Global Engagement Office at the Institute of Agriculture and Natural Resources at University of Nebraska-Lincoln (UNL) through the FAPESP-UNL SPRINT Program (2017/50445-0 to P.G.). The first author (F.M.) received financial support from the Fulbright program to support a 6-month stay at UNL.*

## REFERÊNCIAS

1. *Commodity Markets. The World Bank* <https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>.
2. *Morris, M. et al. Future Foodscapes?: Re-imagining Agriculture in Latin America and the Caribbean. vol. 1 (2020).*
3. *Bonan, G. B. Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. Science (80-. ). 320, 1444-1449 (2008).*
4. *Johnson, C. N. et al. Biodiversity losses and conservation responses in the Anthropocene. Science (80-. ). 356, 270-275 (2017).*
5. *Seymour, F. & Harris, N. L. Reducing tropical deforestation. Science (80-. ). 365, 756-757 (2019).*
6. *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. <http://inpe.br/>.*
7. *Silva Junior, C. H. L. et al. The Brazilian Amazon deforestation rate in 2020 is the greatest of the decade. Nat. Ecol. Evol. 5, 144-145 (2021).*
8. *Gatti, L. V. et al. Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. Nature 595, 388-393 (2021).*
9. *Boulton, C. A., Lenton, T. M. & Boers, N. Pronounced loss of Amazon rainforest resilience since the early 2000s. Nat. Clim. Chang. 12, 271-278 (2022).*
10. *MapBiomas Project- Collection [5.0] of the Annual Series of Land Use and Land Cover Maps of Brazil. <https://mapbiomas.org/en>.*
11. *FAOSTAT. Food and Agriculture Organization. FAOSTAT Statistical Database. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.*
12. *DeFries, R. S., Rudel, T., Uriarte, M. & Hansen, M. Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. Nat. Geosci. 3, 178-181 (2010).*
13. *Zalles, V. et al. Near doubling of Brazil's intensive row crop area since 2000. Proc. Natl. Acad. Sci. 116, 428-435 (2019).*
14. *Kastens, J. H., Brown, J. C., Coutinho, A. C., Bishop, C. R. & Esquerdo, J. C. D. M. Soy moratorium impacts on soybean and deforestation dynamics in Mato Grosso, Brazil. PLoS One 12, e0176168 (2017).*
15. *Heilmayr, R., Rausch, L. L., Munger, J. & Gibbs, H. K. Brazil's Amazon Soy Moratorium reduced deforestation. Nat. Food 1, 801-810 (2020).*
16. *IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Agricultural Production at County Level: Produção Agrícola Municipal. [www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp](http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp).*
17. *CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. [www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br).*

18. Zanon, A. J., Streck, N. A. & Grassini, P. *Climate and management factors influence Soybean yield potential in a subtropical environment. Agron. J.* 108, 1447-1454 (2016).
19. Grassini, P. et al. *Soybean. in In Crop Physiology Case Histories for Major Crops 289-319 (Academic Press, 2021).*
20. Tagliapietra, E. L. et al. *Biophysical and management factors causing yield gap in soybean in the subtropics of Brazil. Agron. J.* 113, 1882-1894 (2021).
21. Battisti, R. et al. *Rules for grown soybean-maize cropping system in Midwestern Brazil: Food production and economic profits. Agric. Syst.* 182, 102850 (2020).
22. Martha, G. B., Alves, E. & Contini, E. *Land-saving approaches and beef production growth in Brazil. Agric. Syst.* 110, 173-177 (2012).
23. Cohn, A. S. et al. *Cattle ranching intensification in Brazil can reduce global greenhouse gas emissions by sparing land from deforestation. Proc. Natl. Acad. Sci.* 111, 7236-7241 (2014).
24. de Oliveira Silva, R. et al. *Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. Agric. Syst.* 153, 201-211 (2017).
25. de Oliveira Silva, R., Barioni, L. G., Queiroz Pellegrino, G. & Moran, D. *The role of agricultural intensification in Brazil's Nationally Determined Contribution on emissions mitigation. Agric. Syst.* 161, 102-112 (2018).
26. Arantes, A. E., Couto, V. R. de M., Sano, E. E. & Ferreira, L. G. *Livestock intensification potential in Brazil based on agricultural census and satellite data analysis. Pesqui. Agropecuária Bras.* 53, 1053-1060 (2018).
27. Gil, J. D. B. et al. *Tradeoffs in the quest for climate smart agricultural intensification in Mato Grosso, Brazil. Environ. Res. Lett.* 13, 064025 (2018).
28. Strassburg, B. B. N. et al. *When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. Glob. Environ. Chang.* 28, 84-97 (2014).
29. Sentelhas, P. C. et al. *The soybean yield gap in Brazil - magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. J. Agric. Sci.* 153, 1394-1411 (2015).
30. de Souza Nóia Júnior, R. & Sentelhas, P. C. *Yield gap of the double-crop system of main-season soybean with off-season maize in Brazil. Crop Pasture Sci.* 71, 445 (2020).
31. Gibbs, H. K. et al. *Brazil's Soy Moratorium. Science (80-. ).* 347, 377-378 (2015).
32. Carlson, K. M. et al. *Effect of oil palm sustainability certification on deforestation and fire in Indonesia. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 115, 121-126 (2018).
33. Nemecek, T. et al. *World Food LCA Database: Methodological guidelines for the life cycle inventory of agricultural products. Version 3.5.* 88 (2019).
34. *Global Yield Gap and Water Productivity Atlas.* <https://www.yieldgap.org>.
35. van Bussel, L. G. J. et al. *From field to atlas: Upscaling of location-specific yield gap estimates. F. Crop. Res.* 177, 98-108 (2015).



36. Grassini, P. et al. *How good is good enough? Data requirements for reliable crop yield simulations and yield-gap analysis. F. Crop. Res. 177, 49-63 (2015).*
37. Jones, J. W. et al. *The DSSAT cropping system model. European Journal of Agronomy vol. 18 (2003).*
38. Yang, H. *Hybrid-maize-a maize simulation model that combines two crop modeling approaches. F. Crop. Res. 87, 131-154 (2004).*
39. Cooper, M., Mendes, L. M. S., Silva, W. L. C. & Sparovek, G. *A National Soil Profile Database for Brazil Available to International Scientists. Soil Sci. Soc. Am. J. 69, 649-652 (2005).*
40. *Brazilian Institute of Meteorology (INMET). <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inmet>.*
41. Byerlee, D., Stevenson, J. & Villoria, N. *Does intensification slow crop land expansion or encourage deforestation? Glob. Food Sec. 3, 92-98 (2014).*
42. Laurance, W. F., Goosem, M. & Laurance, S. G. W. *Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. Trends Ecol. Evol. 24, 659-669 (2009).*
43. Searchinger, T. et al. *Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change. Science (80-. ). 319, 1238-1240 (2008).*
44. Bonini, I. et al. *Collapse of ecosystem carbon stocks due to forest conversion to soybean plantations at the Amazon-Cerrado transition. For. Ecol. Manage. 414, 64-73 (2018).*
45. *IPPC. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use: Mapping Tables. Texts Wait. Hist. 1-48 (2019).*
46. Dionizio, E. A., Pimenta, F. M., Lima, L. B. & Costa, M. H. *Carbon stocks and dynamics of different land uses on the Cerrado agricultural frontier. PLoS One 15, e0241637 (2020).*
47. Bernoux, M., da Conceição Santana Carvalho, M., Volkoff, B. & Cerri, C. C. *Brazil's Soil Carbon Stocks. Soil Sci. Soc. Am. J. 66, 888-896 (2002).*
48. *Brazil. Ministry of Science, T. and I. S. of P. and P. & Change., of R. and D. G. C. of G. C. Third National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change - Volume III/ Ministry of Science, Technology and Innovation. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação,. (2016).*
49. Brentrup, F., Lammel, J., Stephani, T. & Christensen, B. *Updated carbon footprint values for mineral fertilizer from different world regions. 11th Int. Conf. Life Cycle Assess. Food 2018 (LCA Food) conjunction with 6th LCA AgriFood Asia 7th Int. Conf. Green Sustain. Innov. "Global food challenges Towar. Sustain. Consum 2018, 19-22 (2018).*
50. Lal, R. *Carbon emission from farm operations. Environ. Int. 30, 981-990 (2004).*
51. Escobar, N. et al. *Spatially-explicit footprints of agricultural commodities: Mapping carbon emissions embodied in Brazil's soy exports. Glob. Environ. Chang. 62, 102067 (2020).*

52. Andrade, J. F. et al. *Impact of urbanization trends on production of key staple crops. Ambio* (2021) doi:10.1007/s13280-021-01674-z.
53. Fehr, W. R., Caviness, C. E., Burmood, D. T. & Pennington, J. S. *Stage of development descriptions for soybean, Glycine max (L.) Merrill. Crop Sci.* 929-931 (1971).
54. Ritchie, J. . & Hanway, J. . *How a corn plant develops. Iowa State Univ. Sci. Technol. Coop. Ext. Serv. Ames, IOWA. Spec. Rep.* 48. (1982).
55. Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B. & Kent, J. *Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature* 403, 853-858 (2000).
56. Buainain, A. ., Favareto, A., Contini, E., Chaves, F. T. & Henz, G. P. *Desafios para a agricultura nos biomas brasileiros. Journal of Chemical Information and Modeling* vol. 53 (2020).
57. *Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. (Embrapa Informação Tecnológica, 2008).*
58. Castro, A. A. J. F., Martins, F. R., Tamashiro, J. Y. & Shepherd, G. J. *How Rich is the Flora of Brazilian Cerrados? Ann. Missouri Bot. Gard.* 86, 192 (1999).
59. Bridgewater, S., Ratter, J. A. & Felipe Ribeiro, J. *Biogeographic patterns, -diversity and dominance in the cerrado biome of Brazil. Biodivers. Conserv.* 13, 2295-2317 (2004).
60. Dirzo, R. & Raven, P. H. *Global State of Biodiversity and Loss. Annu. Rev. Environ. Resour.* 28, 137-167 (2003).
61. Mantovani, W. *A degradação dos biomas brasileiros. in Patrimônio ambiental brasileiro (ed. Ribeiro, W. C.) 367-439 (Editora Universidade de São Paulo, São Paulo., 2003).*
62. Oliveira-Filho, A. T. & Fontes, M. A. L. *Patterns of Floristic Differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the Influence of Climate1. Biotropica* 32, 793-810 (2000).
63. Overbeck, G. E. et al. *Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* 9, 101-116 (2007).
64. Evans, L. T. *Crop evolution, adaptation and yield. (Cambridge University Press, 1993).*
65. van Ittersum, M. K. et al. *Yield gap analysis with local to global relevance-A review. F. Crop. Res.* 143, 4-17 (2013).
66. Lobell, D. B., Cassman, K. G. & Field, C. B. *Crop yield gaps: Their importance, magnitudes, and causes. Annu. Rev. Environ. Resour.* 34, 179-204 (2009).
67. Cassman, K. G., Dobermann, A., Walters, D. T. & Yang, H. *Meeting Cereal Demand While Protecting Natural Resources and Improving Environmental Quality. Annu. Rev. Environ. Resour.* 28, 315-358 (2003).
68. Institute, I. F. P. R. *Global Spatially-Disaggregated Crop Production Statistics Data for 2010 Version 2.0. doi:10.7910/DVN/PRFF8V.*
69. van Wart, J. et al. *Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. F. Crop. Res.* 143, 44-55 (2013).

70. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 - Crop Evapotranspiration*. (1998).
71. Aramburu Merlos, F. et al. *Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps*. *F. Crop. Res.* 184, 145-154 (2015).
72. Monteiro, L. A., Sentelhas, P. C. & Pedra, G. U. *Assessment of NASA/POWER satellite-based weather system for Brazilian conditions and its impact on sugarcane yield simulation*. *Int. J. Climatol.* 38, 1571-1581 (2018).
73. *NASA LaRC POWER Project*. <https://power.larc.nasa.gov/>.
74. Pivetta, L. A., Castoldi, G., dos Santos, G. P. & Rosolem, C. A. *Crescimento e atividade de raízes de soja em função do sistema de produção*. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 46, 1547-1554 (2011).
75. Battisti, R. et al. *Assessment of soybean yield with altered water-related genetic improvement traits under climate change in Southern Brazil*. *Eur. J. Agron.* 83, 1-14 (2017).
76. Franchini, J. C., Junior, A. A. B., Debiasi, H. & Nepomuceno, A. L. *Root growth of soybean cultivars under different water availability conditions*. *Semin. Agrar.* 38, 715-724 (2017).
77. Tomasella, J., Hodnett, M. G. & Rossato, L. *Pedotransfer Functions for the Estimation of Soil Water Retention in Brazilian Soils*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 327-338 (2000).
78. Reichardt, K. et al. *Critical analysis of the field determination of soil hydraulic conductivity functions using the flux-gradient approach*. *Soil Tillage Res.* 48, 81-89 (1998).
79. Tomasella, J. & Hodnett, M. *Pedotransfer functions for tropical soils*. in *Development of Pedotransfer Functions in Soil Hydrology* vol. 30 415-429 (Elsevier, 2004).
80. Ribeiro, B. & Zanon, A. J. *Ecofisiologia do Milho: visando altas produtividades*.
81. Roquetti, D. *Potencial de produção de grãos brasileiros via fertilização e impactos nas emissões co2 eq*. [http://anda.org.br/wp-content/uploads/2018/10/Dissertacao\\_David\\_Roquetti\\_Filho.pdf](http://anda.org.br/wp-content/uploads/2018/10/Dissertacao_David_Roquetti_Filho.pdf) (2014).
82. *Embrapa Milho e Sorgo*. <https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/biblioteca/acervo>.
83. *Embrapa Solos*. <https://www.embrapa.br/solos/publicacoes>.
84. *Embrapa Soja*. <https://www.embrapa.br/soja/publicacoes>.
85. *IPNI Estimates of Nutrient Uptake and Removal*. <http://www.ipni.net/article/IPNI-3296>.
86. Zhang, X. et al. *Managing nitrogen for sustainable development*. *Nature* 528, 51-59 (2015).

# ANOMALIAS NA PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DE FATORES EDAFOCLIMÁTICOS

**Frank Freire Capuchinho**<sup>1</sup>; **Derblai Casaroli**<sup>2</sup>; **Kedinna Dias de Sousa**<sup>1</sup>; **Christian Hendrik Renner**<sup>1</sup>; **Maxuel Fellipe Nunes Xavier**<sup>1</sup>; **José Alves Júnior**<sup>2</sup>; **Adão Wagner Pêgo Evangelista**<sup>2</sup>; **Gustavo Henrique Mendes Brito**<sup>3</sup>; **Yasmim Gabriely Vieira**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bolsista. Av. Esperança, S/N, Campus Samambaia, CEP: 74.690-900, Goiânia, Goiás. Universidade Federal de Goiás; <sup>2</sup>Docente. Av. Esperança, S/N, Campus Samambaia, CEP: 74.690-900, Goiânia, Goiás. Universidade Federal de Goiás; <sup>3</sup>Discente. Av. Esperança, S/N, Campus Samambaia, CEP: 74.690-900, Goiânia, Goiás. Universidade Federal de Goiás

## RESUMO

O Brasil é o principal produtor da cana-de-açúcar, ocupando a 24ª posição no ranking global em termos de produtividade média, enquanto o estado de Goiás é responsável pela 2ª maior produtividade da região centro-oeste, demonstrando "gaps" os quais podem estar associados às condições edafoclimáticas desfavoráveis e/ou da falta de aplicação de tecnologias adequadas. Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a variabilidade espacial e temporal da produtividade da cana-de-açúcar com as condições edafoclimáticas de municípios goianos. Para isso, municípios goianos produtores de cana-de-açúcar de Formosa, Niquelândia e Paraúna foram estudados, utilizando dados históricos (47 anos) de produtividade real ( $Y_r$ ) os quais foram removidas as tendências tecnológicas ( $Y_{rST}$ ). Para cada local também foram obtidos os dados climáticos e de solo. A produtividade do município de Paraúna apresentou maiores acréscimos interanuais na  $Y_r$  ( $0,74 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) devido ao nível tecnológico e a maior média de  $Y_{rST}$  ( $70 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) em função de fatores edafoclimáticos. Paraúna também resultou em maiores ocorrências (23% dos anos) de anomalias na  $Y_{rST}$  inferiores a um desvio-padrão ( $\sigma$ ), evidenciando que as condições ambientais bem como a falta de tecnologias adequadas nos processos produtivos podem causar prejuízos no rendimento da cultura.

**PALAVRAS-CHAVE:** Saccharum spp.; agrometeorologia; tendência tecnológica;

## INTRODUÇÃO

O setor sucroenergético desempenha um papel fundamental no desenvolvimento socioeconômico da região produtora (SCHEUER & NEVES, 2017; MAIA JÚNIOR et al., 2020; SANTOS & SILVA, 2015). O Brasil é o maior produtor mundial, no entanto, sua produtividade média ( $75,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) está apenas em 24º lugar no ranking global (FAO, 2022). Em termos nacionais, o estado de São Paulo é o maior produtor, com 322.020,6 mil t e rendimento de  $77,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ , seguido de Minas Gerais com 78.114,93 mil t e produtividade de  $81,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ , e Goiás que ocupa a terceira maior produção nacional de 72.684,8 mil t e a segunda maior produtividade da região centro-oeste, em cerca de  $77,6 \text{ Mg ha}^{-1}$  (CONAB, 2023).

Essas diferenças podem estar relacionadas a diversos fatores, como condições edafoclimáticas desfavoráveis (GOBO et al., 2018a, 2018b), falta de aplicação de tecnologias adequadas ao longo do ciclo (CARMO JÚNIOR et al., 2021; PANNUTI et al., 2013), manejo inadequado do solo (BISPO et al., 2017; DINIZ et al., 2021; SIMÕES et al., 2021; LIRA et al., 2018), fatores socioeconômicos (CEGLAR et al., 2016; BERNARDO et al., 2020) e políticas públicas (RODRIGO-COMINO et al., 2022). No entanto, estudar a variabilidade da produtividade da cana-de-açúcar no tempo e no espaço pode ser uma tarefa complexa (LU et al., 2017; JIN et al., 2020), pois as condições ambientais provocam alterações físico-químicas e morfológicas nas espécies vegetais (SILVA et al., 2020).

De acordo com Silva et al. (2021a), a radiação solar tem papel fundamental na produção de fitomassa e evapotranspiração, enquanto que a temperatura do ar e a precipitação influenciam no desenvolvimento fisiológico vegetal, épocas de semeadura e colheita, produtividade e zonas de risco

*climático. A umidade do ar também é importante na produção agrícola, estando presente em processos como evapotranspiração, formação de nuvens e chuva (PEREIRA et al., 2007; SILVA et al., 2021). Já os ventos podem ser benéficos, atuando na troca de energia e suprimento de dióxido de carbono, ou prejudiciais, causando acamamento das plantas, evapotranspiração excessiva e fechamento estomático (MORAIS et al., 2014; ATAÍDE et al., 2015; PUTTI et al., 2017).*

*No que se refere ao solo, o tipo, a textura, as características físico-hídricas e o manejo são determinantes para garantir a disponibilidade de oxigênio e o desenvolvimento do sistema radicular, bem como para minimizar perdas de nutrientes e água por lixiviação, evaporação ou baixa absorção pelas plantas (OLIVEIRA FILHO et al., 2015; SIMÕES et al., 2021; LIRA et al., 2018).*

*Assim, realizar a remoção da tendência possibilita aplicações úteis, identificar padrões em características ambientais e de produtividade para orientar programas de melhoramento genético (HEINEMANN & SENTELHAS, 2011; CEGLAR et al., 2017). Além disso, a remoção da influência tecnológica sobre a produtividade pode ajudar a detectar indícios de instabilidade da produção (IKUEMONISAN et al., 2020; KALIA et al., 2021), a ocorrência de anomalias e variabilidade no rendimento das lavouras bem como permitir um planejamento mais adequado às condições ambientais do local de cultivo.*

## **OBJETIVOS**

*Analisar os efeitos edafoclimáticos e a tendência tecnológica na produtividade da cana-de-açúcar para os municípios goianos de Formosa, Niquelândia e Paraúna.*

## **MATERIAL E MÉTODOS**

*As informações de solos de cada município foram obtidas no Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA, 2022), sendo as médias das frações de argila ( $g\ kg^{-1}$ ), silte ( $g\ kg^{-1}$ ), areia ( $g\ kg^{-1}$ ), capacidade de troca catiônica (CTC,  $cmol_c\ dm^{-3}$ ), pH em  $H_2O$ , carbono orgânico (CO,  $g\ kg^{-1}$ ) e os percentuais de área ocupada de cada tipo de solo considerando o território total do município e, posteriormente, foram identificadas as classes de solo predominante, considerando o maior percentual dentro do município. Para a remoção da tendência tecnológica da produtividade da cana-de-açúcar, inicialmente foi ajustado um modelo de regressão linear simples, para cada município, considerando a série histórica de 1974 a 2020 (Eq. [1])(LU et al., 2017; MICHEL & MAKOWSKI, 2013; ARSEGO et al., 2019).*

*O estudo foi realizado em três municípios localizados no estado de Goiás e produtores de cana-de-açúcar, os quais possuem dados de produtividade (SIDRA, 2022), de variáveis climáticas diárias (XAVIER et al., 2022) e de solo (BDIA, 2022). Os municípios considerados foram Formosa, Niquelândia e Paraúna (Tabela 1).*

*Tabela 1: Municípios estudados, estado da federação, região geográfica do município no estado, coordenadas geográficas (altitude, longitude e latitude), intensidade de cultivo (área plantada/área do município, em 2021), para uma série histórica de produtividade correspondente ao período de 1974 a 2020, classificação climática de Köppen, tipo de solo e área ocupada pelo solo.*

Município	Estado	Região	Alt (m)	Long. (graus)	Lat. (graus)	IC	Clima	Solo	As (%)
Formosa	GO	Leste	923	-47,3	-15,5	0.00224	Aw	LV	43,7
								CX	28,9

Niquelândia	GO	Norte	578	-48,5	-14,5	0.00004	Aw	CX	58,7
Paraúna	GO	Sul	700	-50,5	-16,9	0.03961	Aw	LV	62,2

*Alt.: altitude; Long.: longitude; Lat.: latitude; IC: intensidade de cultivo; As (%) área ocupada pelo solo. Fonte: SIDRA (2022); INMET (2022); IBGE (2022).*

*Foram obtidos dados diários das variáveis agrometeorológicas de evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ,  $mm\ dia^{-1}$ ), temperatura do ar máxima ( $T_M$ , em  $^{\circ}C$ ), mínima ( $T_m$ ,  $^{\circ}C$ ) e média ( $T_a$ ,  $^{\circ}C$ ), umidade relativa do ar ( $UR$ , em %), velocidade do vento ( $u_2$ , em  $m\ s^{-1}$ ), radiação solar ( $R_s$ , em  $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ ) e precipitação pluvial ( $P$ , em  $mm\ dia^{-1}$ ), a partir do banco de dados estimados por Xavier et al. (2022), com resolução espacial em grade de  $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$ . Além disso, foram identificadas as classificações climáticas de Köppen para cada município estudado (ALVARES et al., 2013).*

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + e_t \quad [1]$$

*sendo  $Y_t$  a produtividade da cana-de-açúcar no tempo  $t$ ,  $t$  é o ano de observação (variável independente),  $\beta_0$  e  $\beta_1$  são, respectivamente, os coeficientes linear e angular da equação,  $e_t$  é o erro dos resíduos considerando a diferença entre  $Y_t$  e a tendência linear (MICHEL & MAKOWSKI, 2013).*

*Após a identificação da tendência linear, foi aplicado separadamente para cada município, a remoção da tendência tecnológica, conforme demonstrado pela Eq.[2] (WENJIAO et al., 2013, ARSEGO et al., 2019).*

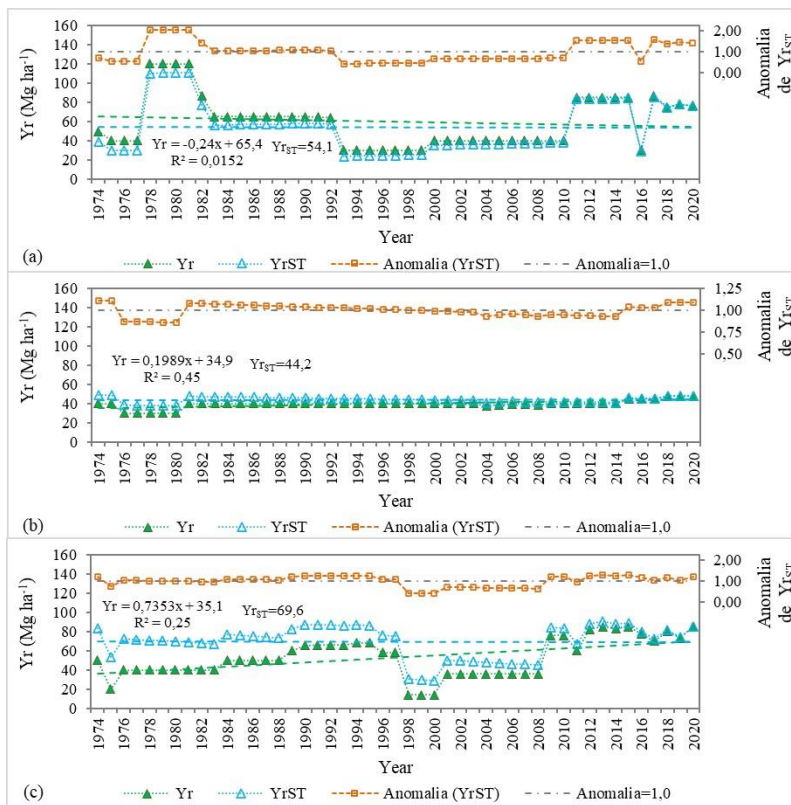
$$Y_{ci} = Y_i - Y_{xi} + Y_{xf} \quad [2]$$

*em que  $Y_{ci}$  é a produtividade corrigida no ano  $i$ ,  $Y_i$  é a produtividade original do ano  $i$ ,  $Y_{xi}$  é a produtividade do ano  $i$  estimada pelo modelo de regressão  $Y_t$ ,  $Y_{xf}$  é a produtividade do último ano da série estimada por meio da segunda regressão linear para que a série coincida no último valor (ARSEGO et al., 2019).*

*Após a remoção da tendência tecnológica, foram obtidos as médias e os desvios-padrão ( $\sigma$ ) (BENZATTO & KRONKA, 2006), visando detectar a ocorrência de anomalias ( $\pm 1\sigma$ ). Posteriormente foram identificadas as maiores anomalias superiores e inferiores aos desvios-padrão, considerando a série história (1974-2020) bem como o ano/safra em que ocorreram. As análises de medidas descritiva, de dispersão e variação percentual, bem como a remoção da tendência tecnológica nos dados de produtividade, foram realizadas utilizando o Software R versão 4.0.3. A obtenção dos percentuais dos tipos de solos em cada município foi realizada no Software QGIS versão 3.16.1 e com auxílio de planilhas eletrônicas.*

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

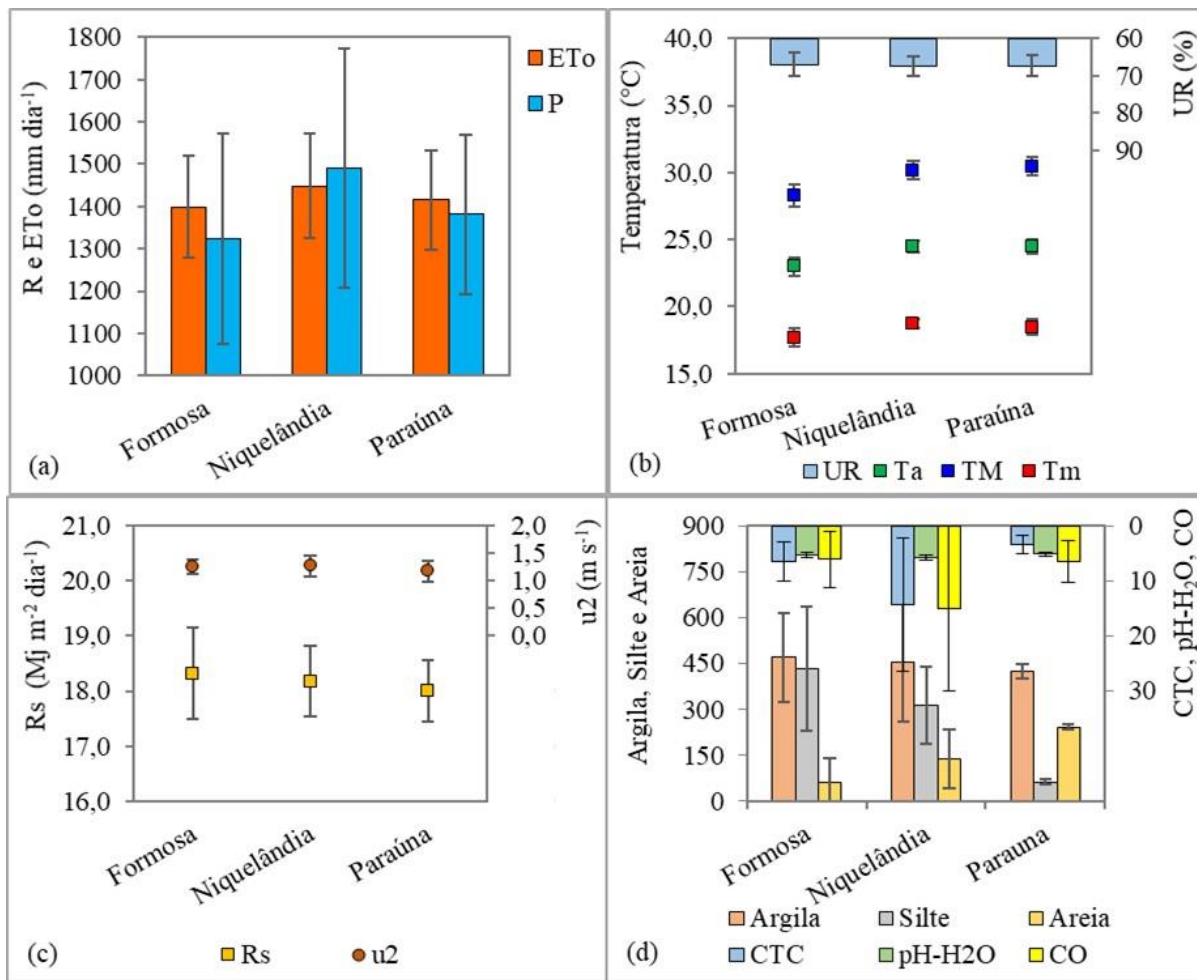
*A produtividade da cana-de-açúcar ( $Y_r$ ) em Formosa apresenta tendência de redução anual (Figura 1a) em cerca de  $0,24\ Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$  e de  $11,28\ Mg\ ha^{-1}$  ao longo do período avaliado (1974 a 2020). Verifica-se uma estabilização da produtividade após a remoção da tendência tecnológica ( $Y_{rST}$ ) entre os anos de 1983 e 1991, com média da  $Y_{rST}$  de  $54,1\ Mg\ ha^{-1}$ . Ao contrário de Formosa, os municípios de Niquelândia (Figura 1b) e Paraúna (Figura 1c) apresentam tendência de aumento na  $Y_r$  ao longo do tempo avaliado, entretanto, em proporções diferentes.*



**Figura 1:** Produtividade real ( $Y_r$ ,  $Mg\ ha^{-1}$ ) da cana-de-açúcar, produtividade após a remoção da tendência tecnológica ( $Y_{rST}$ ,  $Mg\ ha^{-1}$ ) e anomalias na produtividade em a tendência tecnológica ( $Y_{rST}/Y_{rST}$ ) para municípios no estado de Goiás: (a) Formosa, (b) Niquelândia e (c) Paraúna, para uma série histórica de 47 anos (1974-2020).

Niquelândia resultou em aumento anual em cerca de  $0,20\ Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$  indicando para o período o acréscimo da  $Y_r$  em aproximadamente  $9,3\ Mg\ ha^{-1}$ , o segundo maior, com estabilidade na  $Y_r$  e  $Y_{rST}$ , e anomalias nos anos de 1991 a 2003, o maior período consecutivo (Figura 1b). Já Paraúna, foi o município que resultou em maior aumento anual da  $Y_r$  ( $0,74\ Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ), em cerca de  $34,5\ Mg\ ha^{-1}$  para o período avaliado, demonstrando maior estabilidade na produtividade nos anos de 1976 a 1988, 1996, 1997, 2011, 2017 e 2019 (Figura 1c).

Em termos de caracterização anual das variáveis agrometeorológicas (Figura 2), o município de Niquelândia é o que apresenta maior disponibilidade hídrica ( $P=1490\ mm\ ano^{-1}$ ) e evapotranspiração de referência ( $ET_o=1449\ mm\ ano^{-1}$ ). São verificadas maiores  $ET_o$  quando comparado a  $P$ , para Paraúna ( $ET_o = 1416\ mm\ ano^{-1}$  e  $P = 1382\ mm\ ano^{-1}$ ) e Formosa ( $ET_o = 1398\ mm\ ano^{-1}$  e  $P = 1324\ mm\ ano^{-1}$ ), respectivamente (Figura 2a).



**Figura 2:** Características edafoclimáticas para os municípios (Formosa, Niquelândia e Paraúna) localizados no estado de Goiás de (a) evapotranspiração de referência ( $ETo$ ,  $mm\ ano^{-1}$ ) e precipitação ( $P$ ,  $mm\ ano^{-1}$ ); (b) temperatura máxima ( $T_M$ ,  $^{\circ}C$ ), média ( $T_a$ ,  $^{\circ}C$ ) e mínima ( $T_m$ ,  $^{\circ}C$ ), umidade relativa do ar ( $UR$ , %); (d) radiação solar ( $R_s$ ,  $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ ) e velocidade do vento ( $u_2$ ,  $m\ s^{-1}$ ); (e) frações de argila ( $g\ kg^{-1}$ ), silte ( $g\ kg^{-1}$ ), areia ( $g\ kg^{-1}$ ), capacidade de troca catiônica ( $CTC$ ,  $cmol_c\ dm^{-1}$ ), pH em  $H_2O$ , carbono orgânico ( $CO$ ,  $g\ kg^{-1}$ ). Barras verticais indicam os desvios-padrão ( $\sigma$ ).

Em média a umidade relativa ( $UR$ ) não apresentou variação acentuada entre os municípios, oscilando em torno de  $67\pm 2,6$  (Niquelândia) a  $67\pm 3,1\%$  (Formosa) (Figura 2b). Esta mesma característica é observada para a temperatura do ar máxima ( $T_M$ ), média ( $T_a$ ) e mínima ( $T_m$ ), no qual Niquelândia ( $T_M=30,1\pm 0,8$ ;  $T_a=24,5\pm 0,5$ ;  $T_m=18,8\pm 0,3^{\circ}C$ ) e Paraúna ( $T_M=30,5\pm 0,7$ ;  $T_a=24,5\pm 0,6$ ;  $T_m=18,5\pm 0,6^{\circ}C$ ) resultaram em valores próximos. No entanto, Formosa apresenta como característica menores valores de  $T_M$  ( $28,3\pm 0,8^{\circ}C$ ),  $T_a$  ( $23,0\pm 0,7^{\circ}C$ ) e  $T_m$  ( $17,7\pm 0,7^{\circ}C$ ) (Figura 2b).

De maneira geral, tanto a radiação solar ( $R_s$ ) quanto a velocidade do vento ( $u_2$ ) apresentam valores próximos entre os municípios de Formosa ( $R_s = 18,3\ MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$  e  $u_2=1,3\ ms^{-1}$ ) e Niquelândia ( $R_s = 18,2\ MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$  e  $u_2=1,3\ ms^{-1}$ ), no qual Paraúna apresenta em média menores valores da  $R_s$  e  $u_2$  em cerca de  $18,0\ MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$  e  $1,2\ ms^{-1}$  (Figura 2c). Avaliando as médias anuais verifica-se que todos os municípios resultaram em disponibilidade média de  $P>1000\ mm\ ano^{-1}$  (Figura 2a) conforme o recomendado para a cultura, a qual necessita de uma demanda hídrica variando entre 1000 a 2500 mm bem distribuídas ao longo do ciclo (MARIN & NASSIF, 2013; DOORENBOS & KASSAM, 1994).



*Neste contexto, com exceção de Formosa, os municípios (Figura 2b) apresentaram temperaturas superiores a 21°C, estando no intervalo (19 a 35 °C) de exigência média para a cana-de-açúcar (MARIN & NASSIF, 2013, FERREIRA JÚNIOR et al., 2012). Em termos de UR, Formosa e Paraúna (Figura 2b) apesar de apresentarem valores semelhantes, resultaram em maiores ETo, no qual Silva et al. (2021) e Castro et al. (2020) explicam que isso ocorre em decorrência da reduzida concentração de vapor de água na atmosfera. Todos os municípios (Figura 2c) atingiram o limiar mínimo (18 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) de Rs para o crescimento e desenvolvimento adequado da cultura (MARAFON, 2012; ARAÚJO et al., 2017), no qual a u<sub>2</sub> apresentou médias próximas entre os municípios.*

*Em termos de propriedades físico-químicas dos solos, verifica-se que o município com tendência a redução da produtividade da cana-de-açúcar é caracterizado por apresentar uma maior proporção de argila (470 g kg<sup>-1</sup>) e silte (146 g kg<sup>-1</sup>), bem como uma menor de areia (62,2 g kg<sup>-1</sup>), com capacidade de troca catiônica (CTC), pH em H<sub>2</sub>O e carbono orgânico no solo (C.O.) nos valores de 6,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, 5,3 e 6,1 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 2d). No caso de Niquelândia, que apresenta menor média da Yr<sub>ST</sub>, caracteriza-se por apresentar a 2<sup>a</sup> maior proporção de argila e silte (452,5 e 313 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente) bem como maior fração de areia (137,28 g kg<sup>-1</sup>) quando comparado aos outros municípios. Isso também ocorre para as características químicas, sendo mais elevadas, com CTC em cerca de 14,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, pH de 5,7 e C.O. ? 15,0 g kg<sup>-1</sup>. Já Paraúna, o município que resultou em maior média da Yr<sub>ST</sub> bem como maior aumento interanual da Yr, apresenta em média frações elevadas de argila e areia, bem como menores de silte, respectivamente de 425,0 g kg<sup>-1</sup>, 242,5 g kg<sup>-1</sup> e 62,5 g kg<sup>-1</sup>; no qual as frações químicas de CTC (3,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), pH (5,2) e C.O. (3,8 h kg<sup>-1</sup>) são menores quando comparado a Niquelândia.*

*Em relação aos solos, a predominância do Latossolo em Paraúna e em parte de Formosa pode estar relacionada com maior retenção de água em função do arranjo estrutural gerando maior porosidade total (COGO & COGO, 2019). Dessa maneira, Freitas et al. (2017) obtiveram para a área produzida com cana-de-açúcar, fração de argila de 302 g kg<sup>-1</sup>, para um Latossolo Vermelho distrófico de textura franco-argilo-arenosa, valor menor aos observados para todos os municípios (Figura 2d). Já Rosset et al. (2014) obtiveram valores para um Latossolo Vermelho com frações de argila variando entre 537 e 650 g kg<sup>-1</sup> (superiores a todos os municípios) e de silte entre 150 e 302 g kg<sup>-1</sup>, superiores aos obtidos para Paraúna e inferiores aos obtidos em Formosa e Niquelândia. Dessa maneira, os resultados dos autores para a fração de areia variaram entre 132 e 250 g kg<sup>-1</sup>, dentro da faixa para Niquelândia e Paraúna (Figura 2d). Neste sentido, o estudo realizado por Carvalho et al. (2014) verificaram que a cana-de-açúcar atingiu produtividade dos colmos de 213,5 t ha<sup>-1</sup> em solos com maiores frações de argila (oscilando entre 391,5 a 466,8 g kg<sup>-1</sup>), areia (oscilando entre 374,9 a 458,3 g kg<sup>-1</sup>) e menores de silte (oscilando entre 150,2 a 158,3 g kg<sup>-1</sup>), padrões observados aos resultados obtidos em Paraúna.*

*A partir dos valores obtidos para a CTC observa-se resultados para Formosa superiores (Figura 2d) aos obtidos por Canellas et al. (2003) os quais variaram entre 7,8 e 12,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> em Cambissolo Háptico, enquanto para Formosa e Paraúna foram inferiores aos obtidos pelos autores. Freitas et al. (2015) ao realizarem a caracterização dos solos de áreas cultivadas com cana-de-açúcar, identificaram CTC variando na faixa de 5,93 a 8,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, dentro do intervalo para Formosa e superiores a Paraúna (Figura 2d).*

*Tanto Formosa quanto Paraúna apresentaram menor carbono orgânico (CO) no solo (Figura 2d) e no caso de Niquelândia, dentro da faixa aos resultados obtidos por Signor et al. (2014) que variaram entre 10,13 e 26,19 g kg<sup>-1</sup> em solo com sistema de colheita da cana-de-açúcar sem a queima. Já Almeida et al. (2016) obtiveram resultados na faixa de 5,73 a 10 g kg<sup>-1</sup>, dentro do intervalo aos observados em Formosa e Paraúna, no qual os autores observaram redução do CO em maiores profundidades e maior estoque de carbono para as áreas com 9 e 8 anos de cultivo.*

Dessa maneira, Prado et al. (2017) verificaram que a aplicação de vinhaça promoveu aumento de 4 Mg da cana-de-açúcar e melhorou a qualidade tecnológica da cultura. Assim, maiores valores de CO e CTC estão relacionados com a aplicação de fertilizantes orgânicos e promovem aumento na qualidade tecnológica e produtividade da cana (ROSSET et al., 2014; CANELLAS et al., 1999; RESENDE et al., 2006).

Em relação ao pH, verificou-se menores valores aos obtidos por Freitas et al. (2017) (entre 5,9 e 6,2), entretanto, todos os municípios resultaram em valores aos recomendados para a cultura (entre 4 e 8,5) (Figura 2d) (EMBRAPA, 2022, SANT'ANA, 2014; FREITAS et al., 2017).

Na Figura 3 observa-se uma maior proporção de ocorrências de anomalias na  $Yr_{ST}$  maiores que o desvio-padrão ( $\sigma$ ) em Formosa e Niquelândia, com 21 e 17%, respectivamente. No caso de Formosa, isso ocorre nos anos de 1978 a 1981 e de 2011 a 2017, com exceção do ano de 2016. Em relação a Niquelândia, as maiores anomalias da  $Yr_{ST}$  são observadas no período que compreende os anos de 1974, 1975, 1981, 1982, 1983, 1984, 2018, 2019 e 2020.

Quando se observa Paraúna, as anomalias da  $Yr_{ST}$  superiores ao  $\sigma$  são em cerca de 15% de ocorrências devido aos anos de 1990, 1991, 1994, 2013, 2014 e 2015. Os anos de 2012, 2013, 2014 e 2015 favoreceram anomalias positivas na  $Yr_{ST}$  em comum aos municípios de Formosa e Paraúna, enquanto somente o ano de 1981 resultou em maiores anomalias da  $Yr_{ST}$  entre Formosa e Niquelândia.

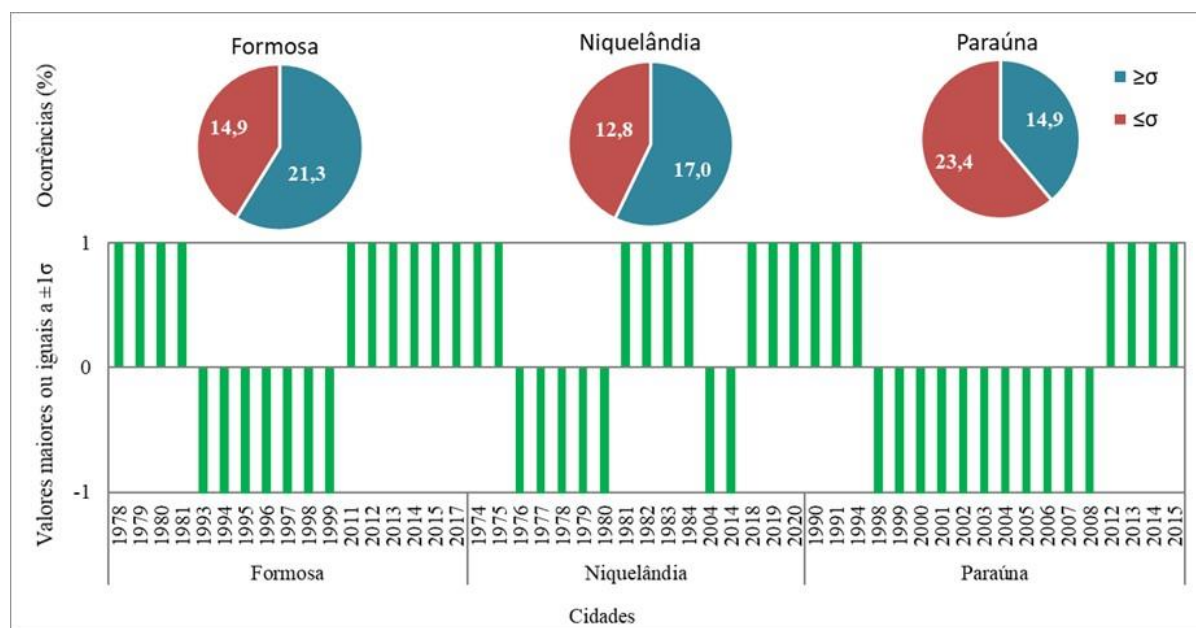


Figura 3: Percentuais de ocorrência de produtividades da cana-de-açúcar, sem a tendência tecnológica  $Yr_{ST}$ , com valores maiores, menores ou iguais a 1 desvio-padrão ( $\leq \sigma \geq$ ). Anos safra em que ocorreram valores de  $Yr_{ST}$  maiores, menores ou iguais 1 desvio-padrão ( $\leq \sigma \geq$ ), para municípios localizados no estado de Goiás.

Além do mais, verifica-se que necessariamente não ocorre um padrão em termos de anomalias entre os municípios, ou seja, em anos que proporcionaram anomalias positivas na  $Yr_{ST}$  para um local, resultou no oposto para outro município. Isso foi observado em 1978, 1979 e 1980 entre Formosa e Niquelândia que resultaram em anomalias superiores e inferiores respectivamente nestes locais. Este padrão também ocorre entre Formosa e Paraúna em 1994 e entre Niquelândia e Paraúna em 2014.

*Em síntese e conforme a Figura 3 verifica-se padrões que exemplificam a variabilidade espacial e temporal na  $Yr_{ST}$  em termos de anomalias, período e os locais em que em que ocorrem. Assim, tem-se anos em comum no qual ocorrem anomalias maiores e/ou menores que o  $\sigma$  entre os municípios, anos que favoreceram anomalias superiores ao  $\sigma$  para um local mas para outro município favoreceu o inverso e, anos em que ocorreram anomalias superiores e/ou inferiores ao  $\sigma$  em um município mas não se observa para outro local no mesmo período.*

*Além do mais, as anomalias máximas na  $Yr_{ST}$  (Figura 3) para Formosa na safra 80/81 esteve relacionada a ano neutro seguido de El Niño Moderado, enquanto em Niquelândia verifica-se El Niño Forte seguido de La Niña moderada na safra 73/74. No caso de Paraúna, o valor máximo de anomalia na  $Yr_{ST}$  ocorreu na safra 12/13 em ano neutro (INPE, 2023). Neste sentido, a ocorrência do fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul) é capaz de alterar as condições climáticas de uma determinada região, impactando especialmente no regime pluviométrico e nas temperaturas, podendo afetar o ciclo vegetativo das culturas bem como a sua produção (GOBO et al., 2018a).*

*Estudos realizados na região Sul e Nordeste do Brasil para a cana-de-açúcar verificaram que a La Niña favorece a estabilidade e o desenvolvimento da cultura, relacionando também em maiores produtividades (GOBO et al., 2018a; SILVA et al., 2021b). Vale destacar que estas regiões apresentam respostas bem definidas de temperatura e precipitação pluvial sob efeito do ENOS, no qual para os municípios localizados no estado de Goiás, os resultados deste estudo indicaram que as máximas anomalias da  $Yr_{ST}$  são favorecidas por anos neutros e/ou sob efeito de El Niño moderado/forte e La Niña moderada. Neste contexto, Iizumi et al. (2014) verificaram para as culturas do milho, trigo soja e arroz que o El Niño é responsável por resultar em maiores impactos positivos na Yr (entre 30 a 36%) e negativos (22 a 24%), quando comparado ao La Niña, que apresenta menores impactos positivos (entre 2 a 4%) bem como negativos (9-13%).*

## **CONCLUSÃO**

*A partir da remoção da tendência tecnológica na produtividade real (Yr) foi possível identificar variabilidade da produtividade entre municípios do estado de Goiás, em que Niquelândia apresentou menos influência tecnológica sobre o rendimento da cana-de-açúcar ao longo do tempo em relação a Paraúna. Assim, Paraúna resultou em maior média de produtividade após a remoção da tendência tecnológica ( $Yr_{ST} 70 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e Niquelândia resultou na menor média ( $44,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), enquanto Formosa demonstrou tendência de redução anual da Yr em aproximadamente  $0,24 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .*

*A produtividade do município de Paraúna que apresentou tanto a maior média de  $Yr_{ST}$  quanto maiores acréscimos anuais na Yr ( $0,74 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) devido a tecnologia, é favorecida por condições de precipitação em cerca de  $1382 \text{ mm ano}^{-1}$ , evapotranspiração de referência de  $1416 \text{ mm ano}^{-1}$ , temperaturas máxima de  $30,5^\circ\text{C}$ , média em torno de  $24,5^\circ$  e mínima com  $18,5^\circ\text{C}$ , radiação solar de  $18 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e velocidade do vento em torno de  $1,2 \text{ m s}^{-1}$ , bem como solos que apresentem maiores teores de argila e areia, com capacidade de troca catiônica em torno de  $3,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e carbono orgânico no solo de  $6,5 \text{ g kg}^{-1}$ .*

*Paraúna também resultou em maiores ocorrências (23% dos anos) de anomalias na  $Yr_{ST}$  inferiores ao desvio-padrão, evidenciando que as condições edafoclimáticas associadas à falta de tecnologias adequadas nos processos produtivos podem causar prejuízos no rendimento da cultura.*

## **AGRADECIMENTOS**

*À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo de doutorado concedida ao primeiro autor; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico*

*e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de estudo de doutorado concedida a terceira autora, de mestrado ao quarto e quinto autores, e de iniciação científica a nona autora; ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Goiás (PPGA-UFG) e aos professores e colaboradores do Núcleo de Pesquisa em Clima e Recursos Hídricos do Cerrado (NUCLIRH) pelo apoio técnico e científico no desenvolvimento do trabalho.*

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L.S.; FERREIRA, V.A.S.; FERNANDES, L.A.; FRAZÃO, L.A.; OLIVEIRA, A.L.G.; SAMPAIO, R.A. *Indicadores de qualidade do solo em cultivos irrigados de cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.51, n.9, p.1539-1547, 2016.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. *Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p.711-728, 2013.

ARAÚJO, R.M.; OLIVEIRA, R.A.; CUANDRA, S.V.; ALMEIDA, I.R.; WEBER, H. *Condições agrometeorológicas para perfilhamento máximo da cana-de-açúcar em dois ambientes distintos de produção. Agrometeoros*, v.25, n.1, p.157-264, 2017.

ARSEGO, D.A.; FERRAZ, S.E.T.; STRECK, N.A.; CARDOSO, A.O.; ZANON JÚNIOR, A. *Indicadores climáticos e a produtividade de soja no Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Meteorologia*, v.34, n.2, p.191-200, 2019.

ATAÍDE, G.M.; CASTRO, R.V.O.; CORREIA, A.C.C.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; ROSADO, A.M. *Interação árvore e ventos: aspectos ecofisiológicos e silviculturas. Ciência Florestal*, v.25, n.2, p.523-536, 2015.

**BANCO DE DADOS DE INFORMAÇÕES AMBIENTAIS.** *Banco de dados de informações ambientais, pedologia, 2022. Disponível em: < <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia> >. Acesso em: 25 de jul. de 2022.*

BENZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. *Experimentação Agrícola. 4ed. Jaboticabal: Funep, 2006. 237p.*

BERNARDO, R.; LORHEZANI, W.L.; SATOLO, E.G.; CALDAS, M.M. *Produtividade da cana-de-açúcar em Mato Grosso do Sul e Goiás: uma análise a partir da Visão Baseada em Recursos. Interações, Campo Grande*, v. 21, n. 2, p. 419-434, 2020.

BISPO, R.R.C.; HERNANDEZ, F.B.T.; TEIXEIRA, A.H.C. *Balanço hídrico e estimativa do consumo relativo de água da cultura da cana-de-açúcar na região Noroeste paulista. Irriga*, v.1, n.1, p.94-101, 2017.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. *Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, 1999, p. 69-89.*

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. *Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.27, p.935-944, 2003.

- CARMO JÚNIOR, J.C.; SANTOS, M.S.M.; CARMO, M.R.B.; SILVA, R.F.; BATISTOTE, M.** *Avaliação da produtividade e o perfil tecnológico de variedades de cana-de-açúcar da região da Grande Dourados. Brazilian Journal of Development*, v.7, n.12, p. 116449-116460, 2021.
- CARVALHO, L.A.; REZENDE, I.S.; PANACHUKI, E.; SILVA JÚNIOR, A.; NOVAK, E.; SILVA, G.F.C.** *Variáveis físicas do solo e produtividade de cana-de-açúcar sob sistemas de preparo na reforma de canavial. Agrarian Academy*, v.1, n.1, p.259, 2014.
- CASTRO, F.S.; COLATINA, A.C.; XAVIER, A.C.; PIMENTA, L.R.; VENÉCIA, C.N.; ELESBON, A.A.A.; COLATINA, C.** *Impactos das projeções de mudanças climáticas globais do IPCC no zoneamento agroclimático da cultura da cana-de-açúcar na América do Sul. Brazilian Journal Development*, v.6, n.5, p.28410-28427, 2020.
- CEGLAR, A.; TORETI, A.; LECERF, R.; VAN DER VELDE, M.; DENTENER, F.** *Impact of meteorological drivers on regional inter-annual crop yield variability in France. Agricultural and Forest Meteorology*, v.216, p.58-67, 2016.
- COGO, F.D.; COGO, F.A.D.** *Curva de retenção de água e condutividade hidráulica de três solos sob frutíferas perenes. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v.12, n.12, p.631-641, 2019.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB.** *Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. v. 11 - safra 2023/24, n. 1, p. 1-55. Brasília, DF, 2023.*
- DINIZ, M.A.; PEREIRA, J.; ULHÔA, J. L.; OLIVEIRA, A.; BORGES, M.V.** *Avaliação entomofauna do solo em cana-de-açúcar convencional em diferentes cortes. Brazilian Journal of Animal Environmental Research*, v.4, n.4, p.5903-5920, 2021.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H.** *Efeitos da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos fao: Irrigação E Drenagem, 33). Tradução de H.R. Gheyi, A.A. de Souza, F.A.V. Damasco, J.F. de Medeiros*
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.** *Solos do Brasil e a cana-de-açúcar. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pre-producao/caracteristicas/solo> >. Acesso em: 20 de nov de 2022.*
- FERREIRA JÚNIOR, R.A.; SOUZA, J.L.; LYRA, G.B.; TEODORO, I.; SANTOS, M.A.; PORFÍRIO, A.C.S.** *Crescimento e fotossíntese de cana-de-açúcar em função de variáveis biométricas e meteorológicas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.11, p.1229-1236, 2012.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. FAOSTAT. 2022.** *Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em: 22 set. 2022.*
- FREITAS, L.; CASAGRANDE, J.C.; OLIVEIRA, I.A.; CAMPOS, M.C.C.; OLIVEIRA, V.M.R.** *Atributos químicos de latossolo vermelho submetido a diferentes manejos. Revista Floresta*, v.45, n.2, p.229-240, 2015.
- FREITAS, L.; OLIVEIRA, I.A.; SILVA, L.S.; FRARE, J.C.V.; FILLA, V.A.; GOMES, R.P.** *indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. Unimar - Ciências*, v.26, n.1-2, p.8-25, 2017.
- GOBO, J. P. A.; DOMINGUES, I. A. S.; GALVANI, E.; WOLLMANN, C. A.** *Variabilidade climática em episódios ENOS na produtividade da cultura da cana-de-açúcar (Saccharum ssp.)*

*nos municípios de Cambé e Mirador/PR. Revista Brasileira de Climatologia, v.23, ano. 14, p.72-87, 2018a.*

*GOBO, J.P.A.; GALVANI, E.; WOLLMANN, C.A. Influência do clima regional sobre o clima local a partir do diagnóstico de abrangência espacial e extrapolação escalar. Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba, v. 22, p. 210-228, 2018b.*

*HEINEMANN, A.B.; SENTELHAS, P.C. Environmental group identification for upland rice production in central Brazil. Scientia Agrícola, v.38, n.5, p.540-547, 2011.*

*IIZUMI, T.; LUO, J.J.; CHALLINOR, A.J.; SAKURAI, G. YOKOZAWA, M. SAKUMA, H.; BROWN, M.E.; YAGAMATA, T. Impacts os El Niño Southern Oscillation on the global yields of major crops. Nature Communications, v.5, n.3712, p.1-7, 2014.*

*IKUEMONISAN, E.S.; MAFIMISEBI, T.E.; AJIBEFUN, I.; ADENEGAN, K. Cassava production in Nigeria: trends, instability and decomposition analysis (1970-2018). Heliyon, v.6, n.e05089, p. 1-9, 2020.*

*INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades, 2022. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em 27 set. 2022.*

*INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa, 2022. Disponível em: < <https://www.inmet.gov.br/> >. Acesso em: 25 de jul. de 2022.*

*INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. Condições atuais do ENOS: La Niña - INPE, 2022. Disponível em: < <http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em 13 de jan. 2023.*

*JIN, X.B.; YANG, N.X.; WANG, X.Y.; BAI, Y.T.; SU, T.L.; KONG, J.L. Hybrid Deep Learning predictor for smart agriculture sensing based on empirical mode decomposition and gated recurrent unit group model. Sensors, v.20, n.1334, p.1-20, 2020.*

*KALIA, A.; SHUKLA, G.; MISHRA, D.; MISHRA, B.P.; PATEL, R.R. Comparative trend analysis of mustard in Bundelkhand Region, Uttar Pradesh and India. Indian Journal of Extension Education, v.57, n.1, p.15-19, 2021.*

*LIRA, R.M.; GORDIN, L.C.; SILVA, E.F. de F.; SILVA, G.F.; DANTAS, D.C.; MORAIS, J.E.F. Leaching of cations in soil cultivated with sugarcane subjected to saline irrigation and leaching fractions. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 22, n.9, p.616-621, 2018.*

*LU, J.; CARBONE, GAO.P. Detrending crop yield data for spatial visualization of drought impacts in the United States, 1895-2014. Agricultural and Forest Meteorology, v. 237-238, p. 196-208, 2017.*

*MAIA JÚNIOR, S.O.; ANDRADE, J.R.; SANTOS, C.M.; SILVA, A.L.J.; ENDRES, L.; SILVA, J.V.; SILVA, L.K.S. Osmoregulators accumulation minimizes the effects of drought stress in sugarcane and contributes to the recovery of photochemical efficiency in photosystem II after rewatering. Acta Physiologiae Plantarum, v.42, n. 62, p.1-11, 2020.*

*MARAFON, A. C. Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29 p.*

MARIN, F.R.; NASSIF, D.S.P. *Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n.2, p.232-239, 2013.

MICHEL, L.; MAKOWSKI, D. *Comparison of statistical models for analyzing wheat yield time series. PLOS ONE*, v.8, n.10, p.1-11, 2013.

MORAIS, G.M.; ESPINÓLA SOBRINHO, J.; SANTOS, W.O.; COSTA, D.O.; SILVA, T.A.; MANIÇOBA, R.M. *Caracterização da velocidade e direção do vento em Mossoró/RN. Revista Brasileira de Geografia Física*, v.7, n.4, p. 746-754, 2014.

OLIVEIRA FILHO, F.X.; MIRANDA, N.O.; MEDEIROS, J.F.; SILVA, P.C.; MESQUITA, F.O.; COSTA, T.K.G. *Zona de manejo para preparo do solo na cultura da cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n.2, p.186-193, 2015.

PANNUTI, L.E.R.; BALDIN, E.L.L.; GAVA, G.J.C.; KÖLLN, O.T.; CRUZ, J.C.S. *Danos do complexo broca?podridão à produtividade e à qualidade da cana-de-açúcar fertirrigada com doses de nitrogênio. Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.48, n.4, p.381-387, 2013.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. *Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas. Apostila. USP/ESALQ, 2007, 192 p.*

PRADO, E.A.F.; VITORINO, A.C.T.; MAUAD, M.; ENSINAS, S.C.; PAIM, L.R. *Características tecnológicas da cana-de-açúcar sob aplicação de doses de vinhaça em Latossolo Vermelho distroférico. Revista de Ciências Agroveterinárias*, v.16, n.4, p.386-395, 2017.

PUTTI, F.F.; SILVA, A.L.C.; GABRIEL FILHO, L.R.A. *Tecnologias em agricultura sustentável. 1 ed. Tupã: NAP, 2017. 392p.*

RESENDE, A.S. DE; XAVIER, R.P.; OLIVEIRA, O.C. DE, URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDY, R.M. *Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugarcane and soil carbon nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco, NE, Brazil. Plant and Soil*, v. 281, n. 1-2, p. 339-351, 2006.

RODRIGO-COMINO, J.; SALVIA, R.; EGIDI, G.; SALVATI, L.; GIMÉNEZ-MORERA, A.; QUARANTA, G. *Desertification and degradation risks vs poverty: a key topic in Mediterranean Europe. Cuadernos de Investigación Geográfica*, v.48, n.1, p.23-40, 2022.

ROSSET J.S.; SCHIAVO, J.A.; ATANÁZIO, R.A.R. *Atributos químicos, estoque de carbono orgânico total e das frações humificadas da matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de manejo de cana-de-açúcar. Semina: Ciências Agrárias*, v.35, n.5, p.2351-2366, 2014.

SANT'ANA, G.R.S. DE. *Impactos sobre a biota e a qualidade de latossolos cultivados com cana-de-açúcar em Quirinópolis, Goiás. 2014. 218f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.*

SANTOS, C.M.; SILVA, M.A. *Physiological and biochemical responses of sugarcane to oxidative stress induced by water deficit and paraquat. Acta Physiol Plant*, v.37, p.1-14, 2015.

SCHEUER, J. M.; NEVES, S. M. A. S. *Implicações para o bioma pantanal do cultivo da cana-de-açúcar na bacia do alto Paraguai. Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research médium*, v.8, n.2, p.36-51, 2017.

**SIGNOR, D.; ZANI, C.F.; PALADINI, A.A.; DEON, M.D.; CERRI, C.E.P. Estoques de carbono e qualidade da matéria orgânica do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v.38, p.1402-1410, 2014.**

**SILVA, C.O.; CAMPOS, S.; MOUSINHO, F.E.P.; OLIVEIRA, S.R.M. Geoprocessamento aplicado ao zoneamento agrícola para cana-de-açúcar irrigada do estado Piauí. Ed: Científica Digital, v.5, p.138-153, 2021b.**

**SILVA, E.S.; CARMO, I.L.G.S.; MONTEIRO NETO, J.L.L.; MEDEIROS, R.D.; AUGUSTI, M.L.; AMAYA, J.Z.E.; MRHGA-ORRILHO, H.; ABANTO-RODRÍGUEZ, C. Cultivo de nueve variedades de sandía bajo condiciones edafoclimáticas de la Sabana brasilera: Variables morfológicas, características fisicoquímicas y vida útil de frutos. Scientia Agropecuaria, v.11, n.4, p.493-501, 2020.**

**SILVA, T.R.G.; COSTA, M.L.A.; FARIAS, L.R.A.; SANTOS, M.A.; ROCHA, J.J.L.; SILVA, J.V. Fatores abióticos no crescimento e florescimento das plantas. Research, Society and Development, v.10, n.4, p.1-9, 2021a.**

**SILVA, W.T.C.; BARBOSA, H.A. Avaliação da precipitação na produtividade agrícola da cana-de-açúcar: estudo de caso usina Coruripe para as safras de 2000/2005. Revista Brasileira de Geografia Física, v.13, n.3, p.1352-1366, 2021b.**

**SIMÕES, W.L.; OLIVEIRA, A.R.; SALVIANO, A.M.; SILVA, J.S.; CALGARO, M.; GUIMARÃES, M.J.M. Efficient irrigation management in sugarcane cultivation in saline soil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 25, n.9, p.626-632, 2021.**

**SISTEMA DO IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA. Produção Agrícola Municipal, 2022. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>>. Acesso em: 25 de jul. de 2022.**

**WENJIAO, S.; FULU, T.; ZHAO, Z. A review on statistical models for identify climate contributions to crop yields. Journal of Geographical Sciences, v.23, p.567-576, 2013.**

**WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C.M. Statistics for evaluation and comparison of models. J Geophys. Res, v.90, 8995-9005, 1985.**



## **Estimativa do rendimento da cana-de-açúcar a partir dos modelos FAO-Zona Agroecológica e Agrometeorológico-Espectral**

**Derblai Casaroli<sup>1</sup>; Ieda Del?Arco Sanches<sup>2</sup>; Dayanna Teodoro Quirino<sup>3</sup>; Adão Wagner Pêgo Evangelista<sup>1</sup>; José Alves Júnior<sup>1</sup>; Rilner Alves Flores<sup>1</sup>; Marcio Mesquita<sup>1</sup>; Rafael Battisti<sup>1</sup>; Grazieli Rodigheri<sup>4</sup>; Frank Freire Capuchinho<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Docente. Avenida Esperança s/n, Câmpus Samambaia - Prédio da Reitoria. CEP 74690-900 Goiânia - Goiás - Brasil. Universidade Federal de Goiás; <sup>2</sup>Pesquisadora. Av. dos Astronautas, 1758 - Jd. Granja , São José dos Campos, SP, Brasil. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; <sup>3</sup>Bolsista. Avenida Esperança s/n, Câmpus Samambaia - Prédio da Reitoria. CEP 74690-900 Goiânia - Goiás - Brasil. Universidade Federal de Goiás; <sup>4</sup>Bolsista. Av. dos Astronautas, 1758 - Jd. Granja , São José dos Campos, SP, Brasil. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

### **RESUMO**

*A cana-de-açúcar é uma das culturas que apresenta relevância no agronegócio brasileiro devido à sua diversificada utilidade. Modelos de previsão de safra são importantes ferramentas tanto para o planejamento quanto para a tomada de decisão frente aos manejos da lavoura. Este trabalho objetivou estimar o rendimento da cana-de-açúcar a partir dos modelos da FAO-Zona Agroecológica e o Agrometeorológico-Espectral, bem como detectar o declínio de rendimento em função do número de colheitas. Os dados agrometeorológicos, biométricos e de rendimento da cultura foram coletados em um canal localizado no município de Santo Antônio de Goiás-GO. Avaliou-se a variedade CTC-04 (cana-planta, soca 1 e 2). Utilizaram-se os modelos FAO-Zona Agroecológica (FAO) e o Agrometeorológico-Espectral (AE). Foi estimado um fator de declínio ( $k_{dec}$ ) em função do número de colheitas. Verificou-se uma superestimativa em relação aos valores reais (FAO: 15,3%; AE: 13,7%). Os erros de estimativa detectados nos índices Bias (FAO: 13,4; AE: 12,6 Mg ha<sup>21</sup>), RMSE (FAO: 14,4; AE: 13,7 Mg ha<sup>21</sup>) e MAE (FAO: 13,4; AE: 12,6 Mg ha<sup>21</sup>) tiveram valores semelhantes entre os modelos. Isso também ocorreu quanto a eficiência dos modelos (FAO: 0,77; AE: 0,79), a correlação (FAO: 0,98; AE: 0,99) e ao índice de concordância (FAO: 0,94; AE: 0,96). Ambos os modelos detectaram um declínio de rendimento em função do número de colheitas (FAO: ?0,76; AE: -0,83).*

**PALAVRAS-CHAVE:** *Saccharum spp.; modelos de cultura; quebra de rendimento;;*

### **INTRODUÇÃO**

*A cana-de-açúcar faz parte da história da produção do agronegócio brasileiro (PELLOSO et al., 2020). O Brasil é o maior produtor mundial; porém, não ocupa a primeira posição no ranking de produtividade, ficando na 24ª posição (75,6 Mg ha<sup>-1</sup>), com as maiores médias sendo obtidas pelo Peru (123,7 Mg ha<sup>-1</sup>), Senegal (114,2 Mg ha<sup>-1</sup>) e Guatemala (112,9 Mg ha<sup>-1</sup>), sendo a média global igual a 73 Mg ha<sup>-1</sup> (FAO, 2021).*

*No Brasil, o estado de São Paulo é o maior produtor (354.288,4 mil Mg), sendo seguido pelo estado de Goiás (74.039,9 mil Mg). São Paulo e Goiás apresentaram valores semelhantes de rendimento na safra 2020/2021, iguais a 79,7 e 76,2 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (CONAB, 2021). Mesmo Goiás apresentando rendimento médio superior à média global (73 Mg ha<sup>-1</sup>), ainda ficou atrás dos maiores produtores mundiais (Peru: 123,7 Mg ha<sup>-1</sup>; Senegal: 114,2 Mg ha<sup>-1</sup>; Guatemala: 112,9 Mg ha<sup>-1</sup>) (FAO, 2021). Autores relatam que condições climáticas, método de plantio, espaçamento entre linhas e práticas de manejo da fazenda estão entre os vários fatores que influenciam o crescimento da cana-de-açúcar e, conseqüentemente, afetam sua produção (GARSIDE & BELL, 2009; CHILUWAL et al., 2018; RUAN et al., 2018; FLACK-PRAIN et al., 2021).*

*O Cerrado goiano possui um período de intenso déficit hídrico, que é a principal causa de quebras de rendimento (CASAROLI et al., 2019; CAETANO et al., 2021; PAIXÃO et al., 2021). Na maioria dos cultivos brasileiros as soqueiras são colhidas de quatro a cinco vezes. Após um período de cinco*

*anos, o canavial é replantado, e isso ocorre baseado no nível de produtividade. O declínio da produtividade da cana-de-açúcar ao longo das socas sucessivas restringe a produção de cana em todo o mundo, atribuída principalmente pela qualidade do manejo de cultivo adotado (BERNARDES et al., 2008; RAMBURAN et al., 2013; MARIN et al., 2019). E assim, conhecer esse declínio de rendimento a cada colheita e suas possíveis causas, torna possível o planejamento não apenas do produtor, mas também de toda a cadeia produtiva.*

*A previsão de safra é normalmente realizada por especialistas com base em dados históricos sobre a área de cultivo (solo e clima), características da cultivar, práticas de manejo da cultura, principalmente associadas ao controle de pragas, plantas daninhas e doenças (BOCCA et al., 2015). Vale destacar que o monitoramento das lavouras de cana-de-açúcar é, por vezes, uma tarefa que demanda tempo, além de recursos humanos e financeiros, pois é difícil realizar amostragens significativas nas grandes extensões de áreas cultivadas, o que pode acarretar em ineficiência amostral e/ou erros nas previsões de safra (LEAL et al., 2013; KUMAR et al., 2017).*

*Desta forma, torna-se viável a utilização de modelos de culturas que estimam o rendimento da lavoura, no entanto, a escolha do modelo nem sempre é fácil, pois estes possuem níveis de complexidade distintos. Modelos mais precisos são embasados em processos biofísicos, exigindo assim, um maior número de variáveis de entrada, sendo, portanto, mais complexos. Nesse grupo, destacam-se os modelos FAO-Zona Agroecológica (DOORENBOS & KASSAM, 1979) e o Agrometeorológicos-Espectral (RUDORFF & BATISTA, 1990), o qual além de dados de clima também utiliza um conjunto de dados do sensoriamento remoto.*

## **OBJETIVOS**

*Esse trabalho objetivou estimar o rendimento da cana-de-açúcar a partir dos modelos da FAO-Zona Agroecológica e o Agrometeorológico-Espectral, bem como detectar o declínio de rendimento em função do número de colheitas.*

## **MATERIAL E MÉTODOS**

*Avaliaram-se plantas de cana-de-açúcar (variedade CTC-4), com plantio em abril/2013 (espaçamento: 1,5 m). As avaliações compreenderam os ciclos cana-planta (2013/2014), soca 1 (2014/2015) e soca 2 (2015/2016), em cultivo de sequeiro.*

*Os dados foram coletados em área comercial da usina CentroAlcool® (106,45 ha), localizada no município de Santo Antônio de Goiás-GO (16° 28' 12,11" S; 49° 21' 9,47" W; 780 m), Brasil. Segundo Köppen, o clima é do tipo Aw, com regime pluviométrico bem definido (estação chuvosa: outubro-abril; estação seca: maio-setembro), e média anual em torno de 1.500 mm (ALVARES et al., 2013).*

*O solo era um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2013), com textura média: 27% de argila, 13% de silte e 60% de areia. Após a análise química do solo, o mesmo foi corrigido com calcário (4,0 Mg ha<sup>-1</sup>) e gesso (2,0 Mg ha<sup>-1</sup>). Além disso, foram aplicados 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para adubação e 380 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 18-00-27 (NPK) em cobertura, repetindo-se as últimas aplicações nos ciclos 1 e 2 de soca. Tanto a adubação quanto a aplicação de herbicidas foram realizadas pela usina CentroAlcool®.*

*A área total foi dividida em cinco talhões de aproximadamente 10 ha, onde foram coletados os dados de rendimento real (Y<sub>r</sub>, Mg ha<sup>-1</sup>) e estimado (Y<sub>E</sub>, Mg ha<sup>-1</sup>) da cana-de-açúcar para os três ciclos de cultivo.*

Os dados meteorológicos (temperatura do ar máxima, mínima e média, precipitação pluvial, umidade relativa do ar, velocidade do vento a 2 m, irradiação solar) foram coletados em uma estação automática instalada próxima a área de cultivo (7 km do talhão mais distante). A evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) foi estimada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998).

O balanço hídrico da cana-de-açúcar (THORNTHWAITE & MATHER, 1955) foi calculado em escala diária (plantio da cana-planta à colheita da soca 2). Para isso, determinou-se uma capacidade de água disponível (CAD, mm) igual a 190,1 mm ( $\theta_{CC}$ : 0,399 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>;  $\theta_{PMP}$ : 0,240 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; Zr: 1,2 m) e água facilmente disponível (AFD, mm) de 104,5 mm (AFD=CAD\*f), sendo o fator de disponibilidade hídrica f=0,55 (DOORENBOS & KASSAM, 1979). A evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>, mm dia<sup>-1</sup>) foi determinada pelo produto da ET<sub>0</sub> e os valores do coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>), para cada fase de desenvolvimento da cana-de-açúcar, bem como para os diferentes ciclos de cultivo (Tabela 1).

**Tabela 1: Fases fenológicas da cana-de-açúcar, duração das fases com dias de início (D<sub>0</sub>) e fim (D<sub>f</sub>), e coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>), índice de área foliar (IAF) e coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico (k<sub>y</sub>), para os ciclos cana-planta (18 meses) e soca (12 meses).**

Fases	Cana-planta				Soca				
	D <sub>0</sub>	D <sub>f</sub>	K <sub>c</sub>	IAF	D <sub>0</sub>	D <sub>f</sub>	K <sub>c</sub>	IAF	K <sub>y</sub>
0-25% dossel	1	45	0,50	2,0	1	30	0,55	2,0	0,05
25-50% dossel	46	81	0,80	2,5	31	60	0,80	2,5	0,10
50-75% dossel	82	102	0,95	3,5	61	76	0,90	3,0	0,10
75-100% dossel	103	153	1,10	4,0	77	120	1,00	3,5	0,30
Dossel completo	154	409	1,175	5,0	121	300	1,05	4,0	0,80
Senescência	410	500	0,925	4,0	301	331	0,80	3,5	0,30
Maturação	501	546	0,675	3,5	332	362	0,60	3,0	0,10

**Fontes: Fases fenológicas e K<sub>c</sub>: Doorenbos & Kassam (1979); IAF: Monteiro & Sentelhas (2014); K<sub>y</sub>: Dias & Sentelhas (2017).**

#### **Modelo 1: FAO-Zona Agroecológica (FAO)**

O modelo FAO foi calibrado anteriormente para cana-de-açúcar cultivada nas condições brasileiras. Assim, algumas abordagens e parâmetros seguiram as recomendações de Monteiro & Sentelhas (2014) e Dias & Sentelhas (2017) para os ciclos de cana-planta e soca (Tabela 1).

O rendimento potencial (Y<sub>p</sub>, kg ha<sup>-1</sup>) foi estimado considerando a interação entre os padrões de fotossíntese da cultura (C<sub>4</sub>), radiação solar, fotoperíodo e temperatura do ar durante o ciclo, conforme a Eq.[1] (KASSAM, 1977):

$$NDVI = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (1)$$

Onde o  $FB$  é a fotossíntese bruta ( $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ), considerando uma cultura padrão ( $IAF=5$ );  $C_{IAF}$  é o coeficiente de depleção do índice de área foliar ( $IAF$ ), que assume seu valor máximo de 0,5 quando o  $IAF_{max} \geq 5$ . Nesse estudo foram utilizadas as calibrações de  $IAF$  recomendados por Monteiro & Sentelhas (2014) (Tabela 1);  $C_R$  é o coeficiente de depleção associado ao processo de respiração de manutenção em função da temperatura do ar ( $C_R = 0.6$  para  $T < 20^\circ\text{C}$  e  $C_R = 0.5$  para  $T \geq 20^\circ\text{C}$ );  $C_C$  e  $C_W$  são o índice de colheita e o teor de água da parte colhida da planta, utilizando-se os valores de 0,8 e 70%, respectivamente (DOORENBOS & KASSAM, 1979; DIAS & SENTELHAS, 2017); " $i$ " é o dia do ciclo da cultura e " $m$ " é o total de dias do ciclo da cultura, do plantio à colheita (cana-planta = 546 dias; soca = 362).

A produtividade atingível ( $Y_a$ ,  $\text{Mg ha}^{-1}$ ) foi obtida penalizando  $Y_p$  com o déficit hídrico, isto a partir dos coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico ( $k_y$ ) para cada fase do desenvolvimento (Tabela 1), conforme a Eq.[2]:

$$\alpha_0 = a + b\rho_1 + c\rho_2 \quad (2)$$

onde a  $ET_a$  é a evapotranspiração atual ( $\text{mm dia}^{-1}$ ),  $ET_c$  é a evapotranspiração máxima da cultura, " $i$ " é a fase da cultura e " $nf$ " é o número total de fases durante o ciclo da cultura. O déficit hídrico foi quantificado pela razão  $ET_a/ET_c$ , obtidas no balanço hídrico.

#### Modelo 2: Agrometeorológico-Espectral (AE)

Este modelo é fundamentado no modelo FAO-Agroecological Zone (FAO) e foi descrito em linguagem FORTRAM por Rudorff (1985). Devido a possibilidade de se estimar o índice de área foliar ( $IAF$ ) a partir de imagens de sensoriamento remoto, o modelo mostrou aspectos relevantes para estudos em escalas regionais (RIZZI & RUDORFF, 2007). Rizzi (2004) ajustou a variável espectral de entrada no modelo FAO a partir do cálculo do rendimento potencial ( $Y_p$ ,  $\text{kg ha}^{-1}$ ) dado pela Eq.[1], estimando-se o parâmetro  $F_{cc}$  (fator de compensação do crescimento) (Eq.[3]), que é um fator multiplicativo dos coeficientes de respiração ( $C_R$ ), de produtividade agrícola ( $F_{pa} = C_H/[1 - C_W]$ ), do número de dias de duração de cada fase fenológica (Tabela 1) e de fotossíntese bruta ( $FB$ ).

O  $F_{cc}$  independe do tipo da cultura, sendo determinado como uma função do  $IAF_s$  (Eq.[4]):

$$R_n = (1 - \alpha_0) R_G - \alpha_L \tau_{2w} \quad (3)$$

O índice de área foliar espectral ( $IAF_s$ ) foi estimado seguindo a metodologia sugerida por Campbell & Norman et al. (1998) (Eq.[4]):

$$\varepsilon_A = a_A (\ln \tau_{2w})^{b_A} \quad (4)$$

sendo  $F_c$  a fração da cobertura do solo (CHOUDHURY et al., 1994), estimada a partir dos valores de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), para as safras de 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016, conforme a Eq.[5]:

$$\varepsilon_0 = a_0 \ln NDVI + b_0 \quad (5)$$

onde o  $NDVI_M$  e  $NDVI_m$  são os valores máximo e mínimo da imagem, e  $NDVI$  o valor do pixel para o qual está sendo calculado o valor de  $F_c$ .

Para estimar IAF com base no NDVI, foram obtidas imagens do Landsat-8/OLI ([earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov)). Foram selecionadas as cenas (área no terreno: 185 x 185 km; órbita/ponto 222/71) entre as datas de plantio (cana-planta: abril/2013) e colheita (soca 2: outubro/2016) da cana-de-açúcar, com intervalo de 16 dias, e resolução espacial de 30 m. Os dados em número digital (DN) foram convertidos em reflectância no topo da atmosfera (TOA) a partir de coeficientes radiométricos (USGS, 2013).

Os dados foram agregados em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) utilizando o software QGIS 2.14, georreferenciados no Datum SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico das Américas) e sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator).

Para as cultivares brasileiras foi ajustado um declínio exponencial do rendimento em função do número de colheitas (BERNARDES et al., 2008):

$$T_c = \frac{\sqrt{R_{nc}(1-\alpha_{nc}) + \alpha_{nc}T_{1c}} - R_{nc}}{\alpha_{nc}} \quad (6)$$

Onde  $Ye_{nc}$  é o rendimento atual estimado para uma dada colheita ( $Mg\ ha^{-1}$ ),  $Ya_{1c}$  o rendimento atingível na primeira colheita,  $nc$  é o número de colheitas, e  $k_{dec}$  o fator de declínio do rendimento. O  $k_{dec}$  foi ajustado aos dados experimentais de produtividade obtidas nos ciclos de cana-planta e soca.

Foram aplicadas análises de regressão entre os valores observados e estimados pelos modelos. Além disso, os modelos foram testados a partir de índices estatísticos, tais como: coeficiente de determinação ( $R^2$ ), viés ou erro médio (Bias), coeficiente "r" de Pearson, erro médio absoluto (MAE), raiz do erro quadrático médio (RMSE), índice de concordância "d" (WILLMOTT et al., 1985) e eficiência do método (EF).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias de temperatura do ar máxima, mínima e média foram de 29,6°C, 18,1°C e 23,9°C, dentro dos três ciclos de cultivo (cana-planta, soca 1 e 2). As temperaturas médias nos ciclos de cana-planta, soca 1 e 2, foram, respectivamente, 3,1%, 4,3% e 6,3% superiores à média climática do município (1986-2016).

Nos três ciclos, as médias de umidade relativa do ar (RH) ficaram entre 60-65%, porém, em determinados momentos do ciclo, os valores de  $RH < 50\%$ . Os valores acumulados de precipitação pluvial (P) foram iguais a 1923,6 mm (cana-planta), 1390,2 mm (soca 1) e 1168,0 mm (soca 2), gerando médias diárias iguais a 4,01; 4,34 e 3,65  $mm\ dia^{-1}$ , respectivamente.

As lâminas acumuladas de chuva também se mostraram diferentes em função da fase fenológica, em cada ciclo de cultivo, onde a fase IV, no ciclo de cana-planta, obteve os maiores valores de precipitação diária (2,27  $mm\ dia^{-1}$ ), porém, nos ciclos de soca 1 e 2, as maiores precipitações foram encontradas na fase III (2,88 e 2,01  $mm\ dia^{-1}$ , respectivamente). Ainda, a precipitação mensal, obtida no experimento, foi 9,2% maior que a média climática do município (31 anos) para o ciclo de cana-planta, porém, 12,9% e 29,9% menor para os ciclos de soca 1 e 2.

O estado de Goiás possui uma variação de precipitação de 1431-1542 mm, e de temperatura do ar mínima de 17,2?20,0°C e máxima de 28,7?33,7°C. Ainda, o município de Santo Antônio de Goiás foi classificado com a menor lâmina de precipitação (1431 mm) e as segundas maiores médias de temperatura mínima (18,4°C) e máxima (30,1°C) (PAIXÃO et al., 2020).

A irradiação solar média dentro dos ciclos de cana-planta, soca 1 e 2, foram iguais a 17,5, 16,4 e 15,9  $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ , com valores médios dentro de cada fase entre 15-19  $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ . A velocidade

média do vento variou ao longo dos ciclos entre 0,3-8,0 m s<sup>-1</sup>, com médias iguais a 5,1, 4,6 e 4,5 m s<sup>-1</sup>, para os ciclos de cana-planta, soca 1 e 2, respectivamente.

Para atingir uma produção potencial (etanol e açúcar), a cultura da cana-de-açúcar necessita de um meio de cultivo com clima quente (temperatura média entre 25-35 °C) e úmido (precipitação entre 1500-2500 mm), com alta intensidade de radiação solar (entre 18-35 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) na fase de crescimento da cultura, seguida por uma restrição hídrica (>120-130 mm) ou uma redução térmica (<21°C), a fim de estimular o armazenamento de sacarose nos colmos (CAMARGO & ORTOLANI, 1964; CÂMARA & OLIVEIRA, 1993; INMAN-BAMBER, 1994; INMAN-BAMBER, 2004; INMAN-BAMBER & SIMITH, 2005; SCARPARI & BEAUCLAIR, 2004; MONTEIRO, 2009; CARDOZO & SENTELHAS, 2013).

A evapotranspiração de cultura (ETc) e a atual (ETa) apresentaram valores acumulados (e diários) para cana-planta de 1983,7 mm (3,6 mm dia<sup>-1</sup>) e 1138,8 mm (2,1 mm dia<sup>-1</sup>), para soca 1 de 1064,2 mm (2,8 mm dia<sup>-1</sup>) e 723,5 mm (1,9 mm dia<sup>-1</sup>) e para soca 2 de 1031,5 mm (2,9 mm dia<sup>-1</sup>) e 603,8 mm (1,7 mm dia<sup>-1</sup>), respectivamente. O déficit hídrico (DH) acumulado foi maior no ciclo de cana-planta (821,3 mm), seguido pelos ciclos soca 2 (414,5 mm) e soca 1 (326 mm). Embora o tempo de duração do ciclo tenha influência sobre o valor acumulado, essa mesma tendência foi observada nas taxas médias diárias de DH, onde a maior taxa foi de 1,5, seguida por 1,2 e 0,86 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente. Quanto ao excedente hídrico (EH) os valores foram iguais a 853,4 (1,6 mm dia<sup>-1</sup>), 748,8 (2,0 mm dia<sup>-1</sup>) e 632,8 (1,8 mm dia<sup>-1</sup>), respectivamente para os ciclos de cana-planta, soca 1 e 2. Ainda, foram observados valores médios de ETa/ETc iguais a 0,56, 0,5 e 0,58 para os ciclos de cana-planta, soca 1 e 2, respectivamente.

O crescimento da planta e a produção final estão fortemente correlacionados a evapotranspiração da cultura, que por sua vez está ligada aos processos de transpiração e de fotossíntese, os quais possuem relação direta entre si, onde a redução da transpiração promove a diminuição na fotossíntese (TAIZ & ZEIGER, 2013). Este comportamento foi observado em diferentes variedades de cana-de-açúcar submetidas ao déficit hídrico severo (de 0 a 20% da água disponível) nas fases iniciais do crescimento vegetativo, as quais reduziram a transpiração foliar na ordem de 66,94% e a fotossíntese em 78,34% (GONÇALVES et al., 2010).

Para a cana-de-açúcar, a disponibilidade hídrica adequada nos períodos de estabelecimento e de crescimento vegetativo é fundamental para a obtenção de elevadas produtividades tanto em termos de fitomassa (redução de 35%) quanto em rendimento de sacarose (redução de 25% nos sólidos solúveis) (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005; MACHADO et al., 2009). O déficit hídrico no período vegetativo é capaz de reduzir em torno de 60% o alongamento dos colmos, e de 55 a 75% no diâmetro (ECCO et al., 2014). Ainda, variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob as condições do bioma Cerrado, determinaram valores distintos de índice de área foliar quanto irrigação (IAF: 1,0) e não irrigadas (IAF: 0,5), isto já nos primeiros 30 dias de desenvolvimento (SANTOS, 2018).

Os rendimentos reais (Yr) médios da cana-de-açúcar, obtidos pela usina, para os ciclos de cana-planta, soca 1 e 2, foram de 118,5, 64,2 e 49,1 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 1A). Um estudo para o estado de Goiás demonstrou que a média histórica de rendimento do município de Santo Antônio de Goiás foi igual a 46,4±10,8 Mg ha<sup>-1</sup>, considerado intermediário, sendo classificado no grupo 4, em um total de oito grupos (PAIXÃO et al., 2020). Ainda, vale destacar que o rendimento médio brasileiro é 74,7 Mg ha<sup>-1</sup> (FAO, 2021). Esses valores são inferiores à média encontrada nos três ciclos de cultivo do presente trabalho (Yr=77,3±27,5 Mg ha<sup>-1</sup>), embora dentro do desvio-padrão.

## CONCLUSÃO

*Tanto o modelo FAO quanto o modelo Agrometeorológico-Espectral obtiveram um bom ajuste aos dados reais de rendimentos fornecidos pela usina de cana-de-açúcar. Ambos os modelos detectaram um declínio do rendimento em função do número de colheitas realizadas.*

#### **AGRADECIMENTOS**

*À Usina CentroAlcool® pela disponibilidade da área e de seus colaboradores pelo auxílio no manejo das práticas culturais em campo; À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo de mestrado concedida a terceira autora e de doutorado concedida ao décimo autor; Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Goiás (PPGA-UFG); Aos professores e colaboradores do Núcleo de Pesquisa em Clima e Recursos Hídricos do Cerrado (NUCLIRH) pelo apoio técnico e científico no desenvolvimento do trabalho.*

#### **REFERÊNCIAS**

*ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO. Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, v.300, n.9, D05109, 1998.*

*ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; DE MORAES GONÇALVES, J.L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v.22, p.711-728, 2013.*

*ARAÚJO, R.; ALVES JUNIOR, J.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A.W.P. Variation in the sugar yield in response to drying-off of sugarcane before harvest and the occurrence of low air temperatures. Bragantia, v.75, n.1, p.118-127, 2016.*

*BERNARDES, M.S.; PRELLWITZ, W.P.V.; BRAGA JÚNIOR, R.L.C.; SUGUITANI, C.; BEAUCLAIR, E.G.F.; CAMARA, G.M.S. Equation for estimating sugarcane ratoon yields as a function of environment and management. Annals of national congress of STAB. n.9, Brazil, pp. 906, 2008.*

*BOCCA, F.F.; RODRIGUES, L.H.A.R.; ARRAES, N.A.M. When do I want to know and why? Different demands on sugarcane yield predictions. Agricultural Systems, v.135, p.48-56, 2015.*

*CAETANO, J.M.; ALVES JÚNIOR, J.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A.W.P. Estimated productivity of sugarcane through the Agro-Ecological Zone method. Revista Ceres, v.68, n.1, p.1?9, 2021.*

*CAETANO, J.M.; CASAROLI, D. Sugarcane yield estimation for climatic conditions in the state of Goiás. Revista Ceres, v.64, n.3, p.298-306, 2017.*

*CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E.A.M. Produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: ESALQ/USP, 1993. 242p.*

*CAMARGO, A. P.; ORTOLANI, A.A. Clima das zonas canavieiras do Brasil. In: Cultura e adubação da cana-de-açúcar. São Paulo, Instituto Brasileiro de Potassa. 121-138 pp, 1964.*

*CAMPBELL, G.S.; NORMAN, J.M. An introduction to environmental biophysics. New York: Springer, 1998. 286 p.*

**CARDOZO, N.P.; SENTELHAS, P.C.** Climatic effects on sugarcane ripening under the influence of cultivars and crop age. *Scientia Agrícola*, v.70, n.6, p.449-456, 2013.

**CASAROLI, D.; ALVES JÚNIOR, J.; EVANGELISTA, A.W.P.** Quantitative and qualitative analysis of sugarcane productivity in function of air temperature and water stress. *Comunicata Scientiae*, v.10, n.1, p.202-212, 2019.

**CHILUWAL, A.; SINGH, H.P.; SAINJU, U.; KHANAL, B.; WHITEHEAD, W.F.; SINGH, B.P.** Spacing effect on energy cane growth, physiology, and biomass yield. *Crop Sci*, v.58, n.3, p.1371-1384, 2018.

**CHOUDHURY, B.J.; AHMED, N.U.; IDSO, S.B.; REGINATO, R.J.; DAUGHTRY, C.S.T.** Relations between evaporation coefficients and vegetation indices studied by model simulations. *Remote Sensing of Environment*, v.50, n.1, p.1-17, 1994.

**COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO.** Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, v.8, terceiro levantamento, Novembro/2021 - Companhia Nacional de Abastecimento - Brasília: Conab 2021. 63p.

**DIAS, H.B.; SENTELHAS, P.C.** Evaluation of three sugarcane simulation models and their ensemble for yield estimation in commercially managed fields. *Field Crops Research*, v.213, p.174-185, 2017.

**DOORENBOS J.; KASSAM, A.M.** Yield response to water. *Irrig. Drain. Pap. No. 33.* FAO, Rome, Italy, 1979. 193p.

**ECCO, M.; SANTIAGO, E.F.; LIMA, P.R.** Respostas biométricas em plantas jovens de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico e ao alumínio. *Comunicata Scientiae*, v.5, n.1, p.59-67, 2014.

**EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA.** Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 3 Ed, Rev Ampl, Brasília, 2013.

**FAO.** FAOSTAT Database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em jan 2021.

**FLACK-PRAIN, S.; SHI, L.; ZHU, P.; ROCHA, H.R. DA.; CABRAL, O.; HU, S.; WILLIAMS, M.** The impact of climate change and climate extremes on sugarcane production. *GCB Bioenergy*, v.13, n.3, p.408-424, 2021.

**GARSIDE, A.L.; BELL, M.J.** Row spacing and planting density effects on the growth and yield of sugarcane. 1. responses in fumigated and non-fumigated soil. *Crop Pasture Sci*, v.60, n.6, p.532-543, 2009.

**GONÇALVES, E.R.; FERREIRA, V.M.; SILVA, J.V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T.P.; DUARTE, W.G.** Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.4, p.378-386, 2010.

**HARTKAMP, A.D.; WHITE, J.W.; HOOGENBOOM, G.** Interfacing geographic information systems with agronomic modelling: a review. *Agronomy Journal*, v.91, p.761-772, 1999.

**INMAN-BAMBER, N.G.** Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. *Field Crops Research*, v.89, p.107-122, 2004.



**INMAN-BAMBER, N.G.** *Temperature and season effects on canopy development and light interception of sugarcane. Field Crops Research, v.36, p.41-51, 1994.*

**INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M.** *Water relations in sugarcane and response to water deficits. Field Crops Research, v.92, p.185-202, 2005.*

**KASSAM A.** *Net biomass production and yields of crops. Consultant's Report. Agroecological Zones project. AGL, FAO, Rome. 1977. 29p.*

**KUMAR, P.; PRASAD, R.; CHOUDHARY, A.; MISHRA, V.N.; GUPTA, D.K.; SRIVASTAVA, P.K.** *A statistical significance of differences in classification accuracy of crop types using different classification algorithms. Geocarto Int, v.32, n.2, p. 206-224, 2017.*

**LEAL, R.M.L.V.; GALDOS, M.V.; SCARPARE, F.V.; SEABRA, J.E.A.; WALTER, A.; OLIVEIRA, C.O.F.** *sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: a literature review. Biomass Bioenergy, v.53, p.11-19, 2013.*

**MACHADO, R.S.; RIBEIRO, R.V.; MARCHIORI, P.E.R.; MACHADO, D.F.S.P.; MACHADO, E.C.; LANDELL, M.G.A.** *Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.44, n.12, p.1575-1582, 2009.*

**MARIN, F.R.; EDREIRA, R.I.R.; ANDRADE, J.; GRASSINI, P.** *On-farm sugarcane yield and yield components as influenced by number of harvests. Field Crops Research, v.240, p.134-142, 2019.*

**MO, X.; LIU, S.; LIN, Z.; XU, Y.; XIANG, Y.; MCVICAR, T.R.** *prediction of crop yield, water consumption and water use efficiency with a SVAT-crop growth model using remotely sensed data on the North China Plain. Ecological Modelling, v.183, p.301-322, 2005.*

**MONTEIRO, J.E.** *Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. In: José Eduardo B. A. Monteiro (Org.). Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, DF: INMET, 2009. 530 p. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/home/publicacoes/agrometeorologia\\_dos\\_cultivos.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/home/publicacoes/agrometeorologia_dos_cultivos.pdf)>. Acesso em maio 2021.*

**MONTEIRO, L.A.; SENTELHAS, P.C.** *Potential and actual sugarcane yields in southern Brazil as a function of climate conditions and crop management. Sugar Tech, v.16, p.264-276, 2014.*

**MUSSI, R.F.; ALVES JÚNIOR, J.; EVANGELISTA, A.W.P.; CASAROLI, D.; BATTISTI, R.** *Evapotranspiração da cana-de-açúcar estimada pelo algoritmo Safer. Irriga, v.25, n.2, p. 263-278, 2020.*

**PAIXÃO, J. S.; CASAROLI, D.; BATTISTI, R.; EVANGELISTA, A.W.P.; ALVES JÚNIOR, J.; MESQUITA, M.** *Characterizing sugarcane production areas using actual yield and edaphoclimatic condition data for the State of Goiás, Brazil. Int. J. Plant Prod, v.14, p.511-520, 2020.*

**PAIXÃO, J.S.; CASAROLI, D.; DOS ANJOS, J.C.R. ALVES JÚNIOR, J.; EVANGELISTA, A.W.P.; DIAS, H.B.; BATTISTI, R.** *Optimizing sugarcane planting windows using simulation model at the state level. Int. J. Plant Prod, v.15, p.303-315, 2021.*

- PELLOSO, M.F.; SILVA, M.G.; SILVA, A.P. Agronomic performance of sugarcane in reduced row spacing grown from different billet sizes under no-tillage and conventional tillage system. *Sugar Tech*, v.22, n.3, p.437-444, 2020.
- PICOLI, M.C.A.; RUDORFF, B.F.T.; RIZZI, R.; GIAROLLA, A. Índice de vegetação do sensor MODIS na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar. *Bragantia*, v.68, n.3, p.789-795, 2009.
- RAMBURAN, S. Interactions affecting the optimal harvest age of sugarcane in rainfed regions of South Africa. *Field Crops Research*, v.183, p. 276-281, 2015.
- REZAEI, E.E.; GHAZARYAN, G.; GONZÁLEZ, J.; CORNISH, N.; DUBOVYK, O.; SIEBERT, S. The use of remote sensing to derive maize sowing dates for large-scale crop yield simulations. *Int J Biometeorol*, v.65, n.4, p. 565-576, 2021.
- RIZZI, R. *Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul*. 214f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.
- RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T. Imagens do sensor MODIS associadas a um modelo agrônômico para estimar a produtividade de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, n.1, p.73-80, 2007.
- ROSSI, A.R.; JOAQUIM, A.C.; BERNARDES, M.S. Decaimento de produtividade entre sucessivos cortes de cana-de-açúcar para diferentes ambientes de produção. *Anais... 20º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil*, 2012.
- RUAN, H.; FENG, P.; WANG, B.; XING, H.; O'LEARY, G. J.; HUANG, Z.; GUO, H.; LIU, D.L. Future climate change projects positive impacts on sugarcane productivity in southern China. *European Journal of Agronomy*, v.96, p.108-119, 2018.
- RUDORFF, B.F.T. *Dados Landsat na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar*. 114f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil, 1985.
- RUDORFF, B.F.T.; BATISTA, G.T. Yield estimation of sugarcane based on agrometeorological-spectral models. *Remote Sensing of Environment*, v.33, n.3, p.183-192, 1990.
- SANTOS, J.M. Índice de área foliar de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos no Cerrado. 105f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.
- SCARPARI, M.S.; BEAUCLAIR, E.G.F. Sugarcane maturity estimation through edaphicclimatic parameters. *Scientia Agricola*, v.61, p.486-491, 2004.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. Tradução: Santarém, E.R. [et al.] 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. *The Water Balance*. Drexel Institute of Technology Laboratory of Climatology. NJ Publications in Climatology, Centerton, NJ, p. 104, 1955.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. *Landsat 8*, 2013. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8>>. Acesso em maio 2021.

**WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.;  
LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of  
models. *Journal of Geophysical Research*, v.90, n.5, p.8995-9005, 1985.**

# **Eficiência de uso da radiação para a cultura da soja nas condições de cultivo do cerrado**

**Felipe Puff Dapper**<sup>1</sup>; **Rafael Battisti**<sup>2</sup>; **José Ernesto Nigri Santos da Silva**<sup>1</sup>; **Ludmila de Almeida Roberto**<sup>1</sup>; **Thalline Rodrigues da Silva**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bolsista . Goiânia-GO. Universidade Federal de Goiás ; <sup>2</sup>Docente . Goiânia-GO. Universidade Federal de Goiás ; <sup>3</sup>Docente . Goiânia-GO. Universidade Federal de Goiás

## **RESUMO**

*O Brasil é o maior produtor de soja do mundo, entretanto, é possível aumentar a produtividade da cultura através das estratégias de manejo com ajuste da densidade de plantas para cada data de semeadura. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da data de semeadura e densidade populacional sobre a eficiência do uso da radiação para a cultura da soja. O estudo foi realizado a partir de dois experimentos com diferentes datas de semeadura e tratamentos compostos por quatro populações de plantas de 10, 20, 30 e 40 plantas m<sup>-2</sup>. Em Itaberaí-GO, a semeadura foi realizada no mês de Outubro e em Silvânia-GO a no mês de Novembro. A época de semeadura e densidade populacional são fatores determinantes para eficiência do uso da radiação. As semeaduras realizadas no mês de novembro devem utilizar população de plantas maior do que 30 plantas m<sup>-2</sup> para eficiência do uso da radiação superior a 350 MJ t<sup>-1</sup> de grãos produzido.*

**PALAVRAS-CHAVE:** Sowing date; Plant density; Productivity;;

## **INTRODUÇÃO**

*O ajuste da data de semeadura da soja possibilita o aumento da produtividade e redução do yield gap provocado pelas condições climáticas. A radiação fotossinteticamente ativa exerce influência direta sobre o desenvolvimento da cultura por estar diretamente relacionada com a taxa fotossintética das plantas, sendo que, a quantidade de radiação interceptada pela cultura depende do índice de área foliar que está relacionado a população de plantas (Teixeira et al. 2015).*

*O índice de área foliar interfere na extinção da luz no interior do dossel exercendo influência sobre a sobre a conversão da energia luminosa em energia química, assim, a taxa de crescimento da cultura está diretamente relacionada ao índice de área foliar (Salmerón et al. 2015). Como estratégia para aumentar a eficiência de uso da radiação solar, a população de plantas pode ser alterada para garantindo um número de plantas que seja mais eficiente na produção de massa seca (PETTER et al. 2016).*

*Para cada data de semeadura o ajuste da população de plantas pode ser realizado com objetivo de reduzir o yield gap, garantindo maior interceptação da radiação solar e com isso, maior eficiência da produção de massa seca (Sampaio et al. 2020). A hipótese deste estudo é que a população de plantas deve ser ajustada para garantir maior interceptação da radiação solar.*

## **OBJETIVOS**

*O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da população de plantas e data de semeadura sobre a interceptação da radiação solar e eficiência do uso da radiação para a cultura da soja.*

## **MATERIAL E MÉTODOS**

*Para este estudo foram realizados dois experimentos em localidades diferentes no estado de Goiás, com diferente data de semeadura. O experimento realizado no município de Itaberaí utilizou a cultivar CZ37B43IPRO grupo de maturação 7.4 teve a semeadura realizada no dia 23 de Outubro de 2022 e o experimento realizado no município de Silvânia utilizou a cultivar BRASMAX*

**TORMENTA grupo de maturação 7.6 teve a semeadura realizada no dia 15 de novembro de 2022. Antes da semeadura, foi realizada a distribuição de fertilizantes com posterior incorporação, após este procedimento foi realizada a análise química do solo para verificar o teor de nutrientes existentes em cada área (Tabela 1).**

**A semeadura foi realizada com semeadora mecânica e pneumática regulada para semear 25 sementes por metro quadrado. Após a emergência das plantas as populações de cada tratamento foram ajustadas pelo arranquio manual. Os tratamentos foram compostos por 10, 20, 30 e 40 plantas por metro quadrado, em que cada tratamento foi realizado com 4 repetições. A análise de variância foi realizada em delineamento inteiramente casualizado e a análise complementar com teste de comparação de médias Scott-Knott.**

**Tabela 1- Caracterização da granulometria e atributos químicos do solo para áreas experimentais localizadas nos municípios de Itaberaí e Silvânia na camada de 0 -20 cm**

Local	Areia	Silte	Argila	pH	MO	P	K	Al	H+Al	CTC	V
	----- % -----				%	mg dm <sup>-3</sup> ----- Cmolc dm <sup>-3</sup> -----					%
Itaberaí	47	8	45	5,7	2,3	36	130	0	2,0	9,13	78
Silvânia	41	14	45	4,9	2,08	78,5	135,3	0	7,06	10,8	34

**Cada experimento foi composto por quatro tratamentos com cinco repetições, incluindo as populações de plantas de 10, 20, 30 e 40 plantas m<sup>-2</sup>. A distribuição das parcelas em cada experimento foi realizada pelo delineamento inteiramente casualizado. As avaliações foram realizadas 20, 32, 53, 79 e 93 dias após a semeadura. As variáveis observadas foram área foliar, radiação solar interceptada, pela diferença entre a radiação solar no topo do dossel e radiação solar observada ao nível do solo, utilizando um medidor quantum marca comercial Apogee. Para todas as variáveis foi realizada uma avaliação em cada parcela. A colheita foi realizada após a maturação fisiológica das plantas no campo para estimar a produtividade de cada tratamento. A eficiência de uso da radiação solar (EUR) foi calculada pela soma acumulada da radiação durante o ciclo da cultura dividido pelo produtividade em toneladas por hectare de cada tratamento.**

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

**A análise de variância mostra que para o cultivo realizado no mês de Outubro (Tabela 2) não apresentou diferença significativa para a variável eficiência de uso da radiação (EUR), mostrando que a produtividade das diferentes populações não foi afetada pela interceptação da radiação solar. As populações utilizadas apresentaram diferenças significativas para variável índice de área foliar (IAF) e radiação solar fotossinteticamente interceptada (RFAint), assim a quantidade de radiação interceptada está relacionada com a população de plantas.**

**Tabela 2- Análise de variância para o cultivo realizado no mês de Outubro no município de Itaberaí, apresentando nível de significância para as variáveis analisadas, IAF: Índice de área foliar (m<sup>2</sup>), RFAint: Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), e EUR: Eficiência de uso da radiação (MJ t<sup>-1</sup>).**

Variável analisada	Resíduo	QM	CV	F	P-valor
IAF	72	634,6	82,09	5,45	0,022
RFAint	406	653,5	58,17	5,27	0,021
EUR	14	485,7	18,01	4,49	0,052

*A análise de variância mostra que para a semeadura realizada no mês de Novembro (Tabela 3), todas as variáveis analisadas apresentaram diferença significativa, mostrando que a quantidade de radiação interceptada foi influenciada pela população de plantas. A eficiência de uso da radiação (EUR) foi significativa sendo influenciada pelas diferentes populações de plantas analisadas.*

*Tabela 3- Análise de variância para o cultivo realizado no mês de novembro no município de Silvânia apresentando nível de significância para as variáveis analisadas, IAF: Índice de área foliar (m<sup>2</sup>), RFAint: Radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), e EUR: Eficiência de uso da radiação (MJ t<sup>-1</sup>).*

Variável analisada	Resíduo	QM	CV	F	P-valor
IAF	58	1854,3	69,31	20,74	<0,0001
RFAint	422	2956	69,53	24,93	<0,0001
EUR	14	1106,6	70,24	17,2	0,0009

*O coeficiente de extinção foi ajustado para estimar a quantidade de radiação interceptada em cada valor do IAF. Para identificar o índice de área foliar ótimo foi considerado o valor de IAF em que 95% da radiação é interceptada pelo dossel das plantas, indicado pelas linhas pontilhadas (Figura 1). O índice de área foliar ótimo pode ser utilizado como indicador de eficiência da interceptação da radiação pelas plantas. Dessa forma, o índice de área foliar ótimo pode ser alcançado através do ajuste da densidade populacional (Petter et al. 2016).*

## **CONCLUSÃO**

*A época de semeadura e população de plantas são fatores determinantes para a eficiência de uso da radiação da cultura da soja.*

*Para as condições de cultivo do cerrado, semeaduras realizadas a partir do mês de Novembro devem utilizar população de plantas maior do que 30 plantas por metro quadrado, para eficiência do uso da radiação superior a 350 MJ t<sup>-1</sup> de grãos produzido.*

*A densidade populacional que proporciona um valor de IAF superior ao IAF ótimo, garante maior eficiência no uso da radiação solar.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq (165096/2021-7) pelo financiamento da pesquisa.*

## **REFERÊNCIAS**

*PETTER, F. A.; SILVA, J. S.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. B.; PACHECO, L. P.; ALMEIDA, F. A. Elevada densidade de semeadura aumenta a produtividade da soja? Respostas da radiação fotossinteticamente ativa. *Bragantia*, v. 75, n. 2, p.173-183, 2016. Disponível em: <[https://www.scielo.br/j/brag/a/fYjxPFTBRGCgwD7qj5Tv4XB/abstract/?](https://www.scielo.br/j/brag/a/fYjxPFTBRGCgwD7qj5Tv4XB/abstract/?lang=pt)*

*lang=pt >. Acesso em: 27 jun. 2023*

**SAMPAIO, L. S.; BATTISTI, R.; LANA, M. A.; BOOT, K. J.** Assessment of sowing dates and plant densities using CSM-CROPGRO-Soybean for soybean maturity groups in low latitude. *The Journal Agricultural Science*, n.158, v.10, p.819-832, 2020. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/abs/assessment-of-sowing-dates-and-plant-densities-using-csmcropgrosoybean-for-soybean-maturity-groups-in-low-latitude/9896384D6614F83C3804872F7F1C3CAD#access-block>>. Acesso: 27 jun. 2023

**SALMERÓN, G. B.; BOURLAND, F. M.; GOLDEN, L. E. B.; PURCELL, A. L.** Soybean Maturity Group Choices for Maximizing Radiation Interception across Planting Dates in the Midsouth United States. *Agronomy Journal*, v.107, n.6, 2015. Disponível em: <<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2134/agronj15.0091>>. Acesso em: 27 jun. 2023

**TEIXEIRA, G. C. S.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B.** Eficiência do uso da radiação solar e índices morfofisiológicos em cultivares de feijoeiro. *Pesq. Agropec. Trop., Goiânia*, v. 45, n. 1, p. 9-17, 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/pat/a/H93pWzQVHB38dbhj8RjZLBz/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 27 jun. 2023.

# ESTIMATING PROBABILISTIC YIELD GAP LEVELS IN EUCALYPTUS PLANTATIONS USING SPATIAL DATA SCIENCE

Clayton Alcarde Alvares<sup>1</sup>; Ítalo Ramos Cegatta<sup>1</sup>; Henrique Ferraço Escolforo<sup>1</sup>; Reginaldo Gonçalves Mafia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pesquisador. Av. Lírio Correa, 1465 - Cariobinha, Limeira - SP, 13473-762. Suzano SA

## RESUMO

*The yield gap issue in forestry has received minimal attention, as only a few studies have focused on this issue primarily from an ecophysiological perspective, rather than adopting a statistical approach. Based on more than 12,000 permanent forest inventory plots of commercial Eucalyptus plantations and the climate, soil, and altitude variables associated with them, a supervised ML approach was adjusted to model the forest plantation yield. We estimated a yield gap by an amount of  $4.2 \times 10^7 \text{ m}^3$ , representing a few more than 113,000 ha, or 15% of the current forest base. This present study provided deeper analysis and reproducible tools to manage forest assets sustainably.*

**PALAVRAS-CHAVE:** Forest inventory; Forest meteorology; Decision tree algorithm;;

## INTRODUÇÃO

*The forest-based companies hold huge repositories of forest inventory and environmental monitoring data, including meteorological series and increasingly accurate soil and relief maps. These datasets on tree growth and the environment are predominantly utilized for operational purposes, overlooking their potential for generating deep insights and powerful predictions. Despite foresters' awareness of the latent possibilities of these data, their use is still limited. The yield gap (YG) issue in forestry has received minimal attention, as only a few studies have focused on this issue primarily from an ecophysiological perspective (ELLI et al., 2019), rather than adopting a statistical approach. With the abundance of data, available computational power, and a balanced fusion of empirical and scientific knowledge, an opportunity arises to use spatial data science and machine learning concepts to improve YG estimates in forest plantations. In the last 4 years, ML usage for farm risk management is tripled (GHAFARIAN et al., 2022). Agriculture has made great use of these approaches (ALMEIDA et al., 2021), and in this study, we explore how forestry can benefit as well.*

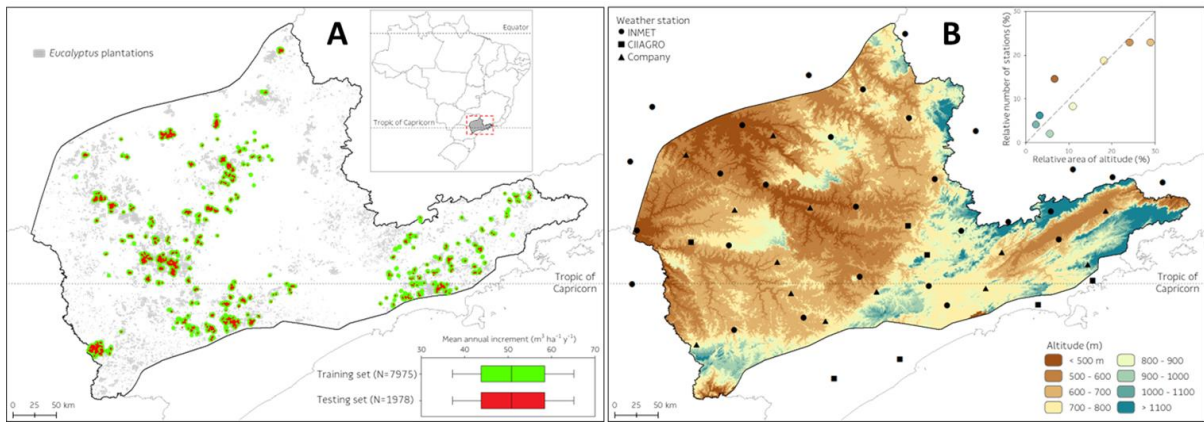
## OBJETIVOS

*To apply spatial data science and machine learning to model Eucalyptus plantations productivity and calculate the yield gap by using a probabilistic view.*

## MATERIAL E MÉTODOS

*The study area consists of approximately 11.4 million hectares located in southeastern Brazil, covering nearly 46% of the State of São Paulo (Figure 1A). Approximately 12,000 permanent forest inventory plots of the Suzano's Eucalyptus plantations were available for this study. Each plot was populated with predictor environmental information as aridity index (weather data came from company and <https://mapas.inmet.gov.br>), altitude (<https://www.earthdata.nasa.gov/sensors/srtm>), and soil order and texture (ROSSI, 2017) (Figure 1).*



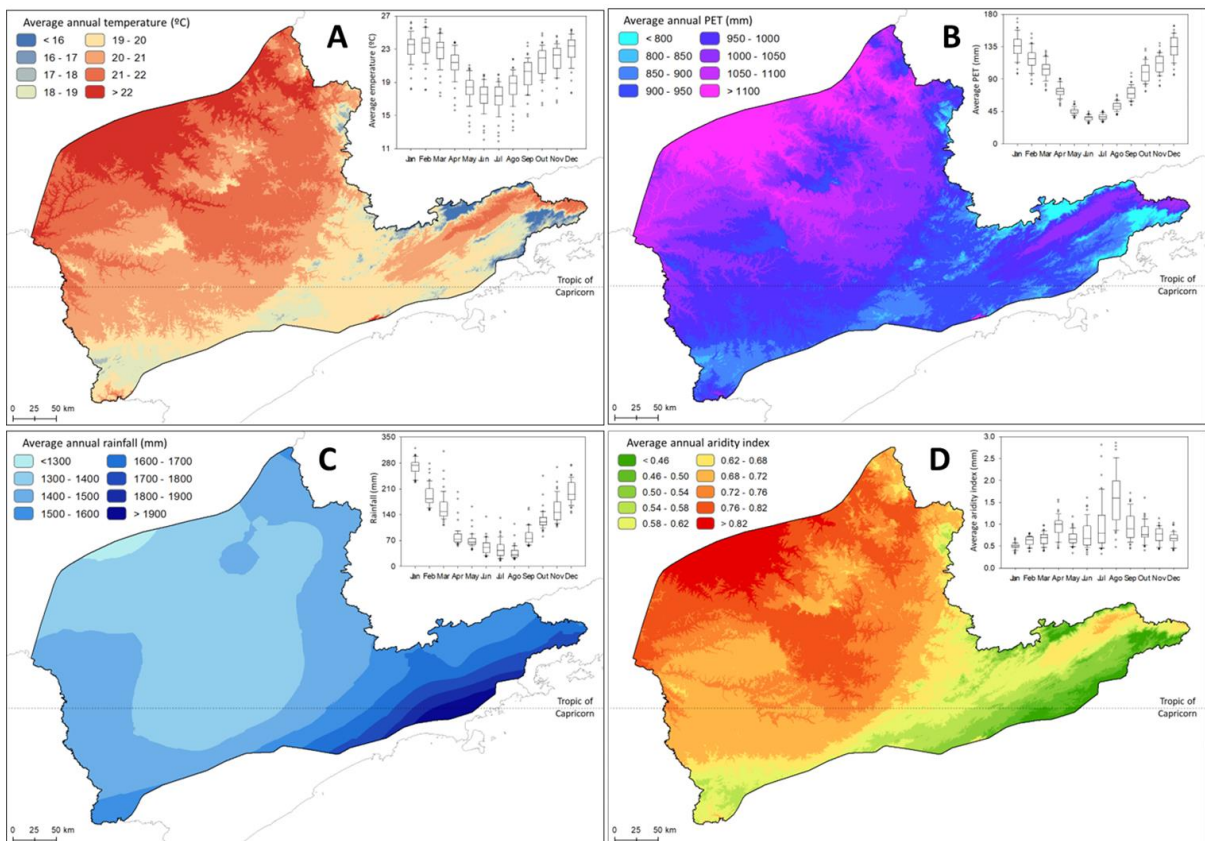


**Figure 1: Distribution of Eucalyptus plantations (light gray), and the network of Eucalyptus permanent forest inventory plots used for training and testing decision tree modelling (A). Altitude and the network of weather station (B).**

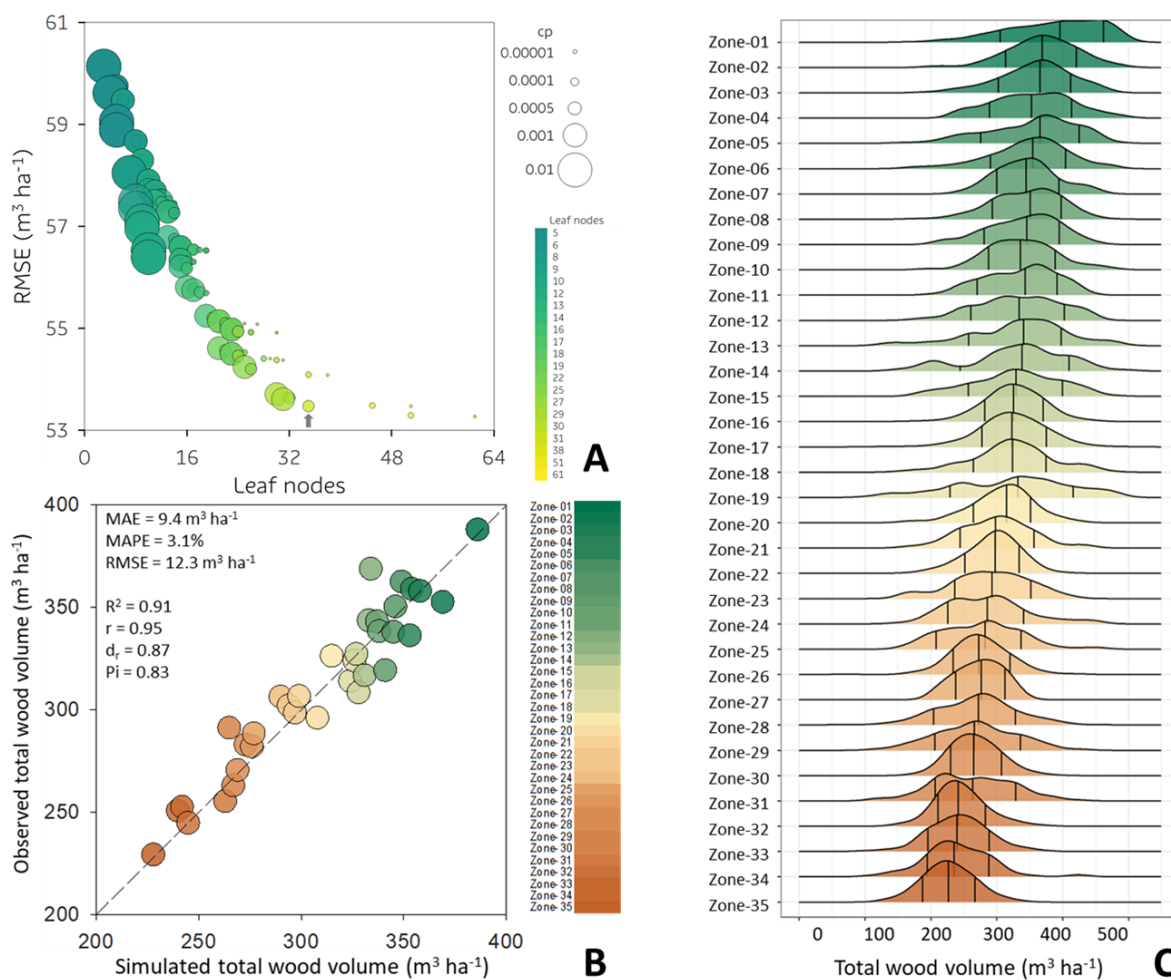
The plots were randomly divided into two datasets. The first, referred to as the training dataset, with 80% of all plots, was used in DT modelling exercise to build the yield zones for planted Eucalyptus forests. Another group, called testing dataset, with 20% remaining plots, was used to perform the validation of the yield zones produced by the DT. We used the *rpart* package (THERNEAU et al., 2015) and its routines for R software (<https://www.r-project.org>) to predict the yield zones. A broad multi-tuning of the DT hyperparameters was planned. Once the DT model was defined and its best-fitting hyperparameters were setup, a prediction was made transforming and spatializing each leaf node on yield zones for the study area based on DT rules. We assumed that the Eucalyptus plantations in the study area, covering 781,654 ha (Figure 1A), is uniformly aged at 6 years. Within each yield zone, we defined the average Eucalyptus wood stock based on a probability of 50%. We assumed also the 85<sup>th</sup> percentile threshold as a proxy for attainable yield. We estimated the YG for each yield zone by subtracting attainable yield from average yield.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Annual average air temperature multivariate regression model was significant ( $p < 0.001$ ), and the independent variables obtained showed a significance of 5% (Figure 2). Among the theoretical models tested, the spherical model best described the annual rainfall experimental semivariogram. The ratio between annual PET and annual rainfall was applied to obtain the annual aridity index. The higher index identifies more arid environments. Hyperparameters tuning approach yielded 450 DT models, with RMSE ranging from  $60.1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  for worst model with three leaf nodes to  $53.3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  for best model with 61 leaf nodes. A scatter plot with all tuning modelling outputs allowed to visualize a global exponential decay pattern between RMSE and number of leaf nodes each DT model (Figure 3A). The validation of DT model showed that our algorithm had an optimum performance to predicting the existing testing dataset throughout study area (Figure 3B). By retro-applying the DT rules to the training data and classifying it at each yield zone we were able to prospect the distribution and yield probabilities in each of them. The observed yield of each zone were adjusted to the normal distribution and the percentiles 15<sup>th</sup>, 50<sup>th</sup>, and 85<sup>th</sup> identified in the sophisticated ridgeline plot (Figure 3C).

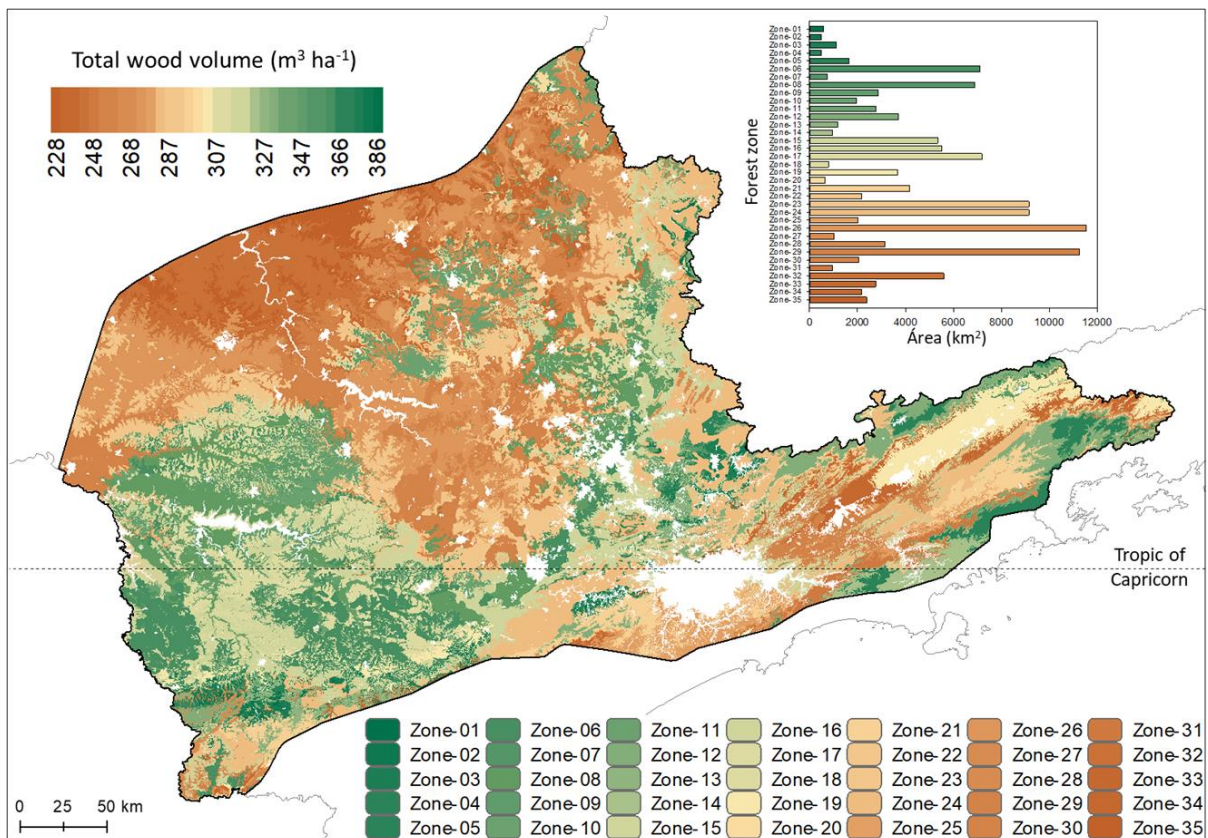


**Figure 2:** Average annual temperature (A) obtained by multivariate nonlinear regression model (A), average annual potential evapotranspiration obtained using Thornthwaite's model (B), average annual rainfall obtained via kriging interpolation (C), average annual aridity index obtained is ratio of annual potential evapotranspiration and annual rainfall (D).



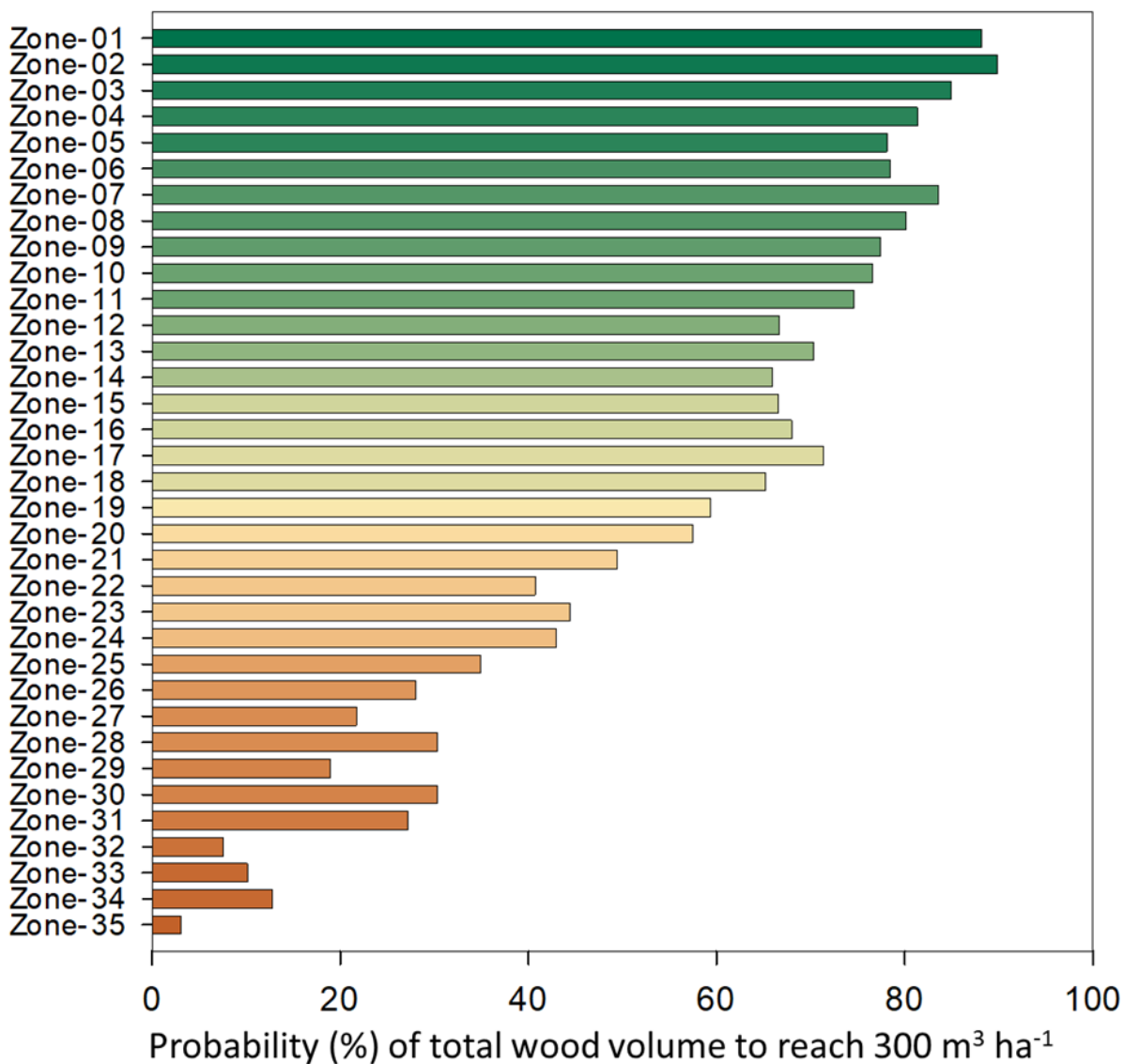
**Figure 3: Relationship between RMSE and yield zone for the 450 DT models obtained by tuning hyperparameters (A). Validation of DT model by comparison the simulated average wood volume at 6-years-old of each leaf node against testing dataset (B). Distribution of wood volume at 6-years-old from the training dataset for each yield zone (C).**

The outputs from the DT were spatialized for the study area providing a reliable cartographic visualization of probability levels of the *Eucalyptus* yield for the study area (Figure 4). The ten most productivity zones summarized 2,380,000 ha and are in the wetter and higher altitude landscapes of the study area. The ten lowest yield zones totaled 4,289,007 ha and are mostly spread in the center and northern region of the study area.



**Figure 4: Decision tree' output spatialized for the study area. Leaf nodes was ranked in decreasing order, named as yield zone-01 till 35.**

**A stakeholder prospecting for lands to lease for growing eucalypt forest whose baseline production is planned to be reach  $300 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$  at 6 years ( $50 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ ) has a following question: What is the probability that threshold will be reached at each yield zone? The answers with the probabilities are in Figure 4 and this is one of the significant leap forwards provided by our study. The Zone-01, Zone-02, Zone-03, and Zone-04 have more than 80% probability of yield reaching threshold  $300 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ , while for the Zone-32, Zone-33, Zone-34, and Zone-35 the probability dropped to less than 15%.**



**Figure 5: Probability of wood volume to reach 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> at 6-years-old for each yield zone.**

*We estimated the Eucalyptus wood stock in the study region was approximately  $2.44 \times 10^8 \text{ m}^3$  for a 50% probability (average yield). Based on 15<sup>th</sup> percentiles, there was an 85% probability the wood stock was greater than  $1.99 \times 10^8 \text{ m}^3$ . Considering the 85<sup>th</sup> percentile threshold as a proxy for attainable yield at each zone, we calculated that current Eucalyptus plantations across the study area would have a potential wood stock at this yield level by amount to  $2.86 \times 10^8 \text{ m}^3$ . The difference between the attainable and average yields of wood stocks of current Eucalyptus plantations was considered as the YG, and that huge amount sounds like  $4.2 \times 10^7 \text{ m}^3$ . The sum of each zone's yield gap ratios by its attainable yield (85<sup>th</sup> percentile) is few more than 113,000 ha, or 15% of current forest base. This is the amount of avoided area expansion in the current Eucalyptus forest base in the study area to accumulate the same wood stock if case the yield of the zones was raised to the attainable level in each zone.*

## CONCLUSÃO

*The developed tools and fully applicable results are extremely dependent on large environmental and tree growth databases. These integrated approaches will mainly require forest professionals with the skills to put it all together and produce insights, applied and reproducible tools, and conclusive results supporting the sustainability of the forestry business in an increasingly rapidly changing world.*

## **REFERÊNCIAS**

*Almeida, G.M.; Pereira, G.T.; Bahia, A.S.R.D.S.; Fernandes, K.; Júnior, J.M. Machine learning in the prediction of sugarcane production environments. Computers and Electronics in Agriculture, v.190, 106452, 2021.*

*Elli, E.F.; Sentelhas, P.C.; de Freitas, C.H.; Carneiro, R.L.; Alvares, C.A. Assessing the growth gaps of Eucalyptus plantations in Brazil-Magnitudes, causes and possible mitigation strategies. Forest Ecology and Management, v.451, 117464, 2019.*

*Ghaffarian, S.; van der Voort, M.; Valente, J.; Tekinerdogan, B.; de Mey, Y. Machine learning-based farm risk management: A systematic mapping review. Computers and Electronics in Agriculture, v.192, 106631, 2022.*

*ROSSI, M. Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: Revisado e Ampliado; Instituto Florestal: São Paulo, Brazil, v.1, p. 118, 2017.*

*Therneau, T.; Atkinson, B.; Ripley, B. Rpart: Recursive Partitioning and Regression Trees. R Package Version 4.1-10; 2015. (accessed on 1 February 2020)*

# MODELAGEM DO CRESCIMENTO DO MILHETO COM O AQUACROP: IMPLICAÇÕES PARA A PECUÁRIA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

*Regina Crisóstomo Grangeiro Pereira*<sup>1</sup>; *João Emanuel Ambrósio Gomes*<sup>2</sup>; *Gustavo Menezes Bernardo*<sup>3</sup>; *Gustavo Laurindo da Silva*<sup>1</sup>; *José Edson Florentino de Moraes*<sup>1</sup>; *Lara Rosa de Lima e Silva*<sup>1</sup>; *George do Nascimento Araújo Júnior*<sup>4</sup>; *Raphaella de Souza Sá Nascimento*<sup>1</sup>; *Kaique Renan da Silva Salvador*<sup>1</sup>; *Thieres George Freire da Silva*<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Discente. Faz. Saco, Serra Talhada, PE, 56909-460.. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada.; <sup>2</sup>Docente. Rodovia PE 320, KM 126, Zona Rural, Serra Talhada/PE - Brasil. Instituto Federal do Sertão de Pernambuco, Campus Serra Talhada; <sup>3</sup>Discente. Rodovia PE 320, KM 126, Zona Rural, Serra Talhada/PE - Brasil. Instituto Federal do Sertão de Pernambuco, Campus Serra Talhada; <sup>4</sup>Discente. BR-104, Km 85, s/n Rio Largo - AL CEP 57100-000. Departamento de produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias - CECA/UFAL; <sup>5</sup>Docente. Faz. Saco, Serra Talhada, PE, 56909-460.. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada

## RESUMO

*O conhecimento das melhores estratégias para o cultivo de plantas forrageiras é fundamental para o equilíbrio da pecuária, juntamente com o aprimoramento das técnicas de manejo, visando o aumento da produtividade dos alimentos. Nesse contexto, os modelos de simulação do crescimento de plantas se tornam ferramentas importantes para o planejamento agrícola. O objetivo deste estudo foi calibrar e validar o modelo AquaCrop para sistemas agrícolas com o cultivo do milheto em diferentes arranjos produtivos. Foram coletados dados da cultura, como fenologia, biometria e biomassa ao longo do ciclo, além da produtividade na colheita, e foram considerados fatores como clima, irrigação, solo e manejo. A avaliação do desempenho do modelo foi realizada utilizando índices estatísticos. Os resultados mostraram que o AquaCrop apresentou erros admissíveis na predição da produtividade das culturas avaliadas, apresentando ótimo desempenho e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) superior a 0,90. Dessa forma, concluiu-se que o modelo pode ser empregado para simular a produtividade das culturas em diferentes arranjos de cultivo em ambientes agrícolas no semiárido do Brasil, auxiliando no suprimento do déficit forrageiro da pecuária na região.*

**PALAVRAS-CHAVE:** Forrageiras; Modelo AquaCrop; Produtividade no Semiárido Brasileiro;;

## INTRODUÇÃO

*A atividade pecuária no Brasil contribui com 31% do PIB, oferecendo estabilidade econômica, especialmente na região semiárida, onde a falta de água e o manejo ineficiente prejudicam a produção de forragem (Veloso et al., 2020; Er-Raki et al., 2021).*

*Uma dessas alternativas é a seleção de plantas forrageiras resilientes e com alto potencial produtivo, que ajudam a enfrentar as adversidades edafoclimáticas (Silva et al., 2021). O milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) é uma cultura de metabolismo C4, que assimila CO<sub>2</sub> durante o dia, exibindo um elevado potencial de produção de biomassa, bem como tolerância ao déficit hídrico e eficiência no uso da água (Lauriault et al., 2021).*

*Além de selecionar culturas adaptadas ao clima, a produção pode ser otimizada por meio de práticas agrícolas que maximizem o uso da terra e a eficiência no uso da água (Araújo Júnior et al., 2021). O uso de ferramentas de gestão agrícola e de simulação de produtividade é essencial para o planejamento e tomada de decisão, reduzindo a vulnerabilidade aos riscos climáticos (Alvares et al., 2022).*

*Os modelos de simulação de crescimento de plantas representam cenários que combinam os efeitos do ambiente e do manejo, sendo úteis para elaborar cenários agrônômicos, calendários agrícolas e previsões de colheita em diferentes condições climáticas atuais e futuras (Huang et al., 2022).*

*Nesse contexto, o modelo AquaCrop se destaca como uma ferramenta agroclimática que avalia o impacto das condições climáticas no desempenho produtivo e na quebra de produtividade de culturas agrícolas sob variações de disponibilidade hídrica (Pinheiro et al., 2021). Sua interface oferece precisão, estabilidade e parâmetros de entrada intuitivos em comparação com outros modelos de simulação (D'Odorico et al., 2020)*

*Neste estudo, o modelo AquaCrop foi aplicado para o cultivo do milho em diferentes arranjos produtivos. Essa utilização do AquaCrop é considerada fundamental para enfrentar os desafios das mudanças climáticas e questões relacionadas ao solo no Semiárido brasileiro, ao mesmo tempo em que aprimora as práticas de manejo agrícola.*

## **OBJETIVOS**

*O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise dos rendimentos e das quedas de produtividade do milho em um ambiente semiárido. Para isso, realizou-se a calibração e validação do modelo AquaCrop - FAO, utilizando dados de clima, solo, manejo e informações da cultura. Além disso, foram investigadas estratégias de resiliência, como o uso de diferentes cultivares, cobertura morta e irrigação, com o intuito de aprimorar o desempenho agrônomo das plantas. Destacando-se, ainda, o propósito da contribuição com a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável da agricultura local.*

## **MATERIAL E MÉTODOS**

*O estudo foi realizado no Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e outras Plantas Forrageiras, localizado na Universidade Federal Rural de Pernambuco. O experimento envolveu sistemas consorciados de milho e palma forrageira, com diferentes condições de cobertura morta. O milho foi plantado em sulcos a uma densidade de 20 plantas por metro linear, com 125.000 plantas por hectare, posicionadas a 0,4 m da linha de cultivo da palma. Cada parcela experimental consistia em quatro fileiras de 4 m de comprimento.*

*O experimento utilizou um delineamento em blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições, incluindo palma exclusiva, milho exclusivo com e sem cobertura morta, e consórcio palma-milho com e sem cobertura morta. Foram aplicadas irrigações três vezes por semana por meio de um sistema de gotejamento, com características específicas de vazão e pressão.*

*A região apresenta um clima semiárido (tipo BSh), com chuvas concentradas nos meses mais quentes. As temperaturas variam entre 20,1 °C e 32,9 °C, com precipitação média anual de 642 mm, umidade relativa média de 63% e demanda atmosférica superior a 1.800 mm anualmente (Silva et al., 2021).*

*O estudo realizou simulações para parâmetros como o coeficiente de cultivo (CC) e o fator de balanço de energia (B), comparando os resultados simulados com dados de campo através de índices estatísticos como RMSE, NRMSE, R<sup>2</sup> e índice de concordância. Foram ajustados parâmetros com base na comparação entre dados simulados e observados, utilizando seis campos experimentais independentes para validar os parâmetros calibrados.*

*Em resumo, o estudo foi conduzido para avaliar sistemas consorciados de palma e milho em diferentes condições de manejo e cobertura morta, levando em consideração aspectos climáticos e agrônomo, e utilizando simulações para calibrar e validar os parâmetros do modelo.*

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**



*No presente estudo, foram utilizados dados de campo das culturas CC (Cobertura do dossel) e B (Biomassa) em unidades produtivas para a calibração individual do modelo AquaCrop em diferentes arranjos produtivos. Como o modelo não suporta a simulação de sistemas de cultivo em consórcio, optou-se por calibrar as culturas de forma individualizada. No entanto, com o registro da biomassa de ambas as culturas, foi possível obter a produtividade do sistema consorciado.*

*Analisando o comportamento dos sistemas produtivos entre o clone da palma e o milho, tanto em condições exclusivas como consorciadas, e sob sistemas com e sem cobertura morta, constatou-se que a palma apresentou um crescimento da cobertura do dossel mais acentuado quando submetida à cobertura morta.*

*Os resultados das simulações da produção da palma revelaram que durante o período de maior déficit hídrico e temperaturas mais elevadas, o modelo subestimou a produtividade de biomassa observada. Apesar disso, houve similaridade nos principais parâmetros ajustados do modelo entre os tratamentos analisados, considerando suas respectivas características metabólicas. Essa comparação foi realizada entre o clone em diferentes situações e o milho em diversos sistemas produtivos.*

*Os resultados estatísticos da validação da cobertura do solo (CC) e da biomassa foram apresentados no Quadro 1, revelando valores significativos, com um coeficiente de determinação médio ( $R^2$ ) igual a 0,91 e 0,97, respectivamente. Além disso, observou-se uma maior precisão na simulação da produção de biomassa em comparação com a simulação da cobertura do solo, com valores médios de Erro Relativo Médio Quadrático Normalizado (NRMSE) de 2,96% e 29,52%, respectivamente. A consistência na estimativa da produtividade é reforçada pelos excelentes desempenhos dos índices de concordância de wilmonnt ( $d$ ) em todos os sistemas avaliados.*

**Quadro 1: Parâmetros estatísticos resultantes da validação da Cobertura do Dossel e Biomassa para as cultivar de Milheto.**

VALIDAÇÃO	COBERTURA DO DOSSSEL	BIOMASSA
RMSE	11,25	0,19
NRMSE	29,52	2,96
$R^2$	0,91	0,97
$d$	0,85	0,97

## **CONCLUSÃO**

*Neste estudo, a aplicação do modelo AquaCrop para o cultivo do milho em diferentes arranjos produtivos demonstrou resultados promissores. Concluiu-se que o modelo pode ser efetivamente empregado para simular a produtividade da cultura do milho em ambientes agrícolas no semiárido brasileiro. Essa ferramenta mostra-se valiosa para auxiliar no suprimento do déficit forrageiro da pecuária na região, proporcionando aos agricultores e pecuaristas uma importante referência para o planejamento e otimização dos sistemas agrícolas. A utilização do AquaCrop pode contribuir para melhorar a sustentabilidade e a resiliência das práticas de cultivo, permitindo uma produção mais eficiente e resiliente diante das condições adversas do clima e solo característicos do semiárido. Dessa forma, esse estudo oferece uma perspectiva promissora para o aprimoramento da agricultura na região e para a busca de soluções que contribuam para o desenvolvimento sustentável do setor agropecuário local.*

## AGRADECIMENTOS

*Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco - FACEPE. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal - PGPV / UAST. Grupo de Agrometeorologia do Semiárido - GAS.*

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO JUNIOR, G. Growth dynamics and accumulation of forage mass of forage cactus clones as affected by meteorological variables and water regime. *European Journal of Agronomy*, v. 131, dez. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126375>>. Acesso em: 05 de ago. 2023.

D'ODORICO, Paolo. The global value of water in agriculture. *Proceedings of the national academy of sciences*, v. 117, n. 36, p. 21985-21993, mar. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1073/pnas.2005835117>>. Acesso em: 05 de ago. 2023.

ER-RAKI, S., BOURAS, E., RODRIGUEZ, J. C., WATTS, C. J., LIZARRAGA-CELAYA, C., CHEHBOUNI, A. Parameterization of the AquaCrop model for simulating table grapes growth and water productivity in an arid region of Mexico. *Agricultural Water Management*, v. 245, p. 378-3774, fev. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106585>>. Acesso em: 05 de ago. 2023.

HUANG, M. Modelling the integrated strategies of deficit irrigation, nitrogen fertilization, and biochar addition for winter wheat by AquaCrop based on a two-year field study. *Field Crops Research*, v. 282, p. 108510, jun. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/J.FCR.2022.108510>>. Acesso em: 05 de ago. 2023.

LAURIAULT, L. M. A Comparison of Pearl Millet and Sorghum-Sudangrass Pastures during the Frost-Prone Autumn for Growing Beef Cattle in Semiarid Region. *Agriculture 2021*, v. 11, p. 541, jun. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE11060541>> Acesso em: 05 de ago. 2023.

PEREIRA, L. S. Prediction of crop coefficients from fraction of ground cover and height: Practical application to vegetable, field and fruit crops with focus on parameterization. *Agricultural Water Management*, v. 252, p. 106663, jun. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106663>>. Acesso em: 05 de ago. 2023.

SILVA, T. G. F. Soil properties and microclimate of two predominant landscapes in the Brazilian semiarid region: Comparison between a seasonally dry tropical forest and a deforested area. *Soil and Tillage Research*, v. 207, p. 104852, mar. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104852>>. Acesso em: 05 de ago. 2023.

SOUSA, M. G. Long-term effects of irrigated agriculture on Luvisol pedogenesis in semi-arid region, northeastern Brazil. *CATENA*, v. 206, p. 105529. nov. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105529>>. Acesso em: 05 de ago. 2023.

VELOSO, G. A., Ferreira, M. E., Ferreira Júnior, L. G., Silva, B. B. (2020). Modelling gross primary productivity in tropical savanna pasturelands for livestock intensification in Brazil. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v.17, p.100288.

<<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100288>>. Acesso em: 05 de ago. 2023.

# MODELO AQUACROP: APRIMORANDO O MANEJO AGRÍCOLA E GARANTINDO A PRODUTIVIDADE DO SORGO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

*Regina Crisóstomo Grangeiro Pereira*<sup>1</sup>; *João Emanuel Ambrósio Gomes*<sup>2</sup>; *Gustavo Menezes Bernardo*<sup>3</sup>; *Gustavo Laurindo da Silva*<sup>1</sup>; *Kaique Renan da Silva Salvador*<sup>1</sup>; *Lara Rosa de Lima e Silva*<sup>1</sup>; *João Pedro Alves de Souza Santos*<sup>1</sup>; *Raphaella de Souza Sá Nascimento*<sup>1</sup>; *Cleber Pereira Alves*<sup>1</sup>; *Thieres George Freire da Silva*<sup>4</sup>

<sup>1</sup>DISCENTE. Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n - Serra Talhada, PE, 56909-535. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada; <sup>2</sup>DOCENTE. Rodovia PE 320, KM 126, Zona Rural, Serra Talhada/PE. Instituto Federal do Sertão de Pernambuco, Campus Serra Talhada; <sup>3</sup>DISCENTE. Rodovia PE 320, KM 126, Zona Rural, Serra Talhada/PE. Instituto Federal do Sertão de Pernambuco, Campus Serra Talhada; <sup>4</sup>DOCENTE. Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n - Serra Talhada, PE, 56909-535. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada

## RESUMO

*O uso de modelos na agricultura no Semiárido brasileiro tem se mostrado essencial para melhorar a tomada de decisões no campo. Com o emprego de modelos matemáticos como o AquaCrop - FAO, é possível otimizar o manejo agrícola e o uso dos recursos, aumentando a produção e garantindo a segurança alimentar. Paralelamente, a cultura do sorgo se destaca pela adaptação às condições de escassez hídrica. Assim, o estudo buscou calibrar e validar o modelo AquaCrop utilizando dados de clima, solo e manejo da cultura do sorgo. Os resultados mostraram que o modelo é de fácil uso e apresentou boa precisão na simulação da produtividade em condições de sequeiro, apresentando erros admissíveis na predição da produtividade da cultura avaliada, apresentando desempenho muito bom ( $c > 0,80$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) superior a 0,80. Dessa forma, concluiu-se que a aplicação do modelo AquaCrop é promissora para aprimorar o manejo agrícola na região, beneficiando produtores e a população local.*

**PALAVRAS-CHAVE:** *Simulação Agrícola; Forrageiras; Resiliência Agrícola;*

## INTRODUÇÃO

*O semiárido brasileiro abrange uma vasta área de 1.127.953 km<sup>2</sup>, representando a maior parte da região Nordeste e uma parcela significativa do território nacional (SUDENE, 2017). Com quase 2 milhões de habitantes, essa região é caracterizada pelo clima semiárido e pela maior densidade populacional nesse tipo de clima no mundo (IBGE, 2018). No entanto, o clima é variável, com chuvas médias anuais abaixo de 800 mm, alta evapotranspiração de cerca de 2.000 mm e temperatura média de 25 °C, afetando a disponibilidade de forragem (Silva et al., 2021).*

*A variação irregular das chuvas e práticas agrícolas inadequadas impactam negativamente a produção de forragem, especialmente durante períodos de escassez hídrica (Er-Raki et al., 2021). Isso afeta cerca de 50% da população da região, que depende da agricultura de subsistência, principalmente em pequenas propriedades com cultivos não irrigados (Sousa et al., 2021).*

*Para aumentar a resiliência agrícola e garantir um suprimento constante de forragem ao longo do ano, é crucial adotar medidas que otimizem o uso dos recursos naturais e melhorem a produtividade das culturas forrageiras (Araújo Júnior et al., 2021). Nesse contexto, o sorgo se destaca devido à sua adaptabilidade ao clima da região e alta produtividade (Lauriault et al., 2021).*

*Os modelos de simulação de culturas, como o AquaCrop desenvolvido pela FAO, são ferramentas valiosas para entender as interações entre culturas, solo, clima e manejo agrícola (Alvares et al., 2022). Esses modelos fornecem informações sobre rendimentos das culturas, balanço hídrico em resposta a mudanças climáticas e estratégias de manejo otimizadas (Huang et al., 2022).*

*Essas informações são cruciais para melhorar o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), uma ferramenta Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (MAPA, 2022), que ajuda a gerenciar riscos na agricultura. O uso dessas informações possibilita um mapeamento mais abrangente e melhora a relação entre culturas forrageiras e práticas agrícolas em diferentes cenários climáticos.*

## **OBJETIVOS**

*Esta pesquisa visou analisar os rendimentos e quedas de produtividade do sorgo em ambiente semiárido. Para tanto foi calibrado e validado o modelo AquaCrop - FAO com dados de clima, solo, manejo e das culturas. Também foram estudadas estratégias de resiliência, como diferentes cultivares, cobertura morta e irrigação, para melhorar o desempenho agrônômico das plantas. Com isso objetivou-se contribuir para a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável da agricultura local.*

## **MATERIAL E MÉTODOS**

*O estudo foi conduzido no campo experimental "Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e outras Plantas Forrageiras", localizado na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, município de Serra Talhada, PE, Brasil (7°56'20" S; 38°17'31" O e 499 m de altitude).*

*As condições climáticas incluem temperaturas máximas e mínimas de 20,1 a 32,9 °C, precipitação média de 642 mm por ano e umidade média do ar de 63% (Alvares et al., 2013). O solo foi classificado como Cambissolo Háptico Ta Eutrófico típico, bem drenado e com textura de areia franca (Pereira et al., 2015).*

*Na área 1, foi realizado o cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), semeado em sulcos espaçados a 0,25 m e paralelos às fileiras do cladódio basal da palma forrageira, com uma profundidade de 0,05 m. Após o estabelecimento das plântulas (cerca de 15 dias), foi realizado o desbaste, deixando 20 plantas por metro linear (200.000 plantas ha<sup>-1</sup>).*

*Os dados climáticos, de solo, manejo agrícola e características da cultura foram inseridos para simulações. Parâmetros conservativos e de manejo da cultura foram ajustados com base em dados observados em campo e simulações iniciais. O coeficiente de cultivo (CC) e o fator de balanço de energia (B) foram simulados e comparados com dados reais em um processo de autovalidação. Parâmetros não conservativos foram ajustados após análise da dispersão entre dados simulados e observados.*

*A calibração dos parâmetros foi validada usando dados de campos experimentais independentes. A precisão do modelo foi avaliada com vários índices estatísticos, incluindo raiz quadrada do erro médio (RMSE), erro quadrático médio normalizado (NRMSE), coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), índice de concordância e Índice de Confiança.*

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

*A calibração adequada dos principais parâmetros do modelo AquaCrop é essencial para garantir resultados confiáveis ao simular o crescimento de cultivares de sorgo forrageiro. Essa ferramenta de modelagem agrícola permite que agricultores e especialistas otimizem o manejo da irrigação, tomem decisões informadas sobre plantio e colheita e promovam a sustentabilidade na produção de alimentos e forragem. A pesquisa contínua e o aprimoramento desses parâmetros são fundamentais para impulsionar uma agricultura eficiente e sustentável.*

Nesta seção, apresentamos os resultados obtidos a partir da validação dos parâmetros estatísticos relacionados à cobertura do dossel e à biomassa em cultivar de sorgo forrageiro (Figura 1). Por meio de análises detalhadas, buscamos avaliar a eficiência e a precisão das medições, fornecendo informações cruciais para a seleção e o manejo adequado dessas cultivares em sistemas de produção forrageira.

Ao analisar o desenvolvimento do sorgo, observamos um crescimento notável da cobertura do dossel durante o ciclo da cultivar 467, atingindo 87,4%. Além disso, em resposta ao desenvolvimento da cobertura do dossel, a cultivar 467 apresentou produção de biomassa nos sistemas consorciados com palma, com um valor médio de 10,33 Mg ha<sup>-1</sup>, representando um aumento de 25,7%. Os sistemas de plantio exclusivo também resultaram em ótimas produções de biomassa para as cultivares de sorgo.

Dentre os principais parâmetros ajustados na simulação das cultivares de sorgo, destaca-se a maior produtividade de água para as condições de cultivo exclusivo do sorgo. Os resultados da validação das simulações do crescimento e desenvolvimento das cultivares de sorgo nos sistemas mostraram-se confiáveis, com valor médio de NRMSE (Erro Médio Quadrático Normalizado) de 15,6% e R<sup>2</sup> (coeficiente de determinação) de 0,97 para a cobertura do dossel. Para a produção de biomassa, os valores médios de NRMSE foram de 10,9% e R<sup>2</sup> de 0,92, demonstrando um bom desempenho do modelo.

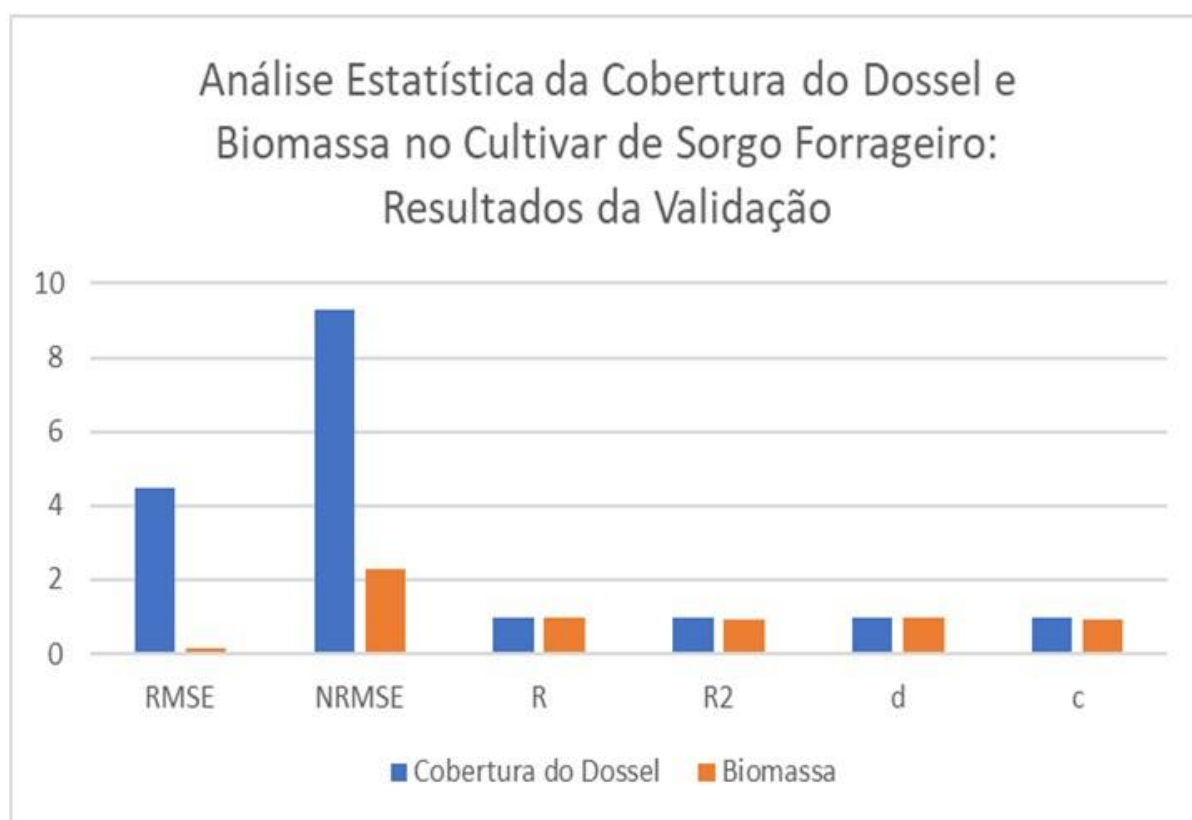


Figura 1: Gráfico de Barras com parâmetros estatísticos resultantes da validação da Cobertura do Dossel e Biomassa para cultivar de sorgo forrageiro.

## CONCLUSÃO

As mudanças climáticas impactam significativamente o desenvolvimento agrícola e a produção de alimentos. Estudos mostram que essas mudanças podem aumentar as perdas de produtividade nas culturas agrícolas. Para entender melhor esses efeitos, o uso de modelos de simulação é crucial, especialmente em sistemas de cultivo com poucos dados disponíveis. É fundamental aprimorar a

*relação entre experimentos e modelos, analisando diversos fatores extremos, como clima, genótipo e manejo agrícola. Compreender esses impactos é essencial para garantir a segurança alimentar e desenvolver estratégias de adaptação no setor agrícola em meio a um mundo em transformação climática.*

#### **AGRADECIMENTOS**

*Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco - FACEPE. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal - PGPV / UAST. Grupo de Agrometeorologia do Semiárido - GAS.*

#### **REFERÊNCIAS**

*ALVARES, C. A. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, dez. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>>. Acesso em: 03 de ago. 2023.*

*ARAÚJO JUNIOR, G. Growth dynamics and accumulation of forage mass of forage cactus clones as affected by meteorological variables and water regime. European Journal of Agronomy, v. 131, dez. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126375>>. Acesso em: 05 de ago. 2023.*

*ER-RAKI, S., BOURAS, E., RODRIGUEZ, J. C., WATTS, C. J., LIZARRAGA-CELAYA, C., CHEHBOUNI, A. Parameterization of the AquaCrop model for simulating table grapes growth and water productivity in an arid region of Mexico. Agricultural Water Management, v. 245, p. 378-3774, fev. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106585>>. Acesso em: 05 de ago. 2023.*

*HUANG, M. Modelling the integrated strategies of deficit irrigation, nitrogen fertilization, and biochar addition for winter wheat by AquaCrop based on a two-year field study. Field Crops Research, v. 282, p. 108510, jun. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/J.FCR.2022.108510>>. Acesso em: 05 de ago. 2023.*

*LAURIAULT, L. M. A Comparison of Pearl Millet and Sorghum-Sudangrass Pastures during the Frost-Prone Autumn for Growing Beef Cattle in Semiarid Region. Agriculture 2021, v. 11, p. 541, jun. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE11060541>> Acesso em: 05 de ago. 2023.*

*SILVA, T. G. F. Soil properties and microclimate of two predominant landscapes in the Brazilian semiarid region: Comparison between a seasonally dry tropical forest and a deforested area. Soil and Tillage Research, v. 207, p. 104852, mar. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104852>>. Acesso em: 05 de ago. 2023.*

*SOUSA, M. G. Long-term effects of irrigated agriculture on Luvisol pedogenesis in semi-arid region, northeastern Brazil. CATENA, v. 206, p. 105529. nov. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105529>>. Acesso em: 05 de ago. 2023.*

*STEDUTO, P. AquaCrop-The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. Agronomy Journal, v. 101, p. 426-437, maio 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.2134/agronj2008.0139s>>. Acesso em: 05 de ago. 2023.*

## *14. Outros*

# **EFEITO DA INTERAÇÃO ZINCO E CÁDMIO SOBRE VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS EM FEIJÃO CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**

**Gilberto de Souza e Silva Júnior<sup>1</sup>; Rannilson Cabral Pereira e Silva<sup>2</sup>; Levy Paes Barreto<sup>3</sup>; Luiz Evandro da Silva<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>DISCENTE E PROFESSOR. AVENIDA PROFESSOR LUIZ FREIRE, 500 CIDADE UNIVERSITÁRIA RECIFE-PE. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO E INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO; <sup>2</sup>DISCENTE. AVENIDA DOM MANOEL DE MEDEIROS S/N DOIS IRMÃOS RECIFE-PE. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO; <sup>3</sup>DOCENTE. AVENIDA DOM MANOEL DE MEDEIROS S/N DOIS IRMÃOS RECIFE-PE. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO; <sup>4</sup>DISCENTE. CAMPUS UNIVERSITÁRIO S/N CAPÃO DO LEÃO-RS. UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

## **RESUMO**

*O feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é um dos mais importantes componentes da dieta alimentar do brasileiro, por ser reconhecidamente uma excelente fonte proteica, além de possuir bom conteúdo de carboidratos, vitaminas, minerais, fibras e compostos fenólicos com ação antioxidante. Os solos contaminados com metais pesados tornaram-se um problema sério em muitas partes do mundo. Estudos realizados demonstram que altas concentrações de metais pesados no solo podem ser resultantes de diferentes fontes antrópicas, como atividades industriais, agrícolas e de tráfego. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do zinco sobre a toxidez de cádmio em variáveis biométricas em feijão caupi. O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal Rural de Pernambuco, em Recife. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com cinco repetições, em um arranjo fatorial entre três doses de zinco (0,025; 0,05 e 0,1 mg.L<sup>-1</sup>) e duas doses de cádmio (0 e 14,84 mg.L<sup>-1</sup>) na solução nutritiva de Hoagland e Arnon, totalizando 30 unidades experimentais. As variáveis biométricas analisadas foram: NF, ØC, ALT, AF, BFF, BFPC, BFR, BFT, BSF, BSCP, BSR, BST, ABF, ABCP, ABR, SCF, SCCP, SCR, RAF, IE, TAL, PA/R, TCA e TCR. Os resultados das variáveis biométricas foram analisados estatisticamente por meio de programa estatístico, procedendo-se a análise de variância e aplicação do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, para a comparação das médias. A presença de cádmio (Cd) à solução nutritiva ocasionou reduções significativas (>50%), em relação ao controle, em 58% das variáveis biométricas analisadas, conferindo assim seu efeito tóxico a cultivar MIRANDA IPA 207.*

**PALAVRAS-CHAVE:** Feijão; Toxicidade; Crescimento;;

## **INTRODUÇÃO**

*O feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é um dos mais importantes componentes da dieta alimentar do brasileiro, por ser reconhecidamente uma excelente fonte proteica, além de possuir bom conteúdo de carboidratos, vitaminas, minerais, fibras e compostos fenólicos com ação antioxidante que podem reduzir a incidência de doenças. Também possui grande relevância na área socioeconômica, devido principalmente, à mão de obra empregada durante o ciclo da cultura pelo baixo custo de produção, por apresentar ciclo curto e rusticidade para desenvolver-se em solos de baixa fertilidade (FATOKUN et al. 2002; FREIRE FILHO et al. 2005).*

*Segundo Freire Filho et al. (2006), nos últimos anos a cultura vem despertando o interesse de agricultores do setor empresarial, cuja lavoura é totalmente mecanizada, sendo utilizado cultivares com arquitetura mais compacta e ereta. Em razão de fatores climáticos, atuação de pragas que prejudicam os diversos estágios de desenvolvimento da cultura no campo e aqueles que danificam os grãos armazenados e baixo nível de tecnologia empregado, a produtividade tem se mantido baixa, especialmente nos estados do Nordeste.*



*O solo é um recurso natural e representa um importante componente de todos os ecossistemas terrestres, pois é a base para a sustentabilidade dos seres humanos. Além de ser um suporte ao desenvolvimento de alimentos de origem vegetal e animal, servindo ainda como uma barreira natural à contaminação de águas subterrâneas. Entretanto, apesar da importância, o solo, atualmente ainda é propenso à degradação ou declínio de sua qualidade devido ao mau uso e à má gestão das mais diversas maneiras (PEREIRA, et al., 2015).*

*Os solos contaminados com metais pesados tornaram-se um problema sério em muitas partes do mundo. Estudos realizados demonstram que altas concentrações de metais pesados no solo podem ser resultantes de diferentes fontes antrópicas, como atividades industriais, agrícolas e de tráfego (QING et al, 2015; NI et al., 2018; SUN et al., 2018;; WU et al., 2018a; ESSIEN et al., 2019; JIA et al., 2019).*

*Além dos problemas causados ao solo e aos recursos hídricos (ZHANG et al., 2018), esses contaminantes também causam danos à saúde humana sejam através de ingestão, inalação ou contato dérmico (ZHAO et al., 2019; BALTAS et al., 2020). Pesquisas já foram realizadas para avaliar o nível de poluição dos solos por metais pesados e as principais fontes de contaminação. Tais pesquisas constataram níveis que excedem os valores aceitáveis de zinco (Zn), cobre (Cu), chumbo (Pb), níquel (Ni), cromo (Cr), cádmio (Cd), astato (At) e mercúrio (Hg) em solos agrícolas (XU et al., 2014; DOABI et al., 2018, HUANG et al., 2018).*

*O zinco (Zn) é um micronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento de todos os organismos vivos, incluindo seres humanos e plantas (BROADLEY, 2012). É um elemento requerido de forma catalítica e estrutural por muitas enzimas, como a desidrogenase alcoólica, a anidrase carbônica e a superóxido dismutase que atuam na síntese de proteínas, no metabolismo de carboidratos e ainda pode ser requerido para a biossíntese de clorofila (KABATA-PENDIAS, 2010; BROADLEY, 2012). Apesar da essencialidade, o excesso de zinco pode causar toxidez e prejudicar o desenvolvimento das plantas.*

*Os efeitos mais observados de intoxicação de plantas por cádmio (Cd) são redução do crescimento e do alongamento das raízes, inibição da abertura estomática, inibição da síntese de clorofila, inibição da fotossíntese, clorose, diminuição da quantidade de carotenoides, redução da taxa de transpiração, inibição da formação de pólen e do crescimento do tubo polínico, aumento dos níveis de peroxidação lipídica, estresse oxidativo e enzimas antioxidantes, inibição da fosforilação oxidativa mitocondrial, interferência na absorção, no transporte e no uso de vários macro e micronutrientes, especialmente ferro (Fe), manganês (Mn) e Zn, distúrbio do controle redox, entre outros (GUIMARÃES et al., 2008; BAPTISTA, 2009).*

## **OBJETIVOS**

*O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do zinco (Zn) sobre a toxidez de cádmio (Cd) em variáveis biométricas de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.).*

## **MATERIAL E MÉTODOS**

*O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal Rural de Pernambuco, em Recife, durante o período de 20/07/22 a 19/08/2022. Durante o período experimental, as médias da temperatura do ar, umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor foram de 22,3°C, 68% e 1,055 Kpa, respectivamente. Foram utilizadas sementes de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cultivar MIRANDA IPA 207, cedidas pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA).*

*O substrato utilizado para o cultivo do feijão caupi foi a areia lavada. A areia foi posta em baldes com capacidade de 13 litros que recebeu água corrente até que a mesma se tornasse translúcida e com pH entre levemente ácido a neutro. Após isso, foi adicionado a areia uma dose de 250 mL de HCl industrial e em seguida foi colocada em repouso por um período de 24 h e posteriormente foi lavada com água corrente e aferido o pH. A areia lavada foi distribuída em vasos de 3 litros.*

*Em cada vaso foram semeadas cinco sementes de feijão caupi e, após o desbaste, foram mantidas duas plantas por vaso. As sementes foram irrigadas com água destilada até o momento em que ocorreram o aparecimento das primeiras folhas definitivas. Após esse período, as mesmas foram irrigadas com a solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950).*

*Após o aparecimento de duas folhas definitivas, as plântulas passaram a ser irrigadas manualmente conforme os tratamentos.*

*O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com cinco repetições, em um arranjo fatorial entre três doses de zinco (0,025; 0,05 e 0,1 mg.L<sup>-1</sup>) e duas doses de cádmio (0 e 14,84 mg.L<sup>-1</sup>) na solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950), totalizando 30 unidades experimentais.*

*Para a obtenção das variáveis de crescimento foram realizadas medições semanais do número de folhas (NF) através de contagem, do diâmetro do caule (ØC) utilizando-se um paquímetro digital, tendo como referência o local do caule identificado por uma fita colorida colocada a 5 cm da superfície do substrato, da altura da planta (ALT) com o auxílio de uma fita métrica levando-se em consideração o comprimento compreendido entre a fita colorida utilizada como referência para obtenção do diâmetro do caule e o ponto de inserção da 1ª folha totalmente expandida, e a área foliar (AF) utilizando a equação proposta por Lima (2008).*

*Por ocasião da coleta, aos vinte e um dias de tratamento, foram coletados, separadamente, limbo foliar, caule + pecíolos e raízes e medidas as biomassas frescas (limbo foliar - BFF, caule + pecíolo - BFPC, raízes - BFR e total - BFT) utilizando-se uma balança digital com precisão de 0,001 g. As raízes foram submetidas a uma lavagem em água corrente para retirada do excesso de substrato (areia) e, em seguida colocadas em peneira a fim de retirar o excesso de água.*

*As partes fracionadas (parte aérea e raízes) foram acondicionadas, separadamente, em sacos de papel devidamente identificados. Em seguida, todo o material vegetal foi posto para secar em estufa de aeração forçada a 65°C até peso constante (72 h), para posterior obtenção das biomassas secas (limbo foliar - BSF, caule + pecíolos - BSCP, raízes - BSR e total - BST) utilizando-se também uma balança semi-analítica digital.*

*Foram calculados, segundo Benincasa (2003): alocação da biomassa nos diferentes órgãos (limbo foliar - ABF, caule + pecíolo - ABCP e raízes - ABR); suculência nos diferentes órgãos (limbo foliar - SCF, caule + pecíolo - SCCP e raízes - SCR); razão de área foliar (RAF); índice de esclerofila (IE); taxa de assimilação líquida (TAL); razão parte aérea:raízes (PA/R) e taxas de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR).*

*Os resultados das variáveis de crescimento foram analisados estatisticamente por meio do programa SISVAR (FERREIRA, 2011), procedendo-se a análise de variância e aplicação do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, para a comparação das médias.*

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

*A adição do cádmio à solução nutritiva provocou reduções significativas no número de folhas (NF) e diâmetro do caule (ØC) no tratamento com a maior concentração de zinco (0,1 mg.L<sup>-1</sup>) da ordem*

de 26,18% e 20,94%, respectivamente (Tabela 1). No entanto, o aumento da concentração de zinco (de 0,025 mg.L<sup>-1</sup> para 0,1 mg.L<sup>-1</sup>) na ausência do cádmio provocou um incremento significativo no número de folhas (NF) e diâmetro do caule (ØC) da ordem de 42,86% e 31,72%, respectivamente (Tabela 1).

Com relação à altura de plantas (ALT), a adição do cádmio à solução nutritiva provocou reduções significativas nas concentrações de zinco de 0,05 e 0,1 mg.L<sup>-1</sup> da ordem de 49,96% e 69,16% respectivamente. Já na concentração de zinco de 0,025 mg.L<sup>-1</sup> o cádmio provocou um incremento significativo na altura de plantas (ALT) na ordem de 70,34%. Com relação ao aumento na concentração de zinco à solução nutritiva na ausência do cádmio, houve um incremento significativo na altura de plantas (ALT) na maior concentração de zinco (0,1 mg.L<sup>-1</sup>) em relação ao controle (0,025 mg.L<sup>-1</sup>) na ordem de 195,47%. O contrário aconteceu com a presença do cádmio à solução nutritiva em que ocorreu uma redução significativa na altura de plantas (ALT) da ordem de 46,52% (Tabela 1).

Para a variável área foliar (AF), a adição do cádmio à solução nutritiva provocou reduções significativas nas concentrações de zinco de 0,05 e 0,1 mg.L<sup>-1</sup> da ordem de 29,00% e 58,91% respectivamente. No entanto, na concentração de zinco de 0,025 mg.L<sup>-1</sup> o cádmio provocou um incremento na área foliar (AF) da ordem de 40,58%. Já com relação ao aumento na concentração de zinco à solução nutritiva na ausência do cádmio, houve um incremento significativo na área foliar (AF) na maior concentração de zinco (0,1 mg.L<sup>-1</sup>) em relação ao controle (0,025 mg.L<sup>-1</sup>) da ordem de 106,71%. O contrário aconteceu com a presença do cádmio à solução nutritiva em que ocorreu uma redução significativa na área foliar (AF) da ordem de 39,59%. Na interpretação dos resultados da área foliar faz-se necessário atentar para um elevado desvio padrão. Esta observação pode ser explicada pela tendência de apresentar folhas mais enroladas em relação às folhas das plantas no tratamento controle (Tabela 1).

A presença do cádmio à solução nutritiva nas concentrações de zinco de 0,05 mg.L<sup>-1</sup> e 0,1 mg.L<sup>-1</sup> provocou reduções significativas nas biomassas frescas do limbo foliar (BFF) (na ordem de 31,37% e 62,78%, respectivamente), do caule + pecíolo (BFCP) (da ordem de 30,00% e 74,75%, respectivamente) e total (BFT) (da ordem de 28,66% e 69,04%, respectivamente). No entanto, nessas mesmas concentrações de zinco, o cádmio provocou um incremento significativo na biomassa fresca da raiz (BFR) da ordem de 258,06% (0,05 mg.L<sup>-1</sup>) e uma redução significativa nessa mesma variável da ordem de 63,37% (0,1 mg.L<sup>-1</sup>). Já no controle (concentração de zinco - 0,025 mg.L<sup>-1</sup>), a presença do cádmio à solução nutritiva provocou aumento significativo apenas nas biomassas frescas do caule + pecíolo (BFCP) e total (BFT) da ordem de 46,25% e 31,30%, respectivamente (Tabela 1).

O aumento da concentração de zinco à solução nutritiva (0,05 mg.L<sup>-1</sup> e 0,1 mg.L<sup>-1</sup>) em relação ao controle (0,025 mg.L<sup>-1</sup>) e na ausência de cádmio, provocou incrementos significativos nas biomassas frescas do limbo foliar (BFF) (da ordem de 48,57% e 107,33%, respectivamente), do caule + pecíolo (BFCP) (na ordem de 75,26% e 156,11%, respectivamente) e total (BFT) (da ordem de 59,76% e 129,61%, respectivamente). Já com relação à biomassa fresca da raiz (BFR), esse incremento significativo só ocorreu na mais alta concentração de zinco (0,1 mg.L<sup>-1</sup>) em relação ao controle (0,025 mg.L<sup>-1</sup>) da ordem de 72,53% (Tabela 1).

Nessas mesmas concentrações de zinco (0,025 mg.L<sup>-1</sup> e 0,1 mg.L<sup>-1</sup>), na presença do cádmio, houve reduções significativas em todas as biomassas frescas (limbo foliar - BFF, caule + pecíolo - BFCP, raiz - BFR e total - BFT), destacando-se uma maior redução para a BFCP na ordem de 55,78% (Tabela 1).

**Tabela 1** - Número de folhas (NF), diâmetro do caule (ØC), altura de plantas (ALT), área foliar (AF), biomassa fresca do limbo foliar (BFF), biomassa fresca do caule + pecíolo (BFCP),

**biomassa fresca das raízes (BFR) e biomassa fresca total (BFT) em feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) submetido a concentrações de zinco e cádmio por um período de 21 dias.**

TRATAMENTOS	Feijão Caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.)							
	VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS							
	NF	ØC (mm)	ALT (cm)	AF (cm <sup>2</sup> )	BFF (g)	BFCP (g)	BFR (g)	BFT (g)
Zn <sub>1</sub> Cd <sub>0</sub> (0,025 mg.L <sup>-1</sup> + 0 mg.L <sup>-1</sup> )	7,70 ± 1,25 b	2,90 ± 0,27 b	30,92 ± 2,49 de	211,75 ± 24,94 d	5,783 ± 0,75 cd	5,250 ± 0,56 d	0,182 ± 0,03 c	11,215 ± 1,24 de
Zn <sub>1</sub> Cd <sub>1</sub> (0,025 mg.L <sup>-1</sup> + 14,84 mg.L <sup>-1</sup> )	9,75 ± 2,18 ab	3,18 ± 0,38 b	52,67 ± 2,62 c	297,68 ± 46,16 bc	6,850 ± 1,00 c	7,678 ± 1,00 bc	0,197 ± 0,02 c	14,725 ± 2,00 bc
Zn <sub>2</sub> Cd <sub>0</sub> (0,05 mg.L <sup>-1</sup> + 0 mg.L <sup>-1</sup> )	9,60 ± 0,89 ab	3,32 ± 0,25 ab	71,54 ± 3,73 b	306,58 ± 50,81 b	8,592 ± 0,87 b	9,201 ± 0,58 b	0,124 ± 0,01 d	17,917 ± 1,44 b
Zn <sub>2</sub> Cd <sub>1</sub> (0,05 mg.L <sup>-1</sup> + 14,84 mg.L <sup>-1</sup> )	8,83 ± 1,15 ab	3,33 ± 0,32 ab	35,80 ± 2,16 d	217,68 ± 40,74 cd	5,897 ± 0,31 cd	6,440 ± 0,30 cd	0,444 ± 0,05 a	12,781 ± 0,65 cd
Zn <sub>3</sub> Cd <sub>0</sub> (0,1 mg.L <sup>-1</sup> + 0 mg.L <sup>-1</sup> )	11,00 ± 1,06 a	3,82 ± 0,11 a	91,36 ± 2,87 a	437,71 ± 42,18 a	11,990 ± 0,96 a	13,446 ± 1,23 a	0,314 ± 0,02 b	25,751 ± 2,09 a
Zn <sub>3</sub> Cd <sub>1</sub> (0,1 mg.L <sup>-1</sup> + 14,84 mg.L <sup>-1</sup> )	8,12 ± 1,03 b	3,02 ± 0,36 b	28,17 ± 3,56 e	179,83 ± 22,08 d	4,462 ± 0,34 d	3,395 ± 0,25 e	0,115 ± 0,02 d	7,972 ± 0,59 e
CV (%)	14,18	8,68	5,59	13,96	10,57	9,93	10,59	9,76

**Os valores representam a média da variável ± desvio padrão das repetições. Os valores médios dentro de uma coluna que compartilham letras diferentes indicam diferenças estatísticas com base na ANOVA seguida pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade (P≤0,05).**

**O cádmio presente à solução nutritiva na mais alta concentração de zinco (0,1 mg. L<sup>-1</sup>) provocou reduções significativas nas biomassas secas do limbo foliar - BSF (57,46%), caule + pecíolo - BSCP (61,81%), raiz - BSR (64,83%) e total - BST (60,24%). No entanto, na ausência do cádmio à solução nutritiva e na mais alta concentração de zinco (0,1 mg.L<sup>-1</sup>) em relação ao controle (0,025 mg.L<sup>-1</sup>) houve incrementos significativos em todas as biomassas secas destacando-se maior incremento na biomassa seca do caule + pecíolo (BSCP) da ordem de 163,29%. Já com relação a presença de cádmio à solução nutritiva na mais alta concentração de zinco (0,1 mg.L<sup>-1</sup>) em relação ao controle (0,025 mg.L<sup>-1</sup>) houve redução significativa apenas na biomassa seca total (BST) da ordem de 26,52% (Tabela 2).**

**O aumento da concentração de zinco à solução nutritiva, na ausência ou presença de cádmio, não provocou diferença significativa na alocação de biomassa nos diferentes órgãos das plantas (limbo foliar - ABF, caule + pecíolo - ABCP e raiz - ABR) (Tabela 2).**

Na ausência do cádmio à solução nutritiva e na mais alta concentração de zinco (0,1 mg.L<sup>-1</sup>) em relação ao controle (0,025 mg.L<sup>-1</sup>) houve incremento significativo na razão de área foliar (RAF) da ordem de 17,32%. No entanto, a presença do cádmio à solução nutritiva provocou redução significativa da RAF, da ordem de 20,06%, apenas entre a mais alta concentração de zinco (0,1 mg.L<sup>-1</sup>) e a concentração intermediária (0,05 mg.L<sup>-1</sup>), não havendo diferença significativa quando comparadas ao controle (0,025 mg.L<sup>-1</sup>) (Tabela 2).

**Tabela 2 - Biomassas secas do limbo foliar (BSF), do caule + pecíolo (BSCP), das raízes (BSR), total (BST), alocação de biomassa no limbo foliar (ABF), no caule + pecíolo (ABCP), nas raízes (ABR) e razão de área foliar (RAF) em feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) submetido a concentrações de zinco e cádmio por um período de 21 dias.**

TRATAMENTOS	Feijão Caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.)							
	VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS							
	BSF (g)	BSCP (g)	BSR (g)	BST (g)	ABF (%)	ABCP (%)	ABR (%)	RAF (cm <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> MS)
Zn <sub>1</sub> Cd <sub>0</sub> (0,025 mg.L <sup>-1</sup> + 0 mg.L <sup>-1</sup> )	0,646 ± 0,09 b	0,553 ± 0,03 b	0,115 ± 0,04 b	1,314 ± 0,14 cd	49,28 ± 1,87 a	42,68 ± 2,23 a	8,04 ± 1,09 a	327,37 ± 27,42 c
Zn <sub>1</sub> Cd <sub>1</sub> (0,025 mg.L <sup>-1</sup> + 14,84 mg.L <sup>-1</sup> )	0,692 ± 0,14 b	0,816 ± 0,04 b	0,117 ± 0,04 b	1,625 ± 0,18 bc	49,00 ± 5,30 a	44,22 ± 5,47 a	6,77 ± 0,95 a	377,09 ± 10,56 abc
Zn <sub>2</sub> Cd <sub>0</sub> (0,05 mg.L <sup>-1</sup> + 0 mg.L <sup>-1</sup> )	0,776 ± 0,12 b	0,860 ± 0,13 b	0,108 ± 0,01 b	1,744 ± 0,24 b	44,44 ± 1,95 a	49,25 ± 2,25 a	6,30 ± 0,91 a	399,68 ± 29,69 a
Zn <sub>2</sub> Cd <sub>1</sub> (0,05 mg.L <sup>-1</sup> + 14,84 mg.L <sup>-1</sup> )	0,542 ± 0,04 b	0,666 ± 0,09 b	0,112 ± 0,02 b	1,320 ± 0,13 cd	44,00 ± 3,20 a	49,33 ± 2,49 a	6,67 ± 0,72 a	425,69 ± 20,17 a
Zn <sub>3</sub> Cd <sub>0</sub> (0,1 mg.L <sup>-1</sup> + 0 mg.L <sup>-1</sup> )	1,274 ± 0,08 a	1,456 ± 0,06 a	0,273 ± 0,01 a	3,003 ± 0,11 a	43,37 ± 2,31 a	48,13 ± 1,90 a	8,51 ± 0,93 a	384,06 ± 20,01 ab
Zn <sub>3</sub> Cd <sub>1</sub> (0,1 mg.L <sup>-1</sup> + 14,84 mg.L <sup>-1</sup> )	0,542 ± 0,02 b	0,556 ± 0,02 b	0,096 ± 0,02 b	1,194 ± 0,05 d	43,38 ± 2,29 a	48,54 ± 3,83 a	8,09 ± 0,91 a	340,31 ± 29,45 bc
CV (%)	14,62	10,31	19,01	9,02	6,40	6,76	15,06	6,53

Os valores representam a média da variável ± desvio padrão das repetições. Os valores médios dentro de uma coluna que compartilham letras diferentes indicam diferenças estatísticas com base na ANOVA seguida pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade (P≤0,05).

*A presença do cádmio à solução nutritiva provocou redução significativa na suculência dos órgãos. No controle (concentração de zinco  $0,025 \text{ mg.L}^{-1}$ ) houve redução significativa na suculência da raiz - SCR na ordem de 58,62%. No entanto, na maior concentração de zinco ( $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ), a presença do cádmio à solução nutritiva provocou redução significativa nas suculências do limbo foliar - SCF e no caule + pecíolo - SCCP na ordem de 37,51% e 31,33%, respectivamente (Tabela 3).*

*O aumento da concentração de zinco à solução nutritiva, na ausência do cádmio, provocou redução significativa apenas na suculência da raiz - SCR, quando comparado a maior concentração de zinco ( $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ) em relação ao controle ( $0,025 \text{ mg.L}^{-1}$ ) da ordem de 48,27%. Já, na presença do cádmio à solução nutritiva, nessa mesma comparação, houve redução significativa nas suculências do limbo foliar - SCF e caule + pecíolo - SCCP da ordem de 26,40% e 28,03%, respectivamente (Tabela 3).*

*Ao adicionar cádmio à solução nutritiva provocou incremento significativo no índice de esclerofilia (IE), da ordem de 30,43%, apenas entre a mais alta concentração de zinco ( $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e a concentração intermediária ( $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ ), não havendo diferença significativa quando comparadas ao controle ( $0,025 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (Tabela 3).*

*A presença do cádmio à solução nutritiva na maior concentração de zinco ( $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ) provocou uma redução significativa na taxa de assimilação líquida (TAL) da ordem de 31,11%. No entanto, o aumento da concentração de zinco à solução nutritiva, na ausência do cádmio, provocou um incremento significativo na TAL da ordem de 45,16% quando comparado a maior concentração de zinco ( $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ) em relação ao controle ( $0,025 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e 60,71% quando comparado a maior concentração de zinco ( $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ) em relação à concentração intermediária ( $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (Tabela 3).*

*O cádmio adicionado à solução nutritiva na concentração de zinco intermediária ( $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ ) provocou uma redução significativa na razão parte aérea:raízes (PA/R) da ordem de 51,59% (Tabela 3). No entanto, o aumento da concentração de zinco à solução nutritiva, na ausência do cádmio, provocou um incremento significativo na PA/R da ordem de 37,02% quando comparado a concentração de zinco intermediária ( $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ ) em relação ao controle ( $0,025 \text{ mg.L}^{-1}$ ) seguida de uma redução significativa na ordem de 28,01% quando comparado a maior concentração de zinco ( $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ) em relação à concentração intermediária ( $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (Tabela 3). Já na presença de cádmio à solução nutritiva, ocorreu uma redução significativa na PA/R da ordem de 46,25% quando comparado a concentração de zinco intermediária ( $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ ) em relação ao controle ( $0,025 \text{ mg.L}^{-1}$ ) seguida de um aumento significativo da ordem de 90,83% quando comparado a maior concentração de zinco ( $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ) em relação à concentração intermediária ( $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (Tabela 3).*

*A presença de cádmio à solução nutritiva associada ao aumento da concentração de zinco ( $0,025$ ;  $0,05$  e  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ) provocou reduções significativas nas taxas de crescimento absoluto (TCA) (da ordem de 76,61%, 82,72% e 91,39%, respectivamente) e relativo (TCR) (na ordem de 59,42%, 71,95% e 67,06%, respectivamente (Tabela 3). No entanto, o aumento na concentração de zinco à solução nutritiva, na ausência de cádmio, provocou um incremento significativo na TCA da ordem de 82,66% quando comparado a maior concentração de zinco ( $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ) em relação ao controle ( $0,025 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e 73,90% quando comparado a maior concentração de zinco ( $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ) em relação à concentração intermediária ( $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (Tabela 3). Já o aumento na concentração de zinco à solução nutritiva, na ausência de cádmio, provocou um incremento significativo na TCR da ordem de 18,84% quando comparado a concentração intermediária de zinco ( $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ ) em relação ao controle ( $0,025 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e 23,19% quando comparado a maior concentração de zinco ( $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ) em relação ao controle ( $0,025 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (Tabela 3).*

**Tabela 3 - Suculências no limbo foliar (SCF), no caule + pecíolo (SCCP), nas raízes (SCR), índice de esclerofilia (IE), taxa de assimilação líquida (TAL), razão parte aérea:raízes (PA/R) e taxas de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR) em feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) submetido a concentrações de zinco e cádmio por um período de 21 dias.**

TRATAMENTOS	Feijão Caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.)							
	VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS							
	SCF (gH <sub>2</sub> O. g <sup>-1</sup> MS)	SCCP (gH <sub>2</sub> O. g <sup>-1</sup> MS)	SCR (gH <sub>2</sub> O. g <sup>-1</sup> MS)	IE (gMS.cm <sup>-2</sup> )	TAL (mgMS. cm <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> )	PA/R	TCA (mm.dia <sup>-1</sup> )	TCR (mm.mm <sup>-1</sup> . dia <sup>-1</sup> )
Zn <sub>1</sub> Cd <sub>0</sub> (0,025 mg.L <sup>-1</sup> + 0 mg.L <sup>-1</sup> )	8,16 ± 0,50 ab	9,50 ± 1,51 a	0,29 ± 0,05 a	0,0029 ± 0,00 a	0,31 ± 0,05 b	11,02 ± 1,16 bc	4,96 ± 0,40 b	0,069 ± 0,01 b
Zn <sub>1</sub> Cd <sub>1</sub> (0,025 mg.L <sup>-1</sup> + 14,84 mg.L <sup>-1</sup> )	7,65 ± 0,83 b	8,74 ± 0,62 ab	0,12 ± 0,02 c	0,0026 ± 0,00 ab	0,24 ± 0,04 b	13,60 ± 0,98 ab	1,16 ± 0,25 c	0,028 ± 0,00 c
Zn <sub>2</sub> Cd <sub>0</sub> (0,05 mg.L <sup>-1</sup> + 0 mg.L <sup>-1</sup> )	9,42 ± 0,72 ab	9,00 ± 0,24 ab	0,22 ± 0,04 ab	0,0025 ± 0,00 ab	0,28 ± 0,05 b	15,10 ± 2,09 a	5,21 ± 0,51 b	0,082 ± 0,01 a
Zn <sub>2</sub> Cd <sub>1</sub> (0,05 mg.L <sup>-1</sup> + 14,84 mg.L <sup>-1</sup> )	9,59 ± 0,81 a	7,32 ± 0,52 bc	0,15 ± 0,02 bc	0,0023 ± 0,00 b	0,25 ± 0,06 b	7,31 ± 0,48 c	0,90 ± 0,03 c	0,023 ± 0,00 c
Zn <sub>3</sub> Cd <sub>0</sub> (0,1 mg.L <sup>-1</sup> + 0 mg.L <sup>-1</sup> )	9,01 ± 0,59 ab	9,16 ± 0,90 ab	0,15 ± 0,02 bc	0,0027 ± 0,00 ab	0,45 ± 0,06 a	10,87 ± 1,36 bc	9,06 ± 0,77 a	0,085 ± 0,01 a
Zn <sub>3</sub> Cd <sub>1</sub> (0,1 mg.L <sup>-1</sup> + 14,84 mg.L <sup>-1</sup> )	5,63 ± 1,39 c	6,29 ± 1,31 c	0,18 ± 0,06 bc	0,0030 ± 0,00 a	0,31 ± 0,07 b	13,95 ± 3,28 ab	0,78 ± 0,04 c	0,028 ± 0,00 c
CV (%)	10,00	11,62	19,87	10,53	17,46	14,86	11,23	9,05

Os valores representam a média da variável ± desvio padrão das repetições. Os valores médios dentro de uma coluna que compartilham letras diferentes indicam diferenças estatísticas com base na ANOVA seguida pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade ( $P \leq 0,05$ ).

O zinco (Zn) é um micronutriente essencial que serve como cofator enzimático para a atividade, regulação e estabilização da estrutura proteica ou uma combinação destas. Constituinte estrutural de enzimas desidrogenases como álcool, lactato, malato e glutamato desidrogenase; amilase, proteinases, peptidases, fosfohidrogenase, superóxido dismutase e anidrase carbônica. Participa na ativação enzimática da trifosfato-desidrogenase, enzima essencial na glicólise, bem como nos processos de respiração e fermentação; e das aldolases, encarregadas do desdobramento do éster difosfórico da frutose. Afeta também a síntese e conservação de auxinas, hormônios vegetais

*envolvidos no crescimento e desenvolvimento das mesmas, inibe a absorção de cádmio (Cd) pela raiz, compete com os mesmos transportadores de membranas, ameniza o estresse oxidativo e reduz o dano nas membranas e biomoléculas (DECHEN & NACHTIGALL, 2006; GUIMARÃES et al., 2008). Portanto, devido a participação do zinco (Zn) nesse complexo enzimático e no metabolismo essencial para os vegetais, o aumento da concentração desse micronutriente à solução nutritiva (0,025 mg.L<sup>-1</sup>, 0,05 mg.L<sup>-1</sup> e 0,1 mg.L<sup>-1</sup>) favoreceu alterações significativas em 46% das variáveis biométricas analisadas (altura de planta, área foliar, biomassas frescas e secas de cada órgão e total e taxa de crescimento absoluto), apresentando acréscimo superior a 50% em relação ao controle.*

*O cádmio (Cd) é um elemento não essencial que afeta negativamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas. É reconhecido como um poluente extremamente significativo devido à sua alta toxicidade e grande solubilidade em água (PINTO et al., 2004). O Cd pode facilitar a absorção de minerais por plantas através de seus efeitos na disponibilidade de minerais do solo, ou através de uma redução na população microbiana (MORENO et al., 1999). A abertura dos estômatos, a transpiração e a fotossíntese são afetadas pelo cádmio em soluções nutritivas, mas o metal é absorvido pelas plantas mais facilmente a partir de soluções nutritivas do que do solo (SANITÁ DI TOPPI & GABBRIELLI, 1999). O cádmio produz alterações na funcionalidade das membranas por induzir peroxidação (FODOR et al., 1995) e distúrbios no metabolismo do cloroplasto pela inibição da biossíntese da clorofila e reduzindo a atividade das enzimas envolvidas na fixação do CO<sub>2</sub> (DE FILIPPIS & ZIEGLER, 1993). Além disso, provoca alteração no metabolismo de nitrogênio e carboidratos, assimilação de minerais e as relações hídricas da planta (GAJDOS et al., 2012).*

*A nutrição vegetal é uma estratégia que pode ser utilizada para minimizar a entrada de cádmio na cadeia alimentar (SARWAR et al., 2010). O aumento da disponibilidade de nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S), íon cálcio (Ca<sup>+2</sup>), íon ferroso (Fe<sup>+2</sup>), íon zinco (Zn<sup>+2</sup>) e íon manganês (Mn<sup>+2</sup>) reduz a absorção de cádmio (Cd) através da competição por absorção de íons da solução do solo; e por absorção pela planta pelos mesmos transportadores de membrana (Zn, Fe e Mn). A interação Cd-Zn permite identificar a toxicidade potencial do Cd e o papel do Zn em antagonizar a toxicidade do Cd. A supressão na absorção de Cd devido ao aumento no acúmulo de Zn pode indicar uma forte competição entre Zn e Cd, que apesar de ambos tomados como cátions diferentes, tem uma química semelhante. O Cd pode inibir prontamente a maioria dos processos dependentes do Zn. Consequentemente, o aumento na concentração de Zn é capaz de substituir um metal não fisiológico como o Cd, que pode se ligar à membrana crucial e funcional e aos sítios ativos da enzima e inativar suas funções (SHAW et al., 2004). Foi verificado neste trabalho que a presença de Cd à solução nutritiva entre os níveis de Zn (0,025 mg.L<sup>-1</sup>, 0,05 mg.L<sup>-1</sup> e 0,1 mg.L<sup>-1</sup>) provocou alteração significativa (redução superior a 50% em relação ao controle) em apenas uma variável biométrica (biomassa fresca do caule + pecíolo - BFCP).*

*Existem sistemas específicos de absorção de íons metálicos especialmente para nutrientes essenciais que são fortemente controlados nos níveis transcricionais e pós-transcricionais com mecanismos reguladores específicos (LASAT et al., 2000). O transporte de elementos não essenciais, como o Cd é mais provável de ocorrer por meio de transportadores de cátions essenciais (SOUZA-SANTOS et al., 2001). A atividade de transporte de Zn das proteínas ZIP é inibida por cádmio (Cd), cobalto (Co) e Cobre (Cu), indicando que as proteínas ZIP podem transportar metais potencialmente tóxicos, bem como nutrientes (GROTZ et al., 1998).*

*As plantas são organismos expostos a diferentes tipos de estresse, como poluição do ar, seca, temperatura, luz, metais, salinidade, congelamento, radiação UV e inibição nutricional. A intoxicação com metais contaminantes induz estresses oxidativos, pois eles estão envolvidos em diversos tipos de mecanismos geradores de espécies reativas de oxigênio (ROS). O equilíbrio entre os níveis de estado estacionário de diferentes ROS é determinada pela interação entre diferentes*



*mecanismos de produção e eliminação de ROS, e pode mudar drasticamente dependendo da condição fisiológica da planta e da integração de diferentes estímulos ambientais, de desenvolvimento e bioquímicos (POLLE, 2001). Algumas enzimas antioxidantes podem ser modificadas em diferentes espécies vegetais expostas a concentrações variáveis de cádmio, tais como: catalase (CAT - EC 1.11.1.6), ascorbato peroxidase (APX - EC 1.11.1.11), glutathione peroxidase (GPDX - EC 1.11.1.9), superóxido dismutase (SOD - EC 1.11.1.6), glutathione reductase (GR - EC 1.6.4.2), monodehidroascorbato reductase (MDAR - EC 1.6.5.4) e dehidroascorbato reductase (DHAR - EC 1.8.5.1) (SHAH et al., 2001, FORNAZIER et al., 2002, MILONE et al., 2003, CHO & SEO, 2004, HSU & KAO, 2004). Ambientes contaminados por metais, substâncias potencialmente tóxicas, podem ter efeitos sinérgicos, aditivos ou antagônicos nas plantas. Portanto, as ações e os efeitos de diversos metais em plantas precisam ser investigados criticamente como a fitotoxicidade e aspectos interativos de misturas de metais que são processos complexos. Conhecimento sobre a bioquímica e mecanismos moleculares pelos quais as plantas toleram múltiplos estresses provocados por metais podem trazer uma compreensão completa da plasticidade das vias metabólicas e seus limites de funcionamento, o que é essencial para abordagens de engenharia genética destinadas a melhorar mecanismo de defesa celular (XIANG et al., 2001; PRASAD & STRZALKA, 2002; PRASAD, 2004b).*

*Estudos mostram que o cádmio afeta negativamente o crescimento de diversas plantas (ZOU et al., 2008; CHAVES et al., 2011). A redução de crescimento da planta como um todo pode ser atribuída a redução da área foliar, aumento da clorose e necrose nas folhas e pela redução do sistema radicular das plantas. Tais sintomas são reflexos da concentração e distribuição de cádmio na planta e das interações desse elemento junto ao complexo de troca nas raízes. O efeito inibitório do Cd no crescimento é atribuído, em parte, à redução da mitose, danos no aparelho de Golgi, a síntese reduzida de componentes de parede celular e alterações no metabolismo de polissacarídeo. No presente trabalho, pode-se observar que a adição de cádmio (Cd) à solução nutritiva no mesmo nível de zinco (0,025 mg.L<sup>-1</sup>, 0,05 mg.L<sup>-1</sup> ou 0,1 mg.L<sup>-1</sup>) acarretou alterações significativas em 50% das variáveis biométricas analisadas (altura de plantas, área foliar, biomassas frescas e secas dos órgãos e totais, taxa de crescimento absoluto e relativo) com reduções superiores a 50% em relação ao controle.*

## **CONCLUSÃO**

*\* O aumento no nível de zinco (Zn) na solução nutritiva (0,1 mg.L<sup>-1</sup>), sem adição de cádmio (Cd), provocou acréscimo significativo superior a 50% em relação ao controle (0,025 mg. L<sup>-1</sup>) em 46% das variáveis analisadas, com destaque para as variáveis ALT, AF, BFF, BFCP, BFT, BSCP, BSR e BST por ter ocorrido acréscimo significativo superior a 100%;*

*\* A presença de cádmio (Cd) em cada nível de zinco (0,025; 0,05 e 0,1 mg.L<sup>-1</sup>) favoreceu a uma redução significativa superior a 50%, em relação ao controle, nas seguintes variáveis analisadas: no nível 0,025 mg.L<sup>-1</sup> (SCR, TCA e TCR); no nível 0,05 mg.L<sup>-1</sup> (PA/R, TCA e TCR) e no nível 0,1 mg.L<sup>-1</sup> (ALT, AF, BFF, BFCP, BFR, BFT, BSF, BSCP, BSR, BST, TCA e TCR. A TCA do feijão caupi reduziu mais de 90% nos tratamentos que continham cádmio em comparação com os tratamentos sem cádmio;*

*\* A presença do cádmio (Cd) entre os níveis de zinco (Zn) favoreceu a uma redução significativa superior a 50%, em relação ao controle, apenas na variável BFCP no mais elevado nível de Zn (0,1 mg.L<sup>-1</sup>);*

*\* As variáveis ABF, ABCP, ABR e IE não sofreram alteração significativa independente no nível de Zn e na ausência ou presença de Cd na solução nutritiva.*

## REFERÊNCIAS

- BALTAS, H.; SIRIN, M.; GÖKBAYRAK, E.; OZCELIK, A. E. A case study on pollution and a human health risk assessment of heavy metals in agricultural soils around Sinop province, Turkey. *Chemosphere*, v. 24, p. 1125015, 2020.
- BAPTISTA, S. M.P. *Avaliação da resposta ao stresse oxidativo induzido por cádmio e cobre em plantas de tabaco e transformadas e não transformadas [dissertação]. Lisboa: Universidade Técnica Lisboa; 2009.*
- BENINCASA, M. M. P. *Análise de crescimento de plantas (noções básicas). Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.*
- BROADLEY, M. R. et al. Zinc in plants. *New Phytologist*, Hoboken, v. 173, n.4, p.677-702, 2012.
- CHAVES, L.H.G; ESTRELA, M.A AND SOUZA, R.S DE. Effect on plant growth and heavy metal accumulation by sunflower. *J. Phytol.*, 3(12): 04-09, 2011.
- CHO, U.; SEO, N. Oxidative stress in *Arabidopsis thaliana* exposed to cadmium is due to hydrogen peroxide accumulation, *Plant Sci.* 168:113-120, 2004.
- DE FILIPPIS, L. F.; ZIEGLER, H. Effects of sublethal concentrations of zinc, cadmium and Mercury on the photosynthetic carbon reduction cycle of *Euglena*. *J. Plant Physiol.* 142:167-172, 1993.
- DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.S. *Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG: SBCS, 2006. p.327-354.*
- DOABI, S. A.; KARAMI, M.; AFYUNI, M.; YEGANEH, M. Pollution and health risk assessment of heavy metals in agricultural soil, atmospheric dust and major food crops in Kermanshah province, Iran. *Ecotoxicology and environmental safety*, v. 163, p. 153-164, 2018.
- ESSIEN, J. P.; INAM, E. D.; IKPE, D. I.; UDOFIA, G. E.; BENSON, N. U. Ecotoxicological status and risk assessment of heavy metals in municipal solid wastes dumpsite impacted soil in Nigeria. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, v. 11, p. 100215, 2019.
- FATOKUN, C. A., TARAWALI, S. A, SINGH, B. B, KORMAWA, P. M, TAMO, M. Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production. In: *Proceedings of the World Cowpea Conference III held at the International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan, Nigeria, 4-8, 2002.*
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- FODOR, E.; SZABO-NAGY, A.; ERDEI, L. The effects of cadmium on the fluidity and H<sup>+</sup>ATPase activity of plasma membrane from sunflower and wheat roots. *J. Plant. Physiol.* 147:87-92. 1995.
- FORNAZIER, R. F.; FERREIRA, R. R.; VITORIA, A. P.; MOLINA, S. M. G.; LEA, P. J.; AZEVEDO, R. A. Effects of cadmium on antioxidant enzyme activities in sugar cane. *Biol. Plant.* 45:91-97, 2002.
- FREIRE FILHO, F. R., RIBEIRO, V.Q, BARRETO, P. D, SANTOS, A. A. Melhoramento genético, p. 29-92. In: Freire Filho, F.R., J.A.A. Lima, J. A. de A. & Ribeiro, V. Q. (Ed.). *Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005, 519 p.*

- FREIRE FILHO, F. R., RIBEIRO, V.Q, BARRETO, P. D, SANTOS, A. A.** *Melhoramento genético de caupi (Vigna unguiculata (L.) WALP.) na região do nordeste. In: Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA, 30 p. 2006.*
- GAJDOS, E; LÉVAI, L; VERES, S; KOVÁCS, B.** *Effects of Biofertilizers on Maize and Sunflower Seedlings under Cadmium Stress. Comm Soil Sci Plant Anal., 43: 272-279, 2012.*
- GROTZ, N.; FOX, T.; CONNOLLY, E.; PARK, W.; GUERINOT, M. L.; EIDE, D.** *Identification of a Family of zinc transporter genes from Arabidopsis that respond to zinc deficiency. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 95:7220-7225. 1998.*
- GUIMARÃES, M.A; SANTANA, T.A; SILVA, E.V; ZENZEN, I.L; LOUREIRO, E. M.** *Toxicidade e tolerância ao cádmio em plantas. Rev. Trópic., (3): 58-68, 2008.*
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.L.** *The water culture methods for growing plants without soil. Berkeley: California Agriculture Experiment Station, 1950. 32p. (Bulletin, 347).*
- HSU, Y. T.; KAO, C. H.** *Cadmium toxicity is reduced by nitric oxide in rice leaves. Plant Growth Regul. 42:224-238, 2004.*
- HUANG, Y.; CHEN, Q.; DENG, M.; JAPENGA, J.; LI, T.; YANG, X.; HE, Z.** *Heavy metal pollution and health risk assessment of agricultural soils in a typical peri-urban area in southeast China. Journal of environmental management, v. 207, p. 159-168, 2018.*
- JIA, X.; HU, B.; MARCHANT, B. P.; ZHOU, L.; SHI, Z.; ZHU, Y.** *A methodological framework for identifying potential sources of soil heavy metal pollution based on machine learning: A case study in the Yangtze Delta, China. Environmental Pollution, v. 250, p. 601- 609, 2019.*
- KABATA-PENDIAS, A.** *Trace elements in soils and plants. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2010. 505p. 315p.*
- LASAT, M.M.; PENCE, N. S.; GARVIN, D. F.; EBBS, S. D.; KOCHAIN, L. V.** *Molecular physiology of zinc transport in the Zn hyperaccumulator Thlaspi caerulescens. J. Exp. Bot. 51:71-79. 2000.*
- LIMA, C. J. G. S.** *Modelos matemáticos para estimativa de área foliar de feijão caupi. Revista Caatinga, Mossoró, v.21, n.1, p.120-127, 2008.*
- MILONE, M. T.; SGHERRI, C.; CLIJTERS, H.; NAVARI-IZZO, F.** *Antioxidative responses of wheat treated with realistic concentrations of cadmium. Environ. Exp. Bot, 50:265-273, 2003.*
- MORENO, J. L.; HERNANDEZ, T.; GARCIA, C.** *Effects of a cadmium-containing sewage sludge compost on dynamics of organic matter and microbial activity in arid soils. Biol. Fert. Soils, 28:230-237, 1999.*
- NI, M.; MAO, R.; JIA, Z.; DONG, R.; LI, S.** *Heavy metals in soils of Hechuan County in the upper Yangtze (SW China): Comparative pollution assessment using multiple indices with high-spatial-resolution sampling. Ecotoxicology and environmental safety, v. 148, p. 644- 651, 2018.*
- PEREIRA, A. C. C.; LIMA, E. S. A.; SANTOS, A. M.; SOBRINHO, N. M. B. A.** *Análise e monitoramento de metais pesados no solo. In book: Valores orientadores de qualidade de solos no Espírito Santo, Edition: 2015, Chapter: Capítulo 4. p. 71-89, 2015.*

PINTO, A. P.; MOTA, A. M.; DE VARENNES, A.; PINTO, F. C. Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. *Sci. Tot. Environ*, 326:239-247, 2004.

POLLE, A. Dissecting the superoxide dismutase-ascorbate peroxidase- glutathione pathway in chloroplasts by metabolic modeling. *Computer simulations as a step towards flux analysis. Plant Physiol.* 126:445-462, 2001.

PRASAD, M. N. V. *Phytoremediation of metals in the environment for sustainable development. Proc. Indian. Natn. Sci. Acad.* B70 1:71-98, 2004b.

PRASAD, M. N. V.; STRZALKA, K. *Physiology and biochemistry of metal toxicity and tolerance in plants. Kluwer Academic, Dordrecht, 2002.*

QING, X.; YUTONG, Z.; SHENGGAO, L. Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. *Ecotoxicology and environmental safety*, v. 120, p. 377-385, 2015.

SANITÁ DI TOPPI, L.; GABBRIELLI, R. Response to cadmium in higher plants. *Environ. Exp. Bot.* 41:105-130, 1999.

SARWAR, N; SAIFULLAH, SUKHDEV, S.M; MUNIR, H.Z; ASIF, N; SADIA B; GHULAM F. Role of mineral nutrition in minimizing cadmium accumulation by plants (Review). *J. Sci. Food Agric.*, 90: 925-937, 2010.

SHAH, K.; KUMAR, R. G.; VERMA, S.; DUBEY, R. S. Effect of cadmium on lipid peroxidation, superoxide anion generation and activities of antioxidante enzymes in growing rice seed-lings. *Plant Sci.* 161:1135-1144, 2001.

SHAW, B. P.; SAHU, S. K.; MISHRA, R. K.; Heavy metal induced oxidative damage in terrestrial plants. In: PRASAD, M. N. V. *Heavy metal stress in plants-from biomolecules to ecosystems. Springer-Verlag, Narosa, New Delhi, p.84-126, 2004.*

SOUZA-SANTOS, P.; RAMOS, R. S.; CARVALHO-ALVES, P. C. Iron-induced oxidative damage of corn root plasma membrane H<sup>+</sup>ATPase. *Biochim. Biophys. Acta.* 1512:357-366, 2001.

SUN, Z.; XIE, X.; WANG, P.; HU, Y.; CHENG, H. Heavy metal pollution caused by smallscale metal ore mining activities: A case study from a polymetallic mine in South China. *Science of the Total Environment*, v. 639, p. 217-227, 2018.

WU, J.; LU, J.; LI, L.; MIN, X.; LUO, Y. Pollution, ecological-health risks, and sources of heavy metals in soil of the northeastern Qinghai-Tibet Plateau. *Chemosphere*, v. 201, p. 234- 242, 2018a.

XIANG, C.; WERNER, B. L.; CHRISTENSEN, E. M.; OLVER, D. J. The biological functions of glutathione revisited in *Arabidopsis* transgenic plants with altered glutathione levels. *Plant Physiol.* 126:564-574, 2001.

XU, X.; ZHAO, Y.; ZHAO, X.; WANG, Y.; DENG, W. Sources of heavy metal pollution in agricultural soils of a rapidly industrializing area in the Yangtze Delta of China. *Ecotoxicology and environmental safety*, v. 108, p. 161-167, 2014.

ZHANG, P.; QIN, C.; HONG, X.; KANG, G.; QIN, M.; YANG, D.; PANG, B.; LI, Y.; HE, J.; DICK, R. P. Risk assessment and source analysis of soil heavy metal pollution from lower

*reaches of Yellow River irrigation in China. Science of the Total Environment, v. 633, p. 1136-1147, 2018.*

*ZHAO, R.; GUAN, Q.; LUO, H.; LIN, J.; YANG, L.; WANG, F.; PAN, N.; Yang, Y. Fuzzy synthetic evaluation and health risk assessment quantification of heavy metals in Zhangye agricultural soil from the perspective of sources. Science of the Total Environment, v. 697, p. 134126, 2019.*

*ZOU, J; XU, P; LU, X; JIANG, W. AND LIU, D. Accumulation of cadmium in three sunflower (Helianthus annuus L.) cultivars. Pak. J. Bot., 40(2):759-765, 2008.*

## ESTIMATIVA DE ÁREA FOLIAR DO AÇAIZEIRO

Layane Oliveira Santos<sup>1</sup>; Maria Fernanda Costa de Souza<sup>2</sup>; Lucas Douglas Santos da Conceição<sup>2</sup>; Janylly Fernanda dos Santos Lima<sup>2</sup>; Raimundo Thiago Lima da Silva<sup>3</sup>; Wendel Kaian Mendonça Oliveira<sup>4</sup>; Claudio Lenoés Bazzi<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Bolsista de Iniciação Científica CNPq. Rua do Pau Amarelo, S/N, Bairro Vila Nova, Capitão Poço - PA. Universidade Federal Rural da Amazônia; <sup>2</sup>Discente. Rua do Pau Amarelo, S/N, Bairro Vila Nova, Capitão Poço - PA. Universidade Federal Rural da Amazônia; <sup>3</sup>Docente. Rua do Pau Amarelo, S/N, Bairro Vila Nova, Capitão Poço - PA. Universidade Federal Rural da Amazônia; <sup>4</sup>Pós Doutorando. Departamento de ciências da computação, Campus Medianeira, Paraná.. Universidade Tecnologia Federal do Paraná; <sup>5</sup>Docente. Departamento de ciências da computação, Campus Medianeira, Paraná.. Universidade Tecnologia Federal do Paraná

### RESUMO

*O açaizeiro é uma palmeira nativa da região amazônica, pertencente à família Arecaceae. Sua distribuição é principalmente tropical e subtropical, com as maiores concentrações dessa espécie no estado do Pará. Para um eficiente sistema de irrigação e manejo, é crucial determinar a evapotranspiração do açaizeiro (ETc) e seus coeficientes de cultura (Kc). Além disso, a estimativa da área foliar e do índice de área foliar é essencial para determinar a quantidade adequada de água a ser aplicada na cultura. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo estimar a área foliar do açaizeiro em plantas irrigadas, utilizando modelos matemáticos. O estudo foi realizado em Capitão Poço, município localizado na mesorregião Nordeste Paraense, entre outubro de 2022 e maio de 2023. Uma folha por planta foi coletada durante o estágio fenológico de plena frutificação. Os melhores modelos de estimativa de área foliar do açaizeiro foram selecionados com base nos seguintes critérios: coeficientes de correlação linear de Pearson (r) e de determinação (R<sup>2</sup>) mais próximos de um, erro absoluto médio (EAM) e raiz do quadrado médio do erro (RQME) mais próximos de zero, e índices d de Willmott e CS mais próximos de um. Os resultados mostraram que o modelo cúbico foi o mais preciso para estimar a área foliar do açaizeiro, proporcionando uma boa análise do desenvolvimento foliar dessa cultura. Essas informações são fundamentais para o planejamento e manejo adequados da irrigação, contribuindo para a eficiência e produtividade do cultivo do açaizeiro.*

**PALAVRAS-CHAVE:** Acaí; Foliolo; Modelagem;;

### INTRODUÇÃO

*O açaizeiro (Euterpe oleracea) é uma espécie frutífera e produtora de palmito, nativa da Amazônia, cuja produção de frutos é tradicionalmente baseada no extrativismo, tendo o estado do Pará como maior produtor e principal consumidor, onde estão estabelecidas densas e diversificadas populações naturais em áreas de várzeas (FARIAS NETO, et al. 2018).*

*O açaizeiro constitui um importante fator socioeconômico na região amazônica, visto que um de seus principais produtos é o açaí batido para consumo imediato, além de sua polpa industrializada congelada e a presença da substância que é o seu corante natural denominada antocianina, utilizada na indústria farmacêutica, cosmética e alimentícia (BEZERRA, 2016).*

*Em açaizeiro, assim como em outras espécies que possuem estrutura foliar composta, a determinação da área do folíolo é de suma importância, com a geração de novos modelos matemáticos, com utilização de novas técnicas, que propiciam maior precisão de estimativas da área foliolar por métodos não destrutivos, bem como a adoção de variáveis de fácil acesso que possuam relação direta com os próprios folíolos que compõem a superfície foliar do açaizeiro (SOUSA, 2021).*

*E em específico para o açaizeiro, a estimativa da área foliar e do índice de área foliar é essencial para determinar a quantidade adequada de água a ser aplicada na cultura, para que se obtenha um eficiente sistema de irrigação e manejo.*

## **OBJETIVOS**

*Determinar um modelo matemático que estime com precisão a área foliar do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.)*

## **MATERIAL E MÉTODOS**

*O trabalho foi desenvolvido no município de Capitão Poço, estando situado na latitude 1° 44' 47" Sul e longitude 47° 3' 57" Oeste, na Região Norte do Brasil, mesorregião Nordeste Paraense e microrregião do Guamá. Foi selecionada uma área produtora de açaí, com variedades cultivadas tradicionalmente por produtores do município e região, onde foram identificadas aleatoriamente quatro plantas irrigadas das variedades BRS Pará e Chumbinho, das quais foram coletadas uma folha por planta na área, no estágio fenológico de plena frutificação, com idade de sete anos.*

*Os folíolos foram destacados das folhas e medidos com auxílio de uma trena, coletando o comprimento ao longo da nervura central (C) e a largura máxima perpendicular a nervura central (L), e em seguida calculou-se o produto do comprimento pela largura (CxL) do limbo foliar.*

*Com auxílio de caladores com diâmetro de 15,50 mm, 10,86 mm e 2 mm retirou-se o maior número possível de discos do limbo foliar, incluindo as nervuras.*

*Individualmente cada amostra de discos e o restante dos folíolos foram acondicionados separadamente em sacos de papel e levados à estufa de secagem, a uma temperatura de 65 °C, até peso constante.*

*Para a determinação da massa de matéria seca das duas partes foi utilizada uma balança eletrônica com precisão de 5 mg. A área total de cada folha (AF), em cm<sup>2</sup>, foi calculada através da equação (1):*

$$AF = (MSf \cdot ATd) / MSd \quad (1)$$

*Em que, MSd - é a massa seca dos discos; ATd - área total dos discos e MSf - a massa seca total dos folíolos.*

*Em seguida, com 199 folíolos, gerou-se os modelos, considerando a área foliar determinada pelo método dos discos (Y) em função do C, da L e do CxL, por meio dos modelos: linear ( $Y = a + bx$ ), quadrático ( $Y = a + bx + cx^2$ ), quadrático sem intercepto ( $Y = bx + cx^2$ ), cúbico ( $Y = a + bx + cx^2 + dx^3$ ), cúbico sem intercepto ( $Y = bx + cx^2 + dx^3$ ), potencial ( $Y = ax^b$ ), exponencial ( $Y = ae^{bx}$ ) e logarítmico ( $Y = a + b \ln x$ ).*

*Os modelos que obtiveram  $R^2 > 0,90$ , foram submetidos a validação, onde se utilizou os valores estimados por cada modelo ( $Y_e$ ) e 202 valores observados ( $Y_o$ ). Para cada modelo, foi ajustada uma regressão linear simples ( $Y_e = a + bY_o$ ) da área foliar estimada pelo modelo (variável dependente) em função da área foliar observada (variável independente).*

*Os melhores modelos de estimativa de área foliar de açaizeiro em função do C, da L e da CxL do limbo foliar, seguiram os seguintes critérios: coeficientes de correlação linear de Pearson (r) e de determinação ( $R^2$ ) mais próximos de um, erro absoluto médio (EAM) e raiz do quadrado médio do*

erro (RQME) mais próximo de zero, e índices *d* de Willmott (WILLMOTT, 1981) e CS (CAMARGO; SENTELHAS, 1997) mais próximos de um.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apenas 04 modelos matemáticos apresentaram coeficientes de determinação elevados ( $R^2 > 0,90$ ), indicando que pelo menos 90% das variações observadas na área foliar foram explicadas pelas equações obtidas, como mostra a tabela 1.

**Tabela 1: Modelos de regressão para estimativa da área foliar (AF, cm<sup>2</sup>) de açaizeiro e respectivos coeficientes de determinação de geração do modelo (R<sup>2</sup>), em função do comprimento (C), da largura máxima (L) e do produto (CxL) do limbo foliar.**

Nº	Modelos	R <sup>2</sup>
1	$AF = 19,437e^{0,0277(C)}$	0,53
2	$AF = 5,3753(C) - 228,33$	0,49
3	$AF = 0,0412(C)^2 - 0,9097(C)$	0,52
4	$AF = 396,6\ln(C) - 1527,6$	0,46
5	$AF = 0,1058(C)^2 - 11,285(C) + 404,65$	0,54
6	$AF = 0,0008(C)^3 - 0,0973(C)^2 + 4,6416(C)$	0,53
7	$AF = -0,0001(C)^3 + 0,1355(C)^2 - 13,58(C) + 461,99$	0,54
8	$AF = 0,0202(C)^{2,0836}$	0,52
9	$AF = 33,741e^{0,5113(L)}$	0,85
10	$AF = 110,11(L) - 160,32$	0,88
11	$AF = 12,646(L)^2 + 17,483(L)$	0,88
12	$AF = 365,67\ln(L) - 221,42$	0,83
13	$AF = 8,311(L)^2 + 49,98(L) - 57,754$	0,88
14	$AF = -2,6139(L)^3 + 32,821(L)^2 - 19,633(L)$	0,88
15	$AF = -11,575(L)^3 + 129,85(L)^2 - 355,77(L) + 371,26$	0,89
16	$AF = 23,76(L)^{1,7521}$	0,88
17	$AF = 56,489e^{0,0042(CxL)}$	0,89
18	$AF = 0,8902(CxL) - 46,044$	0,88
19	$AF = 0,0006(CxL)^2 + 0,5161(CxL)$	0,90
20	$AF = 226,21\ln(CxL) - 1051,8$	0,78
21	$AF = 0,0011(CxL)^2 + 0,1861(CxL) + 50,215$	0,90



22	$AF = -0,000001(CxL)^3 - 0,0002(CxL)^2 + 0,6517(CxL)$	0,90
23	$AF = -0,000004(CxL)^3 + 0,005(CxL)^2 - 0,8659(CxL) + 134,88$	0,90
24	$AF = 0,364(CxL)^{1,1191}$	0,89

**Fonte:** Os autores.

*Ao se considerar apenas uma dimensão do limbo foliar, comprimento ou largura máxima, foi possível notar que os modelos matemáticos não apresentaram ajuste satisfatório para estimar a área foliar, com coeficiente de determinação ( $R^2 < 0,9$ ).*

*Os modelos quadrático, quadrático sem intercepto, cúbico e cúbico sem intercepto que utilizam a relação (CxL) do limbo foliar, apresentaram valores de coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores aos demais (Tabela 2).*

*Tabela 2: Parâmetros calculados para os modelos validados. Variáveis independentes (x), coeficientes de correlação linear de Pearson (r) e de determinação ( $R^2$ ) obtidos na regressão linear ajustada entre a área foliar estimada (variável dependente) e a observada (variável independente) erro absoluto médio (EAM), raiz do quadrado médio do erro (RQME), índice (d) de Willmott e índice (CS), calculados com base nas áreas foliares observada e estimada de 202 folíolos de açaizeiro.*

Nº	Modelos	x	r	$R^2$	EAM	RQME	d	CS
1	Quadrado	CxL	0,95	0,90	43,71	53,74	0,92	0,87
2	Quadrado sem intercepto	CxL	0,95	0,91	43,69	52,80	0,93	0,88
3	Cúbico	CxL	0,95	0,90	31,77	39,21	0,96	0,91
4	Cúbico sem intercepto	CxL	0,95	0,91	47,95	58,02	0,91	0,86

**Fonte:** Os autores.

*O modelo mais preciso foi o cúbico, que utilizou a relação (CxL) na estimativa da área foliar, com coeficientes de correlação linear de Pearson (r) e de determinação ( $R^2$ ) mais próximos de um, menor erro absoluto médio (EAM) e raiz do quadrado médio do erro (RQME) e, índices d de Willmott e CS mais próximos de um.*

## CONCLUSÃO

*O modelo cúbico  $AF = -0,000004(CxL)^3 + 0,005(CxL)^2 - 0,8659(CxL) + 134,88$ , pode ser utilizado para estimar a área foliar do açaizeiro.*

## AGRADECIMENTOS

*Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e a Universidade Federal Rural da Amazônia*

## REFERÊNCIAS

*BEZERRA, V. S.; SILVA, O. F.; DAMASCENO, L. F.. Açaí: produção de frutos, mercado e consumo. In: Jornada Científica, 2. Anais. Brasília: Embrapa, 2016.*

**CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.**

**FARIAS NETO, J. T.; YOKOMIZO, G. K. I.; OLIVEIRA, M. S. P.; HONGYU, K. Revista Agro@ambiente On-line, Boa Vista, v. 12, n. 1, p. 409-417, janeiro-março, 2018.**

**SOUSA, S. K. A. ESTIMATIVA DA ÁREA FOLIOLAR DE PLANTAS JOVENS DE AÇAIZEIRO POR MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, p. 54. 2021.**

**WILLMOTT, C. J. On the validation of models. Physical Geography, v. 2, n. 2, p. 184- 194, 1981.**

# DESEMPENHO DE PRODUTOS GPM IMERG NA ESTIMAÇÃO DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARNAÍBA-BR

FLAVIA FERREIRA BATISTA<sup>1,4</sup>; Daniele Tôrres Rodrigues<sup>2,3</sup>; Cláudio Moisés Santos e Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Discente. Natal-RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte; <sup>2</sup>Docente. Natal-RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte; <sup>3</sup>Docente. Teresina-PI. Universidade Federal do Piauí; <sup>4</sup>Docente. Barra de São Francisco-ES. Instituto Federal do Espírito Santo

## RESUMO

*Os produtos derivados de satélite surgiram como uma ferramenta promissora para investigar a distribuição e os extremos da precipitação em regiões com redes esparsas de pluviômetros. A validação regional destas estimativas baseadas em detecção remota é imperativa. Consequentemente, avaliamos os produtos de Medição Global de Precipitação (GPM), especificamente Recuperações Multi-satélites Integradas para GPM (IMERG), no contexto da Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba (BHRP), no Nordeste do Brasil. As medições de precipitação foram coletadas de uma rede de 64 pluviômetros. O conjunto de dados abrangeu o período de janeiro de 2001 a dezembro de 2020, com amostragem diária. Conduzimos uma avaliação completa das estimativas do produto IMERG nas três opções de latência disponíveis, justapostas às observações de precipitação in situ. Este exame foi complementado por análises estatísticas abrangentes, juntamente com o índice Kling-Gupta Efficiency (KGE) e seus componentes constituintes. As descobertas ressaltam que as estimativas finais do IMERG exibem concordância superior com dados in-situ na escala temporal diária quando comparadas com as estimativas iniciais e tardias do IMERG. Especificamente, o IMERG Final demonstra o maior coeficiente de correlação (0,47), capacidades robustas de detecção (POD > 0,7), taxa mínima de falsos alarmes (FAR < 0,53) e eficiência razoável em relação aos dados in situ (KGE > 0,4). No entanto, não surge nenhuma disparidade estatisticamente significativa entre os produtos IMERG (Final e Tardio) no que diz respeito às métricas de eficiência KGE, POD e FAR. Esses resultados melhoram com o aumento da latência do produto, garantindo a adequação do IMERG Late para aplicações que exigem análises quase em tempo real.*

**PALAVRAS-CHAVE:** IMERG; Avaliação do desempenho; Bacia do Parnaíba;;

## INTRODUÇÃO

*Mudanças no clima vêm ocorrendo nas últimas décadas causando preocupação na comunidade científica em todo o globo, dado o aumento da frequência de eventos intensos em diversas regiões do mundo (e.g., Trenberth et al., 2015; Easterling et al., 2016). Assim como a previsão de aumento da temperatura global devido às mudanças climáticas que tem como consequência a mudança nos padrões de precipitação, causando assim impactos significativos no nosso cotidiano e meio ambiente. Assim, um monitoramento adequado da precipitação é fundamental para análises precisas dos impactos de mudanças climáticas sobre diferentes regiões. Uma vez que as redes de pluviômetros não são capazes de cobrir áreas remotas, além de serem de grande dispêndio econômico para se manter, os produtos de satélites aparecem como ferramentas eficientes para o monitoramento da precipitação.*

*Neste contexto, os produtos de satélites como o Integrate Multi-SatellitE Retrievals of (IMERG) desenvolvido pelo Global Precipitation Measurement (GPM), lançado em 2014 como o sucessor do TRMM e produz três tipos de produtos (execuções Early, Late e Final) em resoluções de meia hora e 0.1° latitude and longitude (Huffman et al., 2019), têm se mostrado ferramenta promissora de monitoramento atmosférico para analisar a distribuição da precipitação e extremos em regiões com baixa cobertura da rede de monitoramento meteorológica de superfície (Simpson et al., 1996; Huffman et al., 2007; Watters & Battaglia, 2021). Como é o caso do Brasil, onde a distribuição das redes de pluviômetros é esparsa, inclusive em regiões de bacias hidrográficas (Oliveira et al., 2017;*

*Mutti et al., 2020; Rodrigues et al., 2021; Xavier et al., 2022) e a baixa densidade de postos pluviométricos pode ocasionar incertezas dos resultados de modelos hidrológicos (e.g., Bressiani et al., 2015).*

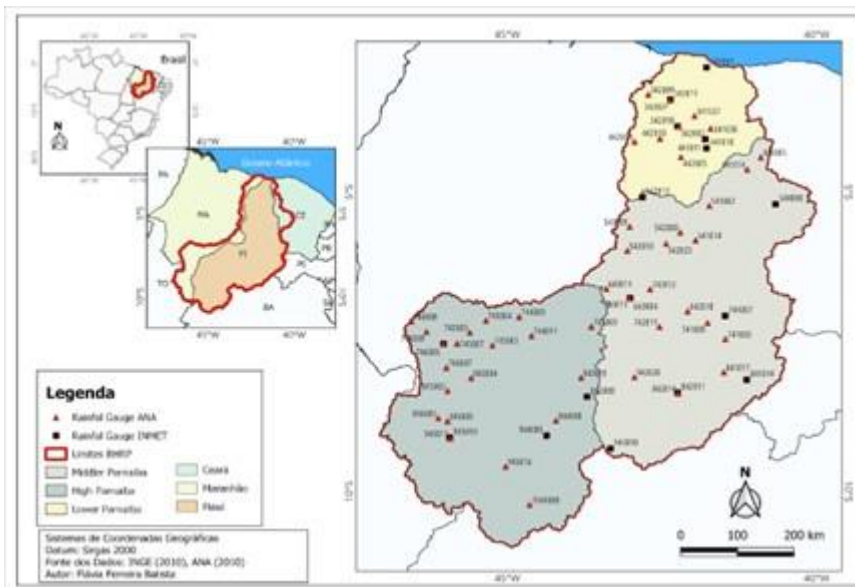
*Há poucas investigações sobre o desempenho dos produtos GPM-IMERG sobre o Brasil em escala de bacia (Duarte et al., 2022; da Silva et al., 2022; Rodrigues et al., 2021), especificamente na bacia hidrográfica do Rio Parnaíba (BHRP) em escala diária de precipitação, e a comparação das três resoluções do produto. Diante do exposto, entende-se ser relevante a análise quantitativa e espacial dos erros de estimação do IMERG sobre a bacia, proporcionando um entendimento da eficiência dos produtos e aumentando a confiabilidade na aplicação de tais estimativas nos estudos e modelos hidrológicos na região.*

## **OBJETIVOS**

*O presente artigo tem por objetivo avaliar as estimativas de precipitação diária geradas pelos produtos IMERG em diferentes latências em comparação com dados observados por pluviômetros na região da bacia hidrográfica do Rio Parnaíba.*

## **MATERIAL E MÉTODOS**

*A Região Hidrográfica da Bacia do Rio Parnaíba (RHRP) está entre as mais importantes bacias da região Nordeste do Brasil. Localiza-se, Figura 1, entre as coordenadas 2°21'S e 11°06'S de latitude, 47°21'W e 39°44'W de longitude, situada em maior parte no estado do Piauí, representando uma parcela de 77% da região hidrográfica (ANA, 2015). Na RHRP estão aquíferos com maior potencial hídrico do Nordeste, sendo dividida em três grandes sub-bacias: Alto, Médio e Baixo Parnaíba, que apresentam diferenciadas características hidrológicas, em virtude dos diferentes biomas da região. No estudo foram utilizadas duas bases de dados, sendo dados observados in situ de precipitação acumulada diária de 63 pluviômetros convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Agência Nacional de Águas (ANA). Os produtos de satélites são compostos de informações de precipitação acumulada diária (PrecipitationCal) do IMERG versão 6, algoritmo do GPM. Trata-se de informações de precipitação multi-satélite de nível 3, disponibilizados pelo Goddard Earth Sciences Data And Information Services Center (GES DISC) da Agência Espacial Americana (NASA) por meio da plataforma GIOVANNI, (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>). A localização dos locais das coletas de dados são apresentados na Figura 1. O período de análise é de 20 anos, de 01 de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2020.*



### MAPA DE LOCALIZAÇÃO

**Figura 1 - Localização Geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba e pluviômetros convencionais utilizados.**

Para comparar as estimativas de satélite com as observações dos pluviômetros foi realizada uma análise estatística através do cálculo das seguintes métricas:

- VIÉS:  $VIÉS = O_i - S_i$
- Raiz do Erro Quadrático Médio (RQME)

$$RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{n - 1}}$$

- Coeficiente de Correlação de Pearson ( $r$ )

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - \mu_s)(O_i - \mu_o)}{\sigma_s \sigma_o}$$

sendo  $O_i$  e  $S_i$  são, respectivamente, os valores observados de precipitação fornecidos por dados de estações pluviométricas e o valor estimado do produto de precipitação fornecido por produto satélite para um  $i$ -ésimo ponto/pixel;

$$\mu_s \tag{Eq. (265)}$$

e

$$\mu_o \tag{Eq. (266)}$$

são, respectivamente, as médias obtidas para dados de estações pluviométricas e média obtida de estimativas fornecidas por produto satélite para um  $i$ -ésimo ponto/pixel.  $n$  é o número de observações (dias ou anos) no período estudado.

$$\sigma_s \tag{Eq. (267)}$$

e

$$\sigma_o \tag{Eq. (268)}$$

são, respectivamente, o desvio padrão dos dados observados e das estimativas.

Para avaliar a capacidade do satélite de estimar corretamente a presença ou ausência de eventos chuvosos em um determinado dia determinou-se a Probabilidade de Detecção (POD) e a Razão de Alarmes Falsos (FAR), seguindo a metodologia proposta por Darand et al. (2017).

- Probabilidade de detecção (POD):  $POD = \frac{RR}{RR+RN}$
- Relação de alarme falso (FAR):  $FAR = \frac{NR}{RR+NR}$

em que RR é o número de eventos de chuva observados corretamente detectados, RN é o número de vezes que a chuva observada não é detectada, NR significa o número de vezes que a chuva é detectada, mas não observado.

A capacidade estimação do IMERG avaliada utilizando o Índice de eficiência de Kling-Gupta (KGE), juntamente com seus três componentes: coeficiente de correlação de Pearson (r), componente de viés ( $\beta$ ) e componente de variabilidade ( $\gamma$ ) seguindo a metodologia adotada por Kling et al. (2012).

$$KGE = 1 - \sqrt{(1-r)^2 + (1-\beta)^2 + (1-\gamma)^2}$$

$$\beta = \frac{\mu_s}{\mu_o}$$

$$\gamma = \frac{\frac{\sigma_s}{\mu_s}}{\frac{\sigma_o}{\mu_o}}$$

Sendo r a medida do coeficiente de correlação de Pearson (2),  $\beta$  o componente de viés (3), e mede a razão de variabilidade (4), todos com pontuação perfeita igual a 1. Valor superior (inferior) a 1 indica uma superestimação (subestimação). O score do KGE varia entre -? e 1, indica concordância perfeita entre simulações e observações com uma pontuação perfeita de 1. Contudo, não há significado específico associado a  $KGE = 0$ , utilizando-se a média como referência, um valor maior que - 0,41 indica uma melhora no modelo (Knoben et al., 2019; Liu et al., 2022).

A comparação dos produtos de satélites (Imerg Final vs. Early e Late) em relação às métricas de avaliação (VIES, CC, POD etc) obtidas em cada ponto de coleta foi realizada a partir do teste estatístico de Wilcoxon, para amostras dependentes, pois ambos os conjuntos de dados são não-normalmente distribuídos. Onde testou-se se existe diferença de desempenho do Imerg Final em comparação com outros produtos de satélite (hipótese alternativa H1).

Dada a amostra  $n > 20$ , a estatística do teste é dada por:

$$Z_v = \frac{\sum_{i=1}^m p_i^+ - \frac{n(n+1)}{4}}{\sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}}} \sim N(0,1)$$

sendo:  $m$  = número de desvios ( $d_i^+$ ) positivos e  $p_i^+$  = posto(ordem) de  $|d_i|$  positivo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresenta-se na Figura 2 a matriz de correlação entre os dados de precipitação acumulada em escala diária medida in situ e as estimativas de precipitação das três versões do produto IMERG, destacando-se as mesorregiões da BHRP. Todos os produtos apresentaram correlação significativa com  $p < 0.1\%$ , indicando que não há evidências que as relações sejam provenientes de fenômenos aleatórios. As correlações entre as observações e as estimativas do IMERG são sempre abaixo de 0.5, quando analisada toda a região. Ao nível de mesorregiões, observa-se diferenças na magnitude das correlações, sendo o alto Parnaíba a região com menores correlações e as melhores correlações obtidas no médio Parnaíba onde predomina o clima semiárido, com correlações superiores às obtidas para toda a região. As estimativas de precipitação diária do IMERG-F apresentam melhor correlação (0.466) com os dados observados in situ, para toda a região com pequena diferença em relação à estimativa do IMERG-E (0.451) e IMERG-L (0.452). Esses resultados são consistentes com estudos prévios que analisaram os produtos IMERG (E, L e F), (e.g. Quispe et al., 2023, Yu L. et al, 2021, Peinó et al., 2022). Além disso, são consistentes com estudos de escala global de validação do produto sobre o IMERG-F com dados coletados in situ (Gadelha et al., 2019; Huffman et al., 2019).

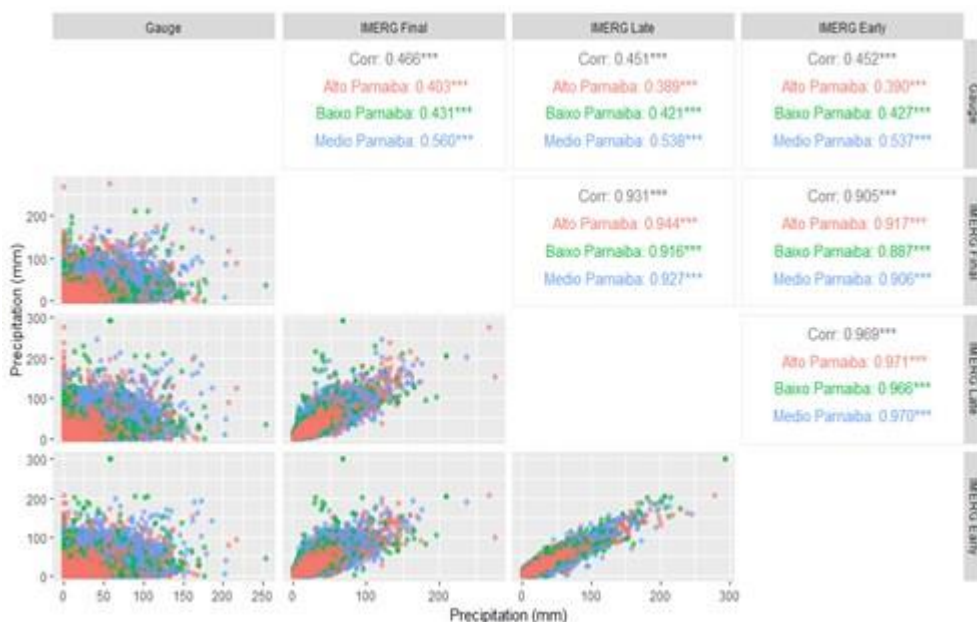
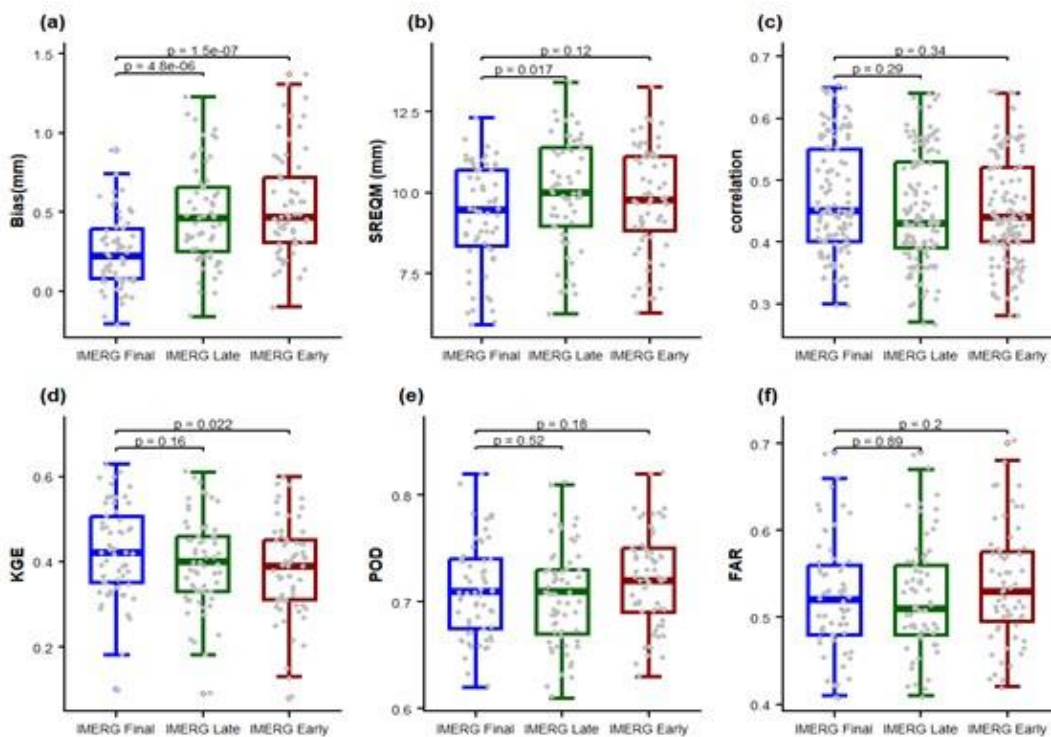


Figura 02 - Matriz de correlação dos dados de precipitação diária observada por pluviômetros, e precipitação estimada pelos produtos do IMERG, ao longo da bacia do Parnaíba, Brasil, no período de 2001 a 2020. (Os asteriscos indicam significância estatística: \*\*\* (0,1%).)

O IMERG-F apresenta o melhor desempenho em todas as métricas em comparação aos demais produtos, com viés máximo de 0.89 mm/day, médio de 0.24 mm/day, e maiores medianas ( $POD = 0,715$ ,  $FAR = 0,516$ ,  $KGE = 0.437$ ), tendo o KGE um valor considerado de eficiência razoável ( $>0.3$ ) na estimação da precipitação diária. Na comparação dos produtos em relação às métricas de avaliação, foram encontradas diferenças significativas ( $p < 5\%$ ) entre o IMERG Final e o Early nas métricas Viés e no KGE, e comparado com o IMERG Late as diferenças significativas são em relação ao Viés e RMSE. Verificou-se que os produtos IMERG (Final e Late) são estatisticamente semelhantes em relação às métricas de eficiência KGE, POD e FAR em escala diária de precipitação para a bacia estudada. Ao cruzar com estudos prévios ao nível de bacias hidrográficas no NEB foi possível verificar que os resultados são consistentes com os de Rodrigues et al. (2021) na avaliação do IMERG-F para a Bacia Hidrográfica do São Francisco, localizada no Brasil.



**Figura 03 - Box-plot confiabilidade do IMERG na captura de precipitação com base em métricas de viés médio, RQME e coeficiente de correlação (CC), Índice de eficiência de Kling-Gupta (KGE), POD e FAR.**

A distribuição espacial do índice de eficiência KGE e métricas de contingência por estação, na escala diária para o período de 20 anos, é apresentada na Figura 04, sendo possível entender o comportamento das métricas em cada mesorregião bem como comparar os produtos IMERG. A Figura 04a apresentam o KGE para cada estação e os resultados do KGE e seus componentes para toda a região (geral), sendo possível observar que o produto IMERG-F apresentou resultado um pouco superior ( $KGE_{geral} = 0.437$ ) em relação ao Late ( $KGE_{geral} = 0.413$ ) e Early ( $KGE_{geral} = 0.396$ ). Os resultados do KGE podem indicar um desempenho razoável ( $KGE > 0.3$ ), contudo, conforme sugere Knoben et al. (2019), faz-se necessária a análise dos componentes do KGE, pois, embora o valor ideal seja 1, não há significado específico associado a  $KGE = 0$ . Assim, a partir da análise dos componentes coeficiente de correlação, viés ( $\beta$ ) e variabilidade ( $\sigma$ ) para toda a região (geral) é possível apontar bons resultados em produtos IMERG (F, L e E) em relação ao coeficiente  $\beta$  com predominância de valores um pouco acima do valor ideal 1. O IMERG-F apresenta melhor resultado, com mediana 1.08 mm, indicando uma superestimação em relação ao volume de precipitação diária. O componente de variabilidade ( $\sigma$ ) inferior a 1 em todos os produtos, de 0.83 (IMERG-E), 0.84 (IMERG-F) e 0.88 (IMERG-L) indica tendência de subestimação das intensidades das chuvas registradas pelos pluviômetros, com pouca diferença entre os produtos.

Com relação a uma avaliação espacial por meio de medidas de contingência, a Figura 4b-c revela desempenho aproximados entre os três produtos. A POD variou de 0.61 a 0.82 entre as estações e produtos, com POD para toda a região entre 0,71 e 0,727 na análise dos 3 produtos (Figura 4b). Enquanto a FAR variou de 0.41 a 0.70 por estações, sendo em torno de 0,52 para toda a região nos diferentes produtos. Em termos gerais, o maior POD (0.82) e menor FAR (0.41) foi alcançada pelo IMERG-F na parte Norte da Bacia, no baixo Parnaíba; contudo, não se observou nessas regiões os maiores KGE, devido a contribuição dos componentes de viés, variabilidade da intensidade da precipitação e baixa correlação, comportamento pode ser explicado pela presença nebulosidade proveniente da ZCIT na região. Os resultados são consistentes com análises para



todo o Brasil (Gadelha et al. 2019), que relatou boa habilidade do produto IMERG-F na detecção de chuvas diárias na maior parte do Brasil.

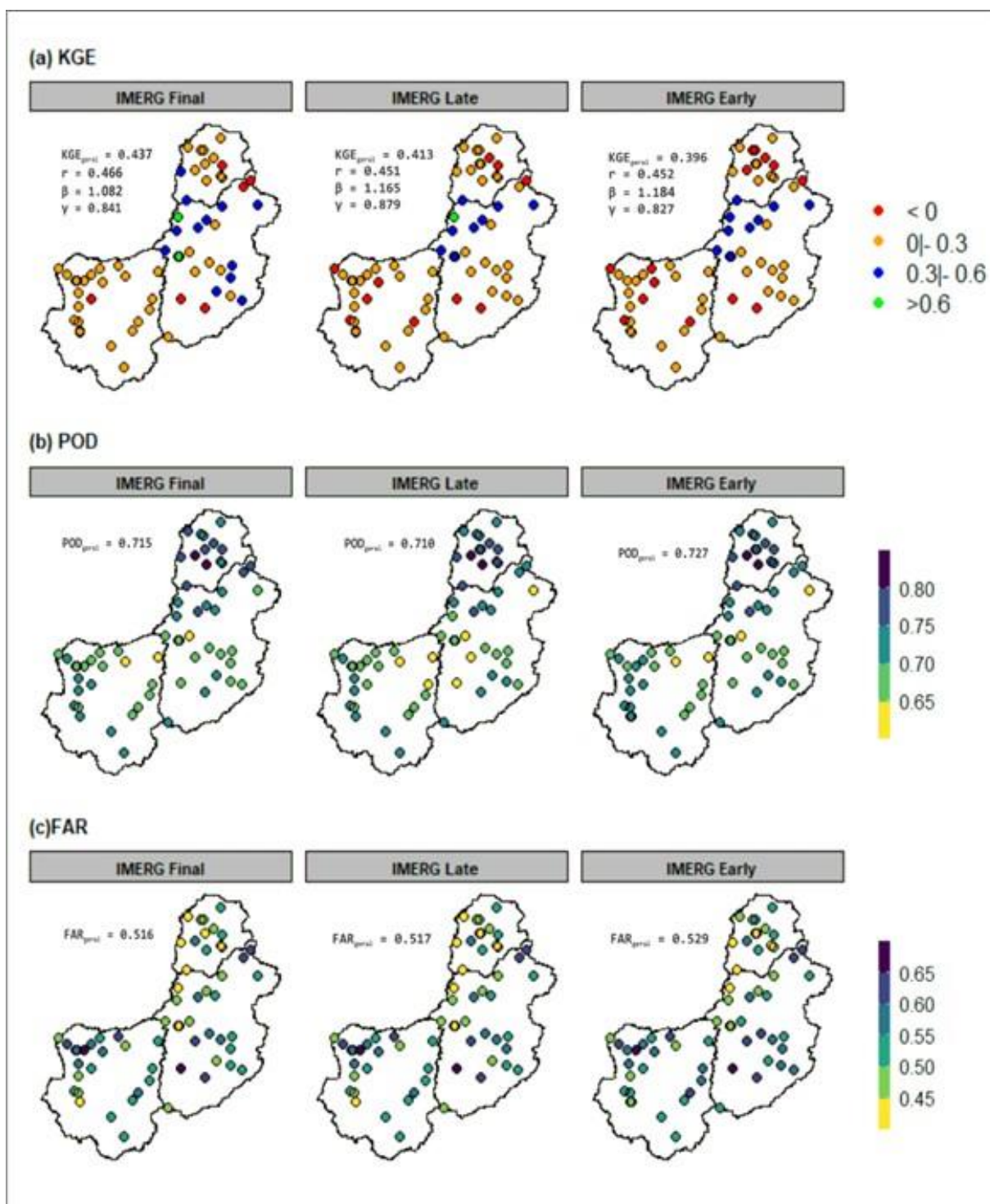


Figura 04 - Confiabilidade do MERG na captura de precipitação diária com base em métricas de eficiência de Kling-Gupta (KGE), POD e FAR.

## CONCLUSÃO

Realizamos uma análise abrangente do desempenho do produto IMERG versão 6 em suas diferentes execuções (Early, Late e Final) na estimação de precipitação diária na Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba (BHRP), Nordeste do Brasil, para o período de 2001 a 2020.

*Utilizamos como referência dados de superfície provenientes de 63 pluviômetros convencionais administrados pela ANA e INMET.*

*De uma forma geral, as análises estatísticas entre as estimativas dos IMERG e os dados in situ indicaram o IMERG-F com melhor desempenho na escala diária, sendo a maior correlação (0.47), boa habilidade de detecção ( $POD > 0.7$ ), menor índice de alarmes falsos ( $FAR < 0.53$ ) e eficiência razoável em relação aos dados in situ ( $KGE > 0.4$ ). Contudo, não há diferença estatística significativa entre os produtos IMERG (Final e Late) em relação às métricas de eficiência KGE, POD e FAR, sendo esses valores melhorados com o aumento da latência do produto, sendo o IMERG Late indicado para utilização em estudos que requerem análises quase em tempo real.*

#### **AGRADECIMENTOS**

*Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas - DCAC -UFRN*

*Instituto Federal do Espírito Santo - IFES*

#### **REFERÊNCIAS**

*ANA - Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras. Edição Especial, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos - SPR, Brasília-DF, ANA, 2015. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/regioeshidrograficas2014.pdf>> Acessado em: 28/12/2021.*

*Chen, C., Chen, Q., Qin, B., Zhao, S., & Duan, Z. (2020). Comparison of different methods for spatial downscaling of GPM IMERG V06B satellite precipitation product over a typical arid to semi-arid area. *Frontiers in Earth Science*, 8, 536337.*

*Darand, M., Amanollahi, J., Zandkarimi, S., 2017. Evaluation of the performance of TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) estimation over Iran. *Atmos. Res.* 190 (Supplement C), 121-127. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.02.011>*

*da Silva, P.M., Santos e Silva, C.M., Spyrides, M.H.C., Andrade, L.M.B., 2019. Precipitation and air temperature extremes in the Amazon and Northeast Brazil. *Int J Climatol.* 39, 579- 595. <https://doi.org/10.1002/Joc.5829>*

*Duarte, L.V., Formiga, K.T.M., Costa, V.A.F., 2022. Analysis of the imerg-gpm precipitation product analysis in brazilian midwestern basins considering different time and spatial scales. *Water.* 14, 2472. <https://doi.org/10.3390/w14162472>*

*Gadelha, A.N., Coelho, V.H.R., Xavier, A.C., Barbosa, L.R.; Melo, D.C.D., Xuan, Y., Huffman, George J., Petersen, Walt A., Almeida, C.N., 2019. Grid box-level evaluation of IMERG over Brazil at various space and time scales. *Atmospheric Research*, 218, 231-244, 0169-8095, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.12.001>.*

*Huffman, G. J., And Coauthors, 2007: The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (Tmpa): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *J. Hydrometeor.*, 8, 38-55, <https://doi.org/10.1175/Jhm560.1>.*

*Huffman, G.J., Bolvin, D.T., Braithwaite, D., Hsu, K., Joyce, R., Kidd, C., Nelkin, E.J., Sorooshian, S., Tan, J., Xie, P., 2019. NASA global precipitation measurement (GPM) integrated*

*multi-satellite retrievals for GPM (IMERG). [https://docserver.gesdisc.eosds.nasa.gov/public/project/GPM/IMERG\\_ATBD\\_V06.pdf](https://docserver.gesdisc.eosds.nasa.gov/public/project/GPM/IMERG_ATBD_V06.pdf). Acessado em: 28/10/2021*

*IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico de 2010. Disponível em: <[www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php](http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php)>. Acessado em: 29/12/2021.*

*IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Bacias e Divisões Hidrográficas do Brasil*/2021. Disponível em <[https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html?caminho=informacoes\\_ambientais/estudos\\_ambientais/bacias\\_e\\_divisoes\\_hidrograficas\\_do\\_brasil/2021/Bacias\\_Hidrograficas\\_do\\_Brasil\\_BHB250/tabelas/](https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html?caminho=informacoes_ambientais/estudos_ambientais/bacias_e_divisoes_hidrograficas_do_brasil/2021/Bacias_Hidrograficas_do_Brasil_BHB250/tabelas/)>. Acessado em: 26/05/2022.*

*Kling H., Fuchs M., Paulin M., *Runoff conditions in the upper Danube basin under an ensemble of climate change scenarios*, *Journal of Hydrology*, Volumes 424-425, 2012, Pages 264-277, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.01.011>.*

*Liu, Y., Fernández-Ortega, J., Mudarra, M., and Hartmann, A., 2022. *Pitfalls and a feasible solution for using KGE as an informal likelihood function in MCMC methods: DREAM(ZS) as an example*, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 26, 5341-5355, <https://doi.org/10.5194/hess-26-5341-2022>.*

*Peinó, E.; Bech, J.; Udina, M. *Performance Assessment of GPM IMERG Products at Different Time Resolutions, Climatic Areas and Topographic Conditions in Catalonia*. *Remote Sens.* 2022, 14, 5085. <https://doi.org/10.3390/rs14205085>.*

*Quispe, L.A.; Paxi, E.; Lujano, E. *Evaluation of GPM IMERG Performance Over the Lake Titicaca Basin at Different Time Scales*. *Environ. Sci. Proc.* 2023, 25, 65. <https://doi.org/10.3390/ECWS-7-14324>*

*Rodrigues, Dt, Gonçalves, Wa, Spyrides, Mhc, Santos E Silva, Cm. (2020) *Spatial And Temporal Assessment Of The Extreme And Daily Precipitation Of The Tropical Rainfall Measuring Mission Satellite In Northeast Brazil*. *International Journal of Remote Sensing*, 41:2, 549-572, DOI: 10.1080/01431161.2019.1643940.*

*Rodrigues, Dt, Gonçalves, Wa, Spyrides, Mhc, Santos E Silva, Cm, De Souza, Do. *Spatial Distribution Of The Level Of Return Of Extreme Precipitation Events In Northeast Brazil*. *Int J Climatol.* 2020; 40: 5098-5113. <https://doi.org/10.1002/Joc.6507>*

*Rodrigues, D.T.; Santos E Silva, C.M.; Dos Reis, J.S.; Palharini, R.S.A.; Cabral Júnior, J.B.; Da Silva, H.J.F.; Mutti, P.R.; Bezerra, B.G.; Gonçalves, W.A. *Evaluation Of The Integrated Multi-Satellite Retrievals For The Global Precipitation Measurement (IMERG) Product In The São Francisco Basin (Brazil)*. *Water* 2021, 13, 2714. <https://doi.org/10.3390/W13192714>.*

*Saouabe, T., Naceur, K. A., El Khalki, E. M., Hadri, A., & Saidi, M. E. (2022). *GPM-IMERG product: a new way to assess the climate change impact on water resources in a Moroccan semi-arid basin*. *Journal of Water and Climate Change.* 13(7), 2559-2576. Doi: 10.2166/wcc.2022.403*

*Yu, L.; Leng, G.; Python, A.; Peng, J. *A Comprehensive Evaluation of Latest GPM IMERG V06 Early, Late and Final Precipitation Products across China*. *Remote Sens.* 2021, 13, 1208. <https://doi.org/10.3390/rs13061208>*

*Wilcoxon, F. *Individual comparisons by ranking methods*. *Biom. Bull.* 1945, 1, 80-83. <https://doi.org/10.2307/3001968>*

# IMPACTO DA TEMPERATURA MÁXIMA EM PLANTAS JOVENS DE AÇAIZEIRO (*Euterpe oleracea* Mart.)

Marcello Zatta Péres <sup>1</sup>; José Eduardo Macedo Pezzopane <sup>1,2</sup>; João Vitor Toledo <sup>1</sup>; Talita Miranda Teixeira Xavier <sup>1</sup>; Genilda Canuto Amaral <sup>3</sup>; Aline Ramalho dos Santos <sup>1</sup>; Elbya Leão Gibson <sup>1</sup>; Lorena Lacerda de Oliveira <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pós-Graduação em Ciências Florestais. Avenida Governador Lindemberg, nº 316, Centro, Jerônimo Monteiro - ES. Universidade Federal do Espírito Santo; <sup>2</sup>Docente. Avenida Governador Lindemberg, nº 316, Centro, Jerônimo Monteiro - ES. Universidade Federal do Espírito Santo; <sup>3</sup>Pesquisadora. Lourizán S/N, 36153, Pontevedra, Galiza, Espanha. Ence - Energía y Celulosa

## RESUMO

O açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.), nativo do Bioma Amazônia, possui alto valor econômico, devido à polpa de seus frutos. O aumento da demanda de seus produtos impulsionou os plantios comerciais para ambientes mais adversos, notadamente com altos níveis de radiação solar e temperaturas elevadas. Associado a isso, as emissões de gases do efeito estufa tem contribuído para o aumento da temperatura, resultando em alterações fisiológicas nas plantas. Assim, o objetivo deste estudo foi investigar o impacto da temperatura máxima do ar em mudas de açaizeiro, por meio de parâmetros fisiológicos de trocas gasosas foliares. Dentro de casas de vegetação climatizadas, as mudas foram conduzidas sob duas temperaturas máximas diárias: 31 e 41°C. As trocas gasosas foram medidas em folhas totalmente expandidas no terço superior da planta, com um analisador de gases a infravermelho (IRGA). Apesar da elevação da temperatura máxima para valores acima da região de ocorrência natural da espécie, houve aumento da condutância estomática, com conseqüente incremento da taxa fotossintética e da transpiração nas folhas do açaizeiro.

**PALAVRAS-CHAVE:** açaizeiro; temperatura máxima; fotossíntese; transpiração;

## INTRODUÇÃO

O açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma palmeira de grande importância para a economia brasileira, principalmente no Bioma Amazônia, devido à extração de seus frutos, ultrapassando 1,6 milhões de toneladas, no ano de 2020 (CONAB, 2022), com tendência de aumento para os próximos anos. O mesmo ocorre para as áreas de cultivo, que com mais de 200 mil hectares (IBGE, 2023), resultado da expansão das áreas de produção para regiões com climas diferentes à que a espécie está adaptada.

Aliado à expansão das áreas de produção do açaizeiro, o aumento de gases de efeito estufa na atmosfera, que influenciam a temperatura na Terra, pode se tornar um fator que limita o crescimento das plantas (HATFIELD & PRUEGER, 2015). Estima-se que a temperatura no globo terrestre sofra acréscimos de 0,2 °C a cada dez anos, o que conduzirá a temperaturas entre 1,8 e 4,0 °C mais elevadas do que o nível atual, no ano de 2100 (IPCC, 2014).

O estresse térmico pode ser classificado de três formas, dependendo do agente estressor, podendo ser de alta ou baixa temperatura, ou de congelamento; é um dos principais fatores abióticos que limitam a produtividade das plantas (SANTOS et al., 2022). O estresse por alta temperatura é caracterizado pelo aumento da temperatura do ar além de um limite crítico, resultando em danos irreversíveis ao crescimento e desenvolvimento das plantas (WAHID & CLOSE, 2007). Esse estresse desestabiliza a homeostase celular, causando atraso no crescimento, desenvolvimento e, em condições extremas, pode levar à morte das plantas (KAI & IBA, 2014).

Entretanto, é importante ressaltar que a sensibilidade ao calor pode variar de acordo com o indivíduo da espécie e seu estágio de desenvolvimento (FRIRION et al., 2023). Ademais, as plantas

podem responder ao estresse térmico através de regulações dos processos fisiológicos, ocasionados por mudanças bioquímicas (HASANUZZAMAN et al., 2013).

## OBJETIVOS

O objetivo deste estudo foi investigar os efeitos de dois ambientes com temperaturas máximas distintas, em mudas de *Euturpe oleracea*, em relação aos parâmetros fisiológicos de trocas gasosas.

## MATERIAL E MÉTODOS

### 1. Área Experimental

O experimento foi desenvolvido em duas casas de vegetação climatizadas, localizadas na área experimental do Laboratório de Meteorologia e Ecofisiologia Florestal - LMEF, pertencente à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), situada no município de Jerônimo Monteiro - ES, com latitude 20°47'25' S e longitude 41°23'48' W, a altitude de aproximadamente 120 m.

O estudo foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco plantas por tratamento, totalizando 10 unidades experimentais. As diferentes condições de temperatura foram obtidas a partir da utilização de duas casas de vegetação climatizadas com diferentes curvas de variação da temperatura do ar (Tar), sendo denominadas de Controle, com temperatura máxima de 31°C, e de Estresse Térmico, com temperatura máxima de 41°C (Figura 1).

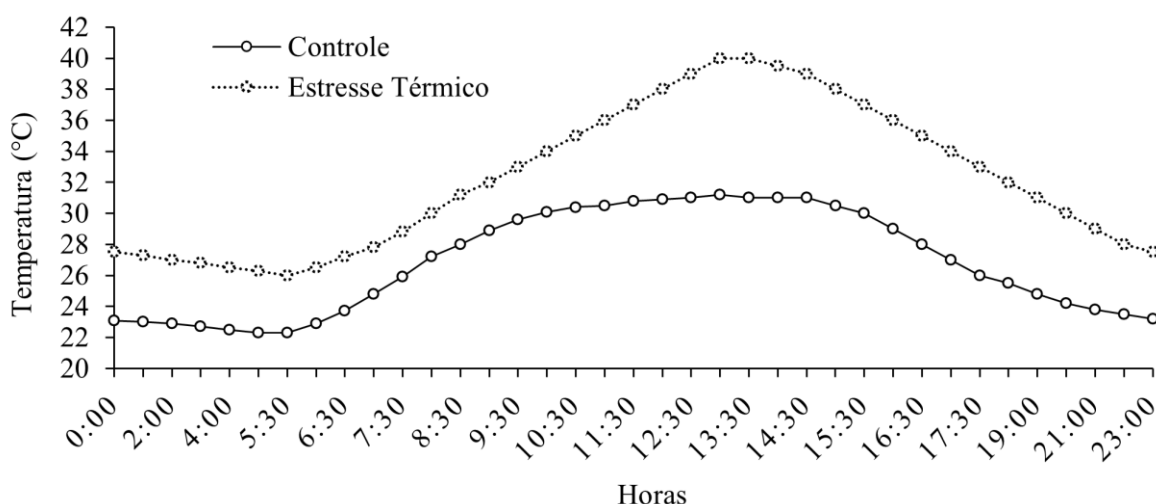


Figura 1. Programação das curvas de variação da temperatura do ar, em duas casas de vegetação climatizadas no município de Jerônimo Monteiro - ES.

### 2. Material Vegetal

As mudas de *E. oleracea*, em fase de expedição, foram transplantadas em vasos de 12 l de volume, preenchidos com substrato comercial Vivatto PRO 20, juntamente de 2,5 g/l de adubo de liberação controlada (Basacote Plus 6M - NPK 15-9-12).

Durante o período de 151 dias após o transplântio (DAT), as mudas permaneceram no interior da casa de vegetação Controle. Ao final do 151 DAT, cinco plantas foram levadas para a outra casa de vegetação (Estresse Térmico), permanecendo 27 dias. As mudas eram irrigadas ao final do dia para a capacidade de campo.

### 3. Monitoramento microclimático

Os dados climáticos foram medidos, ao longo do tempo, utilizando estações meteorológicas automáticas instaladas nas casas de vegetação. Os dados foram armazenados em um datalogger (Campbell Scientific Inc, CR-10x) com leituras de dados a cada cinco segundos e armazenamento a cada cinco minutos.

#### 4. Determinação de trocas gasosas nas folhas

As análises fisiológicas de trocas gasosas foram realizadas em dois dias de céu limpo (11/09/2019 e 08/10/2019), utilizando um analisador de gás infravermelho portátil (IRGA), modelo Li-6400XT da LiCOR. As leituras ocorreram às 10h (GMT-3) (OLIVEIRA et al., 2019), com valor de radiação fotossinteticamente ativa de  $600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . A concentração de  $\text{CO}_2$  foi fixada em 400 ppm e a temperatura do bloco foi alterada de acordo com a Tar.

As mensurações realizadas foram: fotossíntese (A), taxa de transpiração (E), condutância estomática ( $g_s$ ), concentração intracelular de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) e a eficiência intrínseca do uso da água (A/ $g_s$ ).

#### 5. Análise dos dados

Os dados das variáveis fisiológicas foram submetidos à ANOVA, e as médias comparadas pelo teste t de Student ( $p \leq 0,05$ ) utilizando o software R (v. 4.2.2; R CORE TEAM, 2022).

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

As mudas de açazeiro tiveram um aumento significativo de A (14,4%), E (25%),  $g_s$  (10,5%) e da  $T_{\text{folha}}$  ( $3,18^\circ\text{C}$ ), enquanto as médias de  $C_i$  e A/ $g_s$  permaneceram idênticas entre os tratamentos de  $31^\circ\text{C}$  e  $41^\circ\text{C}$  (Figura 2).

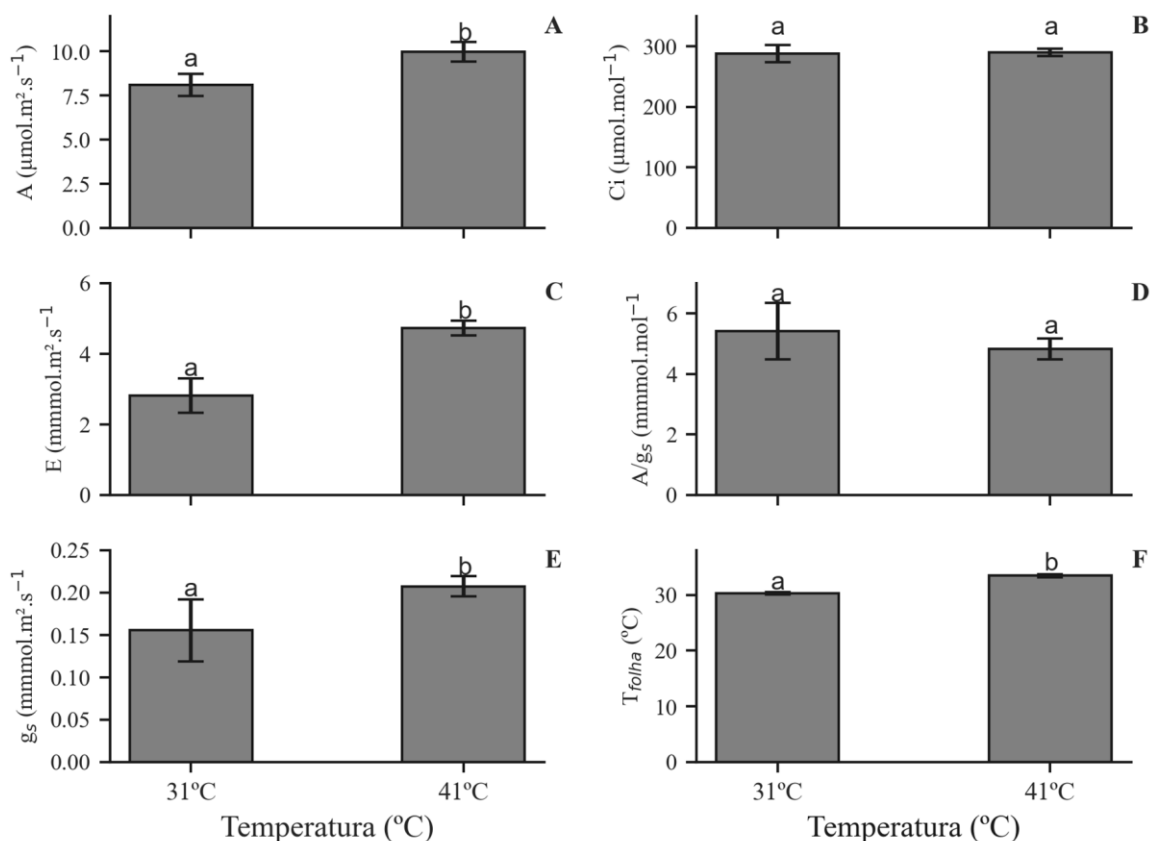


Figura 2. Mudanças na fotossíntese (A, A), concentração intracelular de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ , B), taxa de

*transpiração (E, C), eficiência intrínseca do uso da água (A/g<sub>s</sub>, D), condutância estomática (g<sub>s</sub>, E) e temperatura da folha (T<sub>folha</sub>, F), no dia 08/10/2019. Os dados são as médias ± sd (n = 5). Letras minúsculas diferentes denotam diferenças significativas entre os tratamentos (teste t de Student, p ≤ 0,05).*

*O resultado vai de acordo com o encontrado por Neves et al. (2019), que não encontraram grandes diferenças nestes parâmetros (C<sub>i</sub> e A/g<sub>s</sub>), aplicando estresse térmico de 36°C constante, durante 14 dias, em mudas de açaizeiro.*

*No entanto, os maiores valores de A, E e g<sub>s</sub>, com 41°C de máxima, pode nos mostrar que a espécie consegue ser tolerante a Tar máxima próximas à 40°C durante um longo período de dias. Isto se deve, pois, a irrigação foi mantida durante todo o experimento, o que possibilitou a mudas manterem os estômatos abertos, elevando a E e a g<sub>s</sub>, com o aumento da Tar.*

*Portanto, entender a regulação metabólica da fotossíntese em plantas de açaizeiro, sob condições de diferentes temperaturas do ar máximas, é crucial para a conservação da espécie, bem como gerar informações para a contínua expansão de plantios comerciais, gerando valor para os produtores.*

## **CONCLUSÃO**

*A fotossíntese (A) acompanhou a taxa de transpiração (E), mesmo a espécie estando em uma condição de Tar máxima próximo a 41 °C, durante 27 dias de experimento. Isto nos mostra que a espécie é tolerante à Tar máximas de 41°C.*

## **AGRADECIMENTOS**

*À UFES, em conjunto aos órgãos financiadores FAPES, CAPES e CNPq, pelo fomento à pesquisa. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.*

## **REFERÊNCIAS**

*CONAB. Boletim da Sociobiodiversidade. Companhia Nacional de Abastecimento, v. 6, n. 1, p. 1-36, 2022. Disponível em:*

*<[https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/41330\\_c4a9424bd071dd6186d7a8ad4636efaa](https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/41330_c4a9424bd071dd6186d7a8ad4636efaa)>. Acesso em: 27 de jun. de 2023.*

*FRIRION, V. et al. Within and between population phenotypic variation in growth vigor and sensitivity to drought stress in five temperate tree species. Forest Ecology and Management, v. 531, p. 120754, 2023.*

*HASANUZZAMAN, M. et al. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. International journal of molecular sciences, v. 14, n. 5, p. 9643-9684, 2013.*

*HATFIELD, J. L.; PRUEGER, J. H. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. Weather and climate extremes, v. 10, Part. A, p. 4-10, 2015.*

*IBGE. Produção de Açaí (cultivo). Brasília, 2023. Disponível em:*

*<<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/acai-cultivo/br>>. Acesso em: 27 de jun. de 2023.*

**IPCC. Climate change: impacts, adaptation, and vulnerability. part b: regional aspects. contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, BARROS, V. R. et al. (eds), Cambridge: Cambridge University Press, 688 pp. 2014.**

**KAI, H.; IBA, K. Temperature Stress in Plants. In: eLS. John Wiley & Sons, Ltd: Chichester. DOI: 10.1002/9780470015902.a0001320.pub2**

**NEVES, L. H. et al. Leaf gas exchange, photochemical responses and oxidative damages in assai (*Euterpe oleracea* Mart.) seedlings subjected to high temperature stress. *Scientia Horticulturae*, v. 257, p. 108733, 2019.**

**OLIVEIRA, H. O. et al. Coupling physiological analysis with proteomic profile to understand the photosynthetic responses of young *Euterpe oleracea* palms to drought. *Photosynthesis Research*, v. 140, n. 2, p. 189-205, 2019.**

**R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2022. URL <<https://www.R-project.org/>>.**

**SANTOS, T. B. dos et al. Physiological responses to drought, salinity, and heat stress in plants: a review. *Stresses*, v. 2, n. 1, p. 113-135, 2022.**

**WAHID, A.; CLOSE, T. J. Expression of dehydrins under heat stress and their relationship with water relations of sugarcane leaves. *Biologia Plantarum*, v. 51, p. 104-109, 2007.**



# **EFEITO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA EM PLANTAS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) CULTIVADAS EM SISTEMA HIDROPÔNICO FECHADO DE DUAS FASES**

**Gutemberg Porto de Araujo<sup>2</sup>; Hermínia Emília Pietro Martinez<sup>1</sup>; Samuel Gonçalves Ferreira dos Santos<sup>2</sup>; Laís Quintão Castro<sup>2</sup>; Daniela Silva Albuquerque<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Docente. Av. P. H. Rolfs, s/n, Viçosa - MG. Universidade Federal de Viçosa - UFV; <sup>2</sup>Bolsista. Av. P. H. Rolfs, s/n, Viçosa - MG. Universidade Federal de Viçosa - UFV

## **RESUMO**

*A cafeicultura (*Coffea arabica* L.) é de extrema importância para o Brasil, sendo que, o país é o maior produtor e exportador mundial. Os fatores que interfere de forma direta no crescimento e na produção, são o fator nutricional, os nutrientes não fornecidos, podem afetar o metabolismo da planta. Usamos 4 tratamentos salinos correspondentes a condutividade elétrica - CE da solução nutritiva de 1,0; 2,0; 4,0 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com três repetições. O Aumento da condutividade elétrica na solução reduziu a altura de plantas nas condições do experimento. Não houve efeito significativo do aumento da condutividade elétrica - CE e nas variáveis índice de área foliar, teor de água da folha, teor de água relativo da folha, teor de água da raiz e índice SPAD no café. Houve identificação possíveis deficiência de K<sup>+</sup> em algumas plantas. Todavia, não foi possível concluir a existência de tais sintomas.*

**PALAVRAS-CHAVE:** Salinidade; *Coffea arabica* L.; Hidroponia; índice SPAD;

## **INTRODUÇÃO**

*A cafeicultura é de extrema importância para o Brasil, sendo que, o país é o maior produtor e exportador mundial deste grão. Contudo, sabe-se que a produtividade média no país ainda é baixa quando comparado com o potencial que pode ser alcançado (CAIXETA, et al.2021).*

*O cultivo de plantas de café em sistema hidropônico e para se obter sucesso, exige um grande volume de solução nutritiva, com isso impede que a absorção de nutrientes pelas raízes produza mudanças extremas nas concentrações dos nutrientes e no pH da solução. Um suprimento suficiente de oxigênio para o sistema de raízes também é crucial e pode ser alcançado pelo borbulhamento vigoroso de ar através da solução.*

*Além disso, diferentes fatores interferem de forma direta no crescimento e produtividade do café, dentre eles podemos citar o fator nutricional, em que os nutrientes essenciais quando se não fornecidos adequadamente, podem afetar os processos metabólicos das plantas, como resultado atrasos no desenvolvimento e crescimento da planta como um todo (EMATER, 2016).*

*Os efeitos da salinidade alta nas plantas ocorrem por um processo de duas fases, uma resposta rápida a? elevação da pressão osmótica na interface raiz-solo e uma resposta mais lenta causada pela acumulação de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nas folhas. Na fase osmótica, ha? uma diminuição no crescimento da parte aérea, com redução da expansão foliar e inibição da formação de gemas laterais.*

*Outrossim, estudar o efeito da salinidade em plantas de café é de suma importância, já que a salinidade do solo é um fator limitante para o cultivo de muitas espécies e está presente nas novas áreas de cultivo e um método eficaz de estudo para o efeito da salinização na cultura do café se dá pelo uso da hidroponia. (TAIZ et al., 2017).*

*Ademais, através da análise foliar é possível avaliar e diagnosticar o estado dos nutrientes na cultivar paraíso dois, pois é um método direto obtido através da matéria seca da planta onde é possível determinar de forma quantitativa os nutrientes.*

## OBJETIVOS

*O trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da condutividade elétrica -CE em plantas de café através da cultivar Paraíso 2, e a influência do estresse salino, doses de nutrientes em condições controladas em sistema hidropônico fechado de duas fases.*

## MATERIAL E MÉTODOS

*O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa - UFV, Minas Gerais, Brasil (latitude 20° 45' 28" S, longitude 42° 52' 12" W a uma altitude de 648 metros). A casa de vegetação utilizada não é climatizada, sendo revestida por vidro transparente, de fechamento lateral com tela antiáfídica, com dimensões 8,5 m de largura x 20 m de comprimento, possuindo pé direito de 3,5 metros.*

*Os valores médios de temperaturas mínima, máxima e umidade relativa foi registrado durante a condução do experimento. Serão utilizadas plantas de café (*Coffea arabica* L.) da cultivar "Paraíso 2". As mudas de café foram doadas pelo departamento de Fitotecnia da UFV e apresentavam 12 meses de idade de início da condução do trabalho e 13 meses de idade após o término da condução do mesmo.*

*Outrossim, as informações obtidas da produção das mudas, sendo que as sementes de café foram semeadas em bandeja de germinação 12,5 x 53,7 x 28,8 cm, colocando-se uma semente por cubo em substrato de cascas de pinos e coco. Após germinação, as plântulas apresentando de 3 a 4 pares de folhas, realizou-se a transferência das mesmas para caixas plásticas pretas de 130 litros, que foram confeccionadas para acomodar as plântulas de café Paraíso 2 com cortiças de espuma sobre isopor com furos de 48 mm de diâmetro, contendo nas caixas solução nutritiva padrão, de acordo com a solução de Clark a  $1/4$  de força (CLARCK, 1975), onde permaneceram por 8 meses.*

*Duas plantas de café foram transferidas para um vaso de plástico revestido por polímero impermeabilizante, recobertos papel laminado, com capacidade de 8,5 litros, contendo solução nutritiva. Na tampa colocada em cada vaso onde possuíam dois furos de 48 mm de diâmetros, cada furo em suas respectivas extremidades, o café foi acomodado entre os furos com cortiça de espuma flexível de poliuretano. O cafeeiro era eram bastante heterogêneos, ou seja, possuíam tamanhos variados, foram classificadas em pequenas (<21,0 cm), médias (21-22,9 cm) e grandes ( $\geq$  23,0 cm) resultando assim em 3 blocos.*

*Para maior acurácia da pesquisa foi usadas medidas de altura de plantas na estimativa de crescimento das mesmas em solução nutritiva. Outrossim, as medidas de altura foram feitas minuciosamente com ferramental de alta precisão. Onde as marcações com fita crepe na base das plantas de café em cada bloco para verificar se obteve crescimento significativo no final da experimentação.*

*Ademais, os vasos foram devidamente arranjados com espaços de 0,40 m entre plantas e 0,40 m entre linhas os tratamentos serão constituídos por diferentes condutividades elétrica na solução. Utilizou-se a solução nutritiva de Steiner (STEINER, 1980), com metade ( $1/2$ ) da força, com condutividade elétrica de 1,0 dS m<sup>-1</sup>. Os demais tratamentos foram as condutividades de 2,0; 4,0 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>, obtidas pelo aumento da concentração salina da solução padrão (Tabela 1).*

**Tabela 1. Concentrações utilizados para obtenção dos tratamentos.**

---

Condutividade elétrica (dS m<sup>-1</sup>)

	1,0	2,0	4,0	6,0
Macronutrientes (mmol.L <sup>-1</sup> )				
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6,00	12,00	24,00	48,00
P-H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,50	1,00	2,00	4,00
S-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	1,75	3,50	7,00	14,00
K <sup>+</sup>	3,50	7,00	14,00	28,00
Ca <sup>+2</sup>	2,25	4,50	9,00	18,00
Mg <sup>+2</sup>	1,00	2,00	4,00	8,00
Micronutrientes (µmol.L <sup>-1</sup> )				
B	23,00	46,00	92,00	184,00
Cu	0,15	0,30	0,60	1,20
Mn	18,00	36,00	72,00	144,00
Mo	0,25	0,50	1,00	2,00
Zn	0,75	1,50	3,00	6,00
Fe	22,50	45,00	90,00	180,00

*A solução nutritiva foi mantida sob aeração constante e o pH monitorado diariamente e ajustado a  $5,5 \pm 0,5$ , com HCl 1N ou NaOH 1N. As trocas das soluções foram realizadas quando se obter uma redução de 5% da condutividade elétrica inicial.*

*As avaliações ocorreram após 36 dias da transferência das mudas para a solução nutritiva, onde foi avaliado o índice SPAD, área foliar, teor de água, teor relativo de água na folha e na raiz, altura das plantas. Para a determinação da matéria seca, a parte aérea e as raízes das plantas foram colocadas em sacos de papel e encaminhadas a estufa com circulação de ar forçado, na temperatura de 65 °C, até atingirem a massa constante.*

*O consumo de água (CA): foi obtido por meio da soma da quantidade de água repostas em cada vaso conforme a necessidade para ajustar (reduzir) a condutividade elétrica. Os resultados foram expressos em mililitros.*

*Altura de planta (ΔH): foi obtido por meio da medição das plantas no início e no fim do experimento. Para auxiliar na medição, realizou-se a marcação de todas as plantas, colocando uma fita branca na base das mesmas. Os resultados foram expressos em cm.*

*Área foliar (AF): foi obtido por meio da medição do comprimento e da largura de 4 folhas completamente expandidas localizadas no primeiro ramo plagiotrópico da parte aérea. Foram medidas 2 folhas em cada ramo, totalizando 4 medições por planta. Para obtenção desta variável, realizou-se a multiplicação do comprimento pela largura e, posteriormente, o resultado de tal operação multiplicado por 0,067 (Barros et al., 1973). Para medição foi utilizado um paquímetro digital e os resultados expressos em cm<sup>2</sup>.*

*Teor de água das folhas (TAF): para realização do teor de água, retirou-se uma pequena fração das folhas novas e velhas de cada planta com auxílio de um cilindro. Posteriormente, os materiais vegetais foram colocados em saco de papel e levados a estufa a 70°C por 48 horas. Os resultados foram expressos em decimal.*

*Teor relativo de água de folhas (TRAF): retirou-se uma pequena fração das folhas novas e velhas de cada planta com auxílio de um cilindro. Posteriormente, os fragmentos foram colocados em placa de petri contendo água destilada e permaneceram ali durante 8h (Maia et al., 2007). Em seguida, realizou-se a pesagem do material umedecido em balança de precisão e, posteriormente, o mesmo foi levado a estufa para determinação do teor de água conforme já descrito anteriormente. Os resultados foram expressos em percentual.*

*Teor de água das raízes finas (TAR): com um auxílio de uma tesoura de poda, removeu-se uma pequena quantidade de raízes finas de cada planta. Posteriormente, o material vegetal foi colocado em saco de papel e levados a estufa a 70°C por 48 horas. Os resultados foram expressos em decimal.*

*Índice SPAD (SPAD): foi realizado utilizando o medidor portátil de clorofila modelo SPAD 502 plus. Foram realizadas as medições do índice SPAD em 4 folhas por plantas, sendo as mesmas utilizadas para a obtenção do teor de água de folha.*

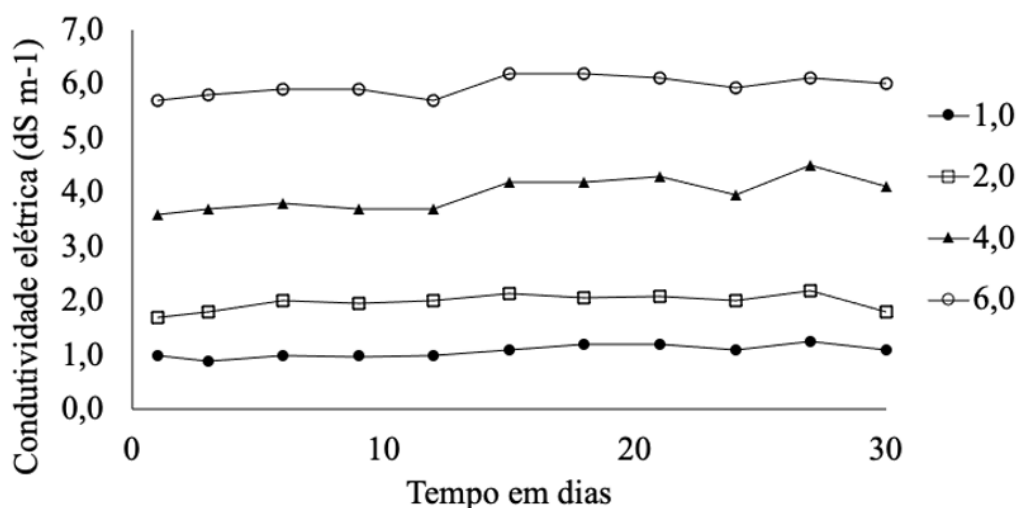
*Sintomatologia: realizou-se a inspeção nas plantas com o intuito de identificar a ocorrência de sintomas de deficiência de nutrientes em virtude dos tratamentos estudados.*

*Na estatística foi feito o delineamento em blocos casualizados (DBC) que envolve os três princípios da experimentação que é repetição, casualização e controle local, no qual as plantas foram distribuídas em blocos casualizados e aleatório de tal forma que cada tratamento contendo a solução nutritiva com a CE (condutividade elétrica - CE) onde foi avaliado e testado em todas as condições. Os dados foram avaliados quanto a normalidade e homogeneidade dos resíduos pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Em seguida, os dados foram analisados por meio de análise de variância e regressão. Os modelos foram selecionados com base na significância da equação, pelo teste F e na significância dos coeficientes de regressão utilizando o teste T, adotando o nível de 5 % de significância, no coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e no conhecimento da evolução do fenômeno biológico.*

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1.1 Efeito da condutividade elétrica nos tratamentos**

*A variação das condutividades se mostrou constante não apresentando grandes variações de modo geral e as plantas de café paraíso 2 cujas raízes as ficaram submersas em solução nutritiva, informados na Tabela 2 representando o comportamento experimental das diferentes condutividades elétricas - CE no "eixo y" em relação com o tempo em dias no "eixo x". Ademais, a cada dois dias após as medições a condutividade elétrica, os dados obtidos através condutivímetro com microelétrodos conectados a um voltímetro, onde o mesmo fez o registro da diferença de potencial elétrico na solução nutritiva. No entanto, na Condutividade elétrica 4 ( $dS m^{-1}$ ) mostrou-se uma singela alteração já termino experimento que foi feita a adição 150 ml de água ultra pura para balancear a condutividade da solução.*



**Figura 1.** Variação da condutividade elétrica no decorrer do experimento de acordo com cada tratamento.

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância dos dados referentes ao consumo de água (CA), variação de altura ( $\Delta H$ ), área foliar (AF), teor de água da folha (TAF), teor de água da raiz (TAR) e índice SPAD (SPAD) de plantas de café submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica na solução nutritiva.

Fonte de Variação	**CA	** $\Delta H$	AF	TRAF	TAF
Condutividade	0,0041	0,0046	0,0973	0,7449	0,5577
Bloco	0,0037	0,3802	0,6403	0,6199	0,3486
CV (%)	13,61	23,62	18,73	7,97	16,72
Fator de Variação	TAR	SPAD			
Condutividade	0,27776	0,9851			
Bloco	0,33316	0,3677			
CV (%)	37,43	10,05			

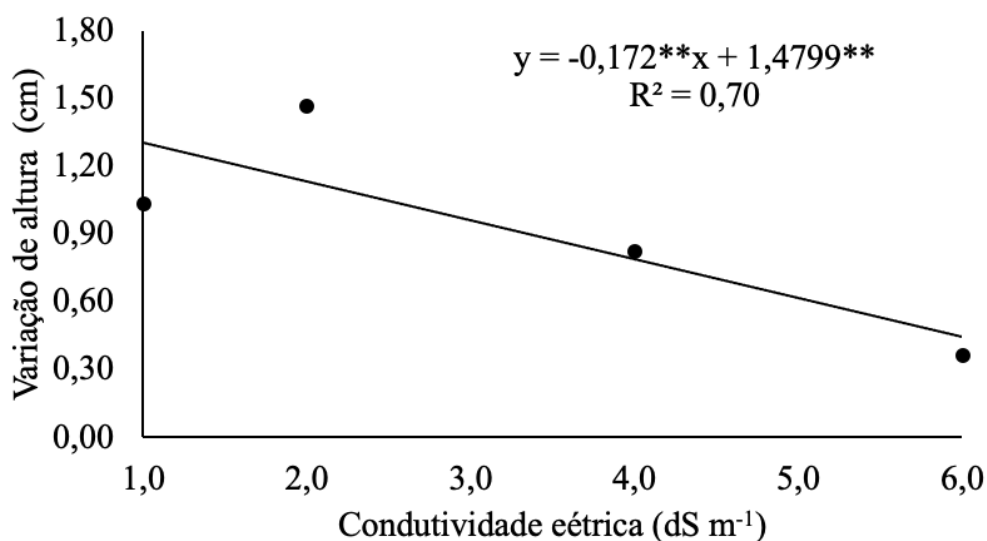
\*\*p-valor <0,01, significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

### 3.1.2 Efeito da condutividade elétrica na altura de plantas

A variação da salinidade na solução nutritiva ao longo do período de experimentação da pesquisa da cultura apresentou uma redução no crescimento de acordo com a elevação da condutividade elétrica - CE, aumento progressivo da salinidade da solução para todos os tratamentos, interferiu de forma direta na altura das plantas de café paraíso 2 teve efeito. Na Figura 3 as plantas em maior condutividade tiveram redução no crescimento a partir 4,0 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>, também, plantas apresentaram crescimento significativo na condutividade de 2,0 dS m<sup>-1</sup>.

RIBEIRO et al., 2010 & MATIELLO (1999) observaram que as plantas jovens suportam bem a salinidade, desde que a água não seja excessivamente salina, até 2,0 dS m<sup>-1</sup>, e que, em determinados períodos no ano, apresente boa distribuição de chuvas. KARASAWA et al. (2003), ao estudarem o

*desenvolvimento de mudas de cafeeiros irrigadas com águas salinas, observaram que a sensibilidade à salinidade se tornou mais evidente quando as mudas foram irrigadas com água de condutividade elétrica igual ou maior que  $0,9 \text{ dS m}^{-1}$ .*



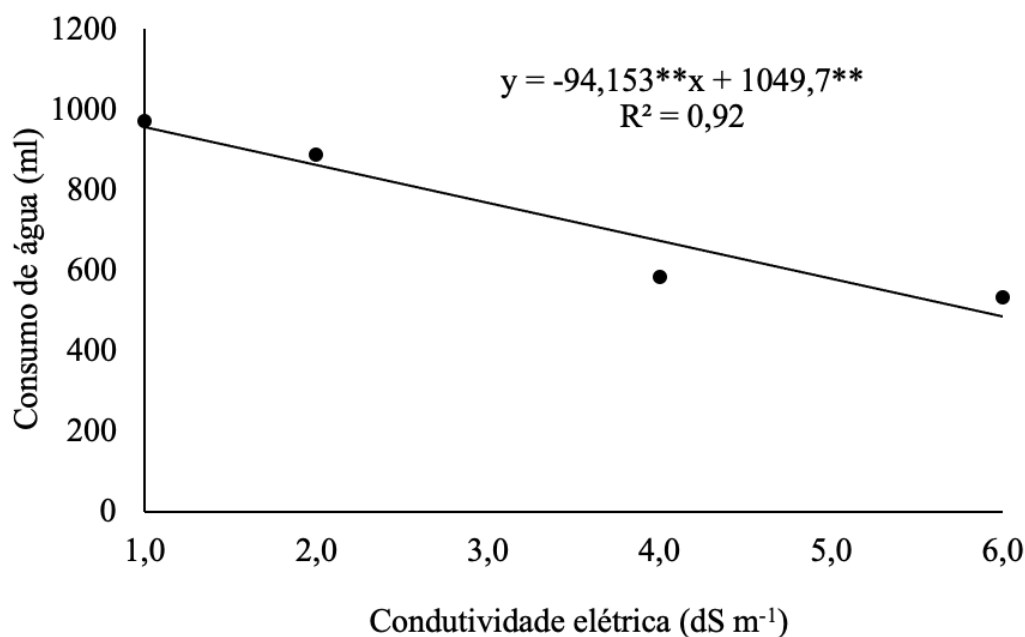
*Figura 2. Efeito da condutividade elétrica em relação a variação de altura de plantas*

### *3.1.3 Relação entre o consumo de água e a CE $\text{dS m}^{-1}$ .*

*A sensibilidade ao aumento da CE interfere em diversos processos envolvendo a fisiologia da cultivar paraíso 2 e alterações no potencial hídrico, impedindo-a a reduzir o consumo de água sob variadas condições de crescimento das plantas de café. O aumento na concentração de sais na solução nutritiva ocasionou diminuição significativa no alongamento celular obtidos através da aferição das alturas após a experimentação demonstrado na Figura 4. Ademais, percebe-se que nas condutividades 4,0 e 6,0 houve redução significativa na altura do cafeeiro.*

*BOSCO et al., 2009 em seu trabalho com plantas de berinjela em solução nutritiva, o mesmo abordou em seu experimento que o estresse salino, em CEs iguais ou superiores a  $4,08 \text{ dS m}^{-1}$ , diminui a produção de biomassa de plantas de berinjela.*

*RIBEIRO et al., 2017 analisando os exsudatos de café Conilon, descobriu que os valores de condutividade são maiores em cafés de menor qualidade e com grãos menores e maior percentagem de defeitos.*

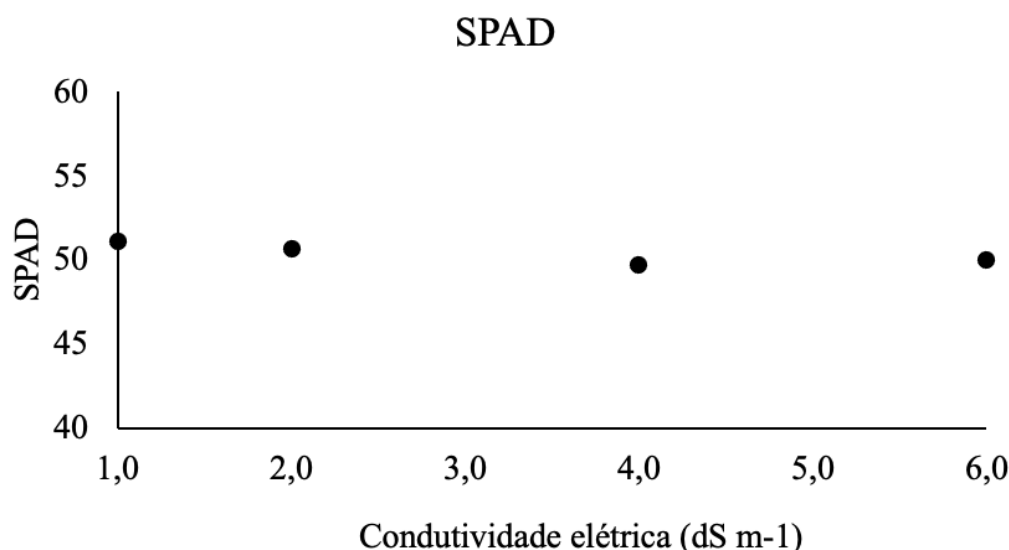


*Figura 3. comportamento do café, relação entre o consumo de água a CE dS m<sup>-1</sup>.*

#### **3.1.4 Leituras via clorofilômetro SPAD**

*Na Tabela 3 o entendimento da avaliação do estado nutricional foi baseado no efeito da disponibilidade de nitrogênio sobre as propriedades da planta. No entanto, essas propriedades quase sempre são a concentração de clorofila (Ch) na folha e o índice de área foliar (IAF) da planta, assim o clorofilômetro SPAD, utilizado em casa de vegetação obtemos os valores da transmitância da luz através da folha da cultivar Paraíso 2. No entanto, nos índices de clorofila obtidos através do equipamento SPAD, não houve alteração na produção de clorofila ou seja nenhuma tendência ao alterar os valores de condutividade elétrica, pois o índice do clorofilômetro permaneceu praticamente os mesmos para todos os níveis de condutividade elétrica, apresentando média de 50,38.*

*RIBEIRO, et al., 2017 trabalhando com plantas jovens de café, sem restrição hídrica e tratadas com o regulador vegetal, tiveram maior retenção foliar e índice SPAD, e menor área foliar individual. A aplicação de paclobutrazol em concentrações elevadas resultou em plantas mais compactas. A restrição hídrica proporcionou menor área foliar total, número de ramos e massa seca dos cafeeiros.*



**Tabela 3.** Representação das médias obtidas através do Índice clorofilometro SPAD

### CONCLUSÃO

*O Aumento da condutividade elétrica na solução nutritiva promoveu a redução da variação de altura de plantas de café? nas condições do presente estudo.*

*Não houve efeito significativo do aumento da condutividade elétrica na solução nutritiva nas variáveis índice de área foliar, teor de água da folha, teor de água relativo da folha, teor de água da raiz e índice SPAD em plantas de café? nas condições do presente estudo.*

*Houve identificação de sintomas de deficiência de potássio em algumas plantas de café?. Todavia, não é possível concluir se tais sintomas e? devido ao aumento da condutividade elétrica na solução nutritiva devido ao tempo de condução do estudo e alta severidade nas folhas devido ao ataque de pragas.*

### AGRADECIMENTOS

*CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior; PPGFIT - Programa de Pós Graduação em Fitotecnia e UFV - Universidade Federal de Viçosa.*

### REFERÊNCIAS

*BARROS, R.S.; MAESTRI, M.; VIEIRA, M.; BRAGAFILHO, L.J. Determinação de área de folhas do café (Coffea arabica L. cv. 'Bourbon Amarelo'). Revista Ceres,*

*Viçosa, v.20, n.107, p.44-52, 1973.*

*BOSCO, M. R. O; OLIVEIRA, A. B; HERNANDEZ, F. F. F; LACERDA, C. F. Efeito do NaCl sobre o crescimento, fotossíntese e relações hídricas de plantas de berinjela. Revista Ceres. Universidade Federal de Viçosa Brasil. ISSN: 0034-737X.*

*CAIXETA, E. A; JUNIOR, K. S. F; BRIGANTE, G.P; DIAS, M.S; AVILA, M. A. P. Avaliação de diferentes fontes de nitrogênio na cultura do café. BIOENG., v. 15, n. 4, p. 617 - 631, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2021v15n4p617-631>.*



**EMATER. Manual do Café: Manejo de Cafezais em Produção. Belo Horizonte, Minas Gerais 2016. Disponível em:**  
**[www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes\\_tecnicas/livro\\_manejo\\_cafezais\\_producao.pdf](http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/livro_manejo_cafezais_producao.pdf). Acesso em: 10 de dezembro de 2022.**

**KARASAWA, S.; EGUCHI, E.S.; MIRANDA, J.H.; DUARTE, S. N.; KARASAWA, M.M.G. Desenvolvimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) irrigadas com água salina. Engenharia Rural, Piracicaba, v.14, p.1-12, 2003.**

**MAIA, P. S. P; NETO, C. F. O; CASTRO, D. S; FREITAS, J. N. M; LOBATO, A. K. S; COSTA, R. C. L. Conteúdo Relativo de Água, Teor de Prolina e Carboidratos Solúveis Totais em Folhas de Duas Cultivares de Milho submetidas a Estresse Hídrico. Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 918-920, jul. 2007.**

**MATIELLO, J.B. Evolução da salinidade e comportamento do cafeeiro em área irrigada por gotejamento em Brejões - BA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEIEIRA, 25., 1999, Franca. Anais...Franca: MAPA/PROCAFÉ, 1999. p.185.**

**RIBEIRO, A. F. F.; MATSUMOTO, S. N.; RAMOS, P. A. S.; SANTOS, J. L. D.; TEIXEIRA, E. C.; D'ARÊDE, L. O.; VIANA, A. E. S. Paclobutrazol e restrição hídrica no crescimento e desenvolvimento de plantas de café. Alma/SFX Local Collection. DOI: 10.25186/cs.v12i4.1361. Disponível em: <https://www-periodicos-capes-gov-br.ez35.periodicos.capes.gov.br/index.php/buscador-primo.html>. Acesso em 07 de dezembro 2022.**

**TAIZ, L; ZEIGER, E; MOLLER, I. M; MURPHY, A. Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal, Estresse Abiótico através da salinidade. 6ª Edição, Editora Artmed. C, 24;p. 735 . ISBN 9781605352558.**

# VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA PRODUÇÃO PRIMÁRIA LÍQUIDA NA CAATINGA

*Shayanne Josicleide de Almeida*<sup>1</sup>; *Robson de Sousa Nascimento*<sup>2</sup>; *Valéria Peixoto Borges*<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bolsista. Areia, Paraíba . Universidade Federal da Paraíba, Campus II, CCA; <sup>2</sup>Docente. Areia, Paraíba . Universidade Federal da Paraíba, Campus II, CCA; <sup>3</sup>Docente. Areia, Paraíba . Universidade Federal da Paraíba, Campus II, CCA

## RESUMO

*O objetivo do trabalho é apresentar a variação espaço-temporal da Produção Primária Líquida para a Caatinga, abrangendo o período de anos de 2000 a 2021. A Produção Primária Líquida (PPL) é a diferença entre a fotossíntese e a respiração autotrófica da vegetação, resultando apenas na quantidade de carbono assimilada pela vegetação. Os dados da Produção Primária Líquida foram derivados do sensor MODIS (MOD17A3HGF V6) através de scripts processados pelo Google Earth Engine (GEE). Para obter a precipitação, foi utilizado uma coleção de imagens CHIRPS Daily, e a temperatura foi obtida através dos dados disponíveis pelo ERA5-Land Monthly Aggregated. A distribuição espacial da Produção Primária Líquida para a região Norte da Caatinga na escala temporal analisada, apresenta uma predominância de baixa absorção de carbono, seus valores oscilam entre 789 a 88 gC.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>. As áreas com maior absorção são restritas, predominando mais ao Sul da região, tendo uma oscilação entre 1485 a 2183 gC.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>. Pode observar que a parte Norte da Caatinga, não tem altos valores de Produção Primária Líquida, quando comparada a região Sul. É de extrema importância a preservação desse Bioma que é exclusivamente brasileiro, onde se faz necessário medidas políticas e ambientais para recuperação das áreas degradadas, visando a mitigação do aquecimento global, como também a preservação da fauna e flora endêmica.*

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensoriamento remoto; Absorção de carbono; Google Earth Engine;

## INTRODUÇÃO

*A Caatinga é um bioma dominante no semiárido do Nordeste brasileiro, formando o quarto maior ecossistema, considerado uma floresta tropical sazonalmente seca brasileira (SILVA et al., 2017). Segundo RIZZINI (1997), esse bioma é constituído por uma vegetação formada de plantas arbóreas, arbustivas, herbáceas, Cactáceas e bromeliáceas. Mesmo possuindo condições ambientais estressantes como, solos pobres, baixa precipitação, temperaturas anuais elevadas, e baixa umidade relativa, resultando em um balanço hídrico negativo para região, é uma região altamente povoada e com grande produção agrícola (SAMPAIO et al., 2004 apud SILVA et al., 2017).*

*A vegetação presente nesse bioma, apresenta uma dinâmica de períodos verdes intercalado com períodos secos, sua absorção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) anual é semelhante ao das florestas temperadas, tendo uma diferença apenas na Photosynthetically Active Radiation (PAR) que é inferior na Caatinga (BRITO e NASCIMENTO, 2013). O processo de fotossíntese realizado pela vegetação da Caatinga, é muito elevado, e possuindo, assim, uma capacidade alta de modificar a quantidade de absorção de gás carbônico nas variabilidades interanual e anual (BRITO e NASCIMENTO, 2013).*

*Com o agravamento do aquecimento global, áreas com clima árido estão ganhando mais expansão, afetando assim a vegetação terrestre da região que desempenha a função no sequestro de carbono, ocorrendo assim uma mudança no curso do clima, ocorre uma alteração na cobertura vegetativa da terra (LI, 2022). Portanto, a compreensão da relação entre fotossíntese, Produtividade Primária Líquida e crescimento em ecossistemas florestais é um fator importante para entender a magnitude*

*desses impactos por ser capaz de se integrar com fatores climáticos, ecológicos, geoquímicos e antrópicos sobre o planeta (DALMAGO et al., 2008).*

*O gás carbônico, passa a fazer parte da biomassa através do ciclo inicial do carbono que ocorre através do processo de fotossíntese. A Produção Primária Bruta (do inglês Gross Primary Productivity, GPP), é a soma de toda produção fotossintética realizada pelas plantas (MALHI et al., 2015). Já a Produção Primária Líquida, PPL (do inglês Net Primary Productivity, NPP) é a diferença entre a fotossíntese e a respiração autotrófica da vegetação, representando a disponibilidade de carbono na forma de material vegetal para consumo, como alimento, combustível e ração (ABDI et al., 2014).*

*A partir do sensoriamento remoto, várias ferramentas foram aliadas a ele, facilitando a aquisição de dados ambientais. Uma dessas ferramentas que está se tornando bastante popular é a plataforma Google Earth Engine (GEE), que é uma tecnologia de computação em nuvem com uma precisão geral de 82,5% (JI et al., 2021) amplamente utilizado para análises geoespaciais, monitoramento na variação espacial-temporal da PPL ou GPP, bem como identificar como essa variação se comporta e responde aos eventos climáticos (YIN et al., 2021).*

## **OBJETIVOS**

*O presente trabalho tem como objetivo apresentar a variação espaço-temporal da Produção Primária Líquida para a Caatinga por meio de um mapa dos valores médios do período estudado de 2000 a 2021.*

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### *Área de estudo*

*A Caatinga, vegetação dominante da região do Semiárido do Nordeste Brasileiro. Seu nome tem origem na língua tupi, que significa Mata Branca. Sua paisagem é esbranquiçada, vegetação predominante em períodos secos, muitas espécies estacional decídua e semidecídua. Esse bioma apresenta três extratos: arbóreo, arbustivo e herbáceo (RIZZINI, 1997). A caatinga ocupa uma área de 850.000 km<sup>2</sup>, que corresponde a aproximadamente 10% do território nacional, engloba os estados do: Maranhão, Piauí, Ceará, Alagoas, Sergipe, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Bahia e uma parte de Minas Gerais (BRITO e NASCIMENTO, 2013). Esse bioma é exclusivamente brasileiro.*

### *Sistemas de sensores*

*Para determinar a produtividade primária líquida (PPL), será utilizado os dados de sensoriamento remoto, que são obtidos através de satélites orbitais, como por exemplo o satélite TERRA, que levam consigo o sensor denominado de Moderate Resolution Imaging Spectrodiometer (MODIS). Os produtos gerados por ele, permitem um monitoramento quase diário de longa duração da superfície da terra (LATORRE et al, 2003). As imagens capturadas por satélites, são oferecidas em algumas resoluções, como a resolução espacial (do inglês Ground Sample Distance GDS). Em sensores orbitais, tem-se a utilização da resolução temporal, onde se tem um intervalo de tempo entre as imagens obtidas na mesma área pelo mesmo sensor (MOREIRA, 2012).*

### *Google Earth Engine (GEE)*

*O Google Earth Engine, é uma plataforma de processamento de dados geográficos com computação em nuvem. Essa plataforma possui uma alta capacidade de armazenamento e processamento de imagens de satélites, que permite ao usuário realizar análises espaço-temporais,*

a nível regional e global. A linguagem utilizada pelo GEE é o Java Script. O GEE é gratuito para pesquisa, educação e uso sem fins lucrativos.

#### *Dados da produção primária líquida (NPP)*

*Para realizar a estimativa da NPP por meio de sensoriamento remoto, foi utilizado a metodologia de Monteith (1977) onde os modelos utilizados devem seguir o princípio de Eficiência no Uso da Luz (LUE), onde define a quantidade de carbono produzida por unidade de radiação fotossinteticamente ativa absorvida (APAR). Os valores do NPP apresentam a absorção de luz através da copa das plantas, por meio de uma relação entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que quantifica a vegetação medindo a diferença entre o infravermelho próximo, refletido pela vegetação e a luz vermelha, absorvido pela vegetação; e a fração de radiação fotossinteticamente ativa (fPAR), que é uma medida utilizada para descrever a porção do espectro eletromagnético que é absorvido pela clorofila e que pode ser utilizada na fotossíntese. Para calcular o NDVI, os sensores devem possuir bandas com o canal NIR, onde se reflete mais infravermelho próximo e luz verde.*

*A NPP encontrada no presente trabalho foi extraída utilizando a plataforma GEE, em que foi obtida por meio dos sensores MODIS. O produto MOD17A3HGF V6 fornece informações sobre a Produtividade Primária Líquida (NPP) anual com resolução de 500 m de pixel. A NPP anual é derivada da soma de todos os produtos da Fotossíntese Líquida (PSN) de 8 dias (MOD17A2H) do ano em questão (NASCIMENTO et al, 2019). No presente estudo os dados de NPP anual foram obtidos de 2000 a 2021*

#### *Dados de temperatura e precipitação*

*Os dados de temperatura e precipitação foram obtidos através de scripts processados pelo GEE. Para obter a precipitação, foi utilizado uma coleção de imagens CHIRPS Daily, onde se tem um conjunto de dados de precipitação quase global de mais de 30 anos. Os dados utilizados contabilizam de 1981 até os dias atuais. O CHIRPS incorpora imagens de satélite com resolução de 0,05° com dados de estação in-situ para criar séries temporais de chuva em grade para análise de tendências e monitoramento de secas sazonais (FUNK, et al., 2015).*

*A temperatura foi obtida através dos dados disponíveis pelo ERA5-Land Monthly Aggregated que contém um acumulo de dados desde 1950 até os dias atuais. O ERA5-Land é um conjunto de dados de reanálise, que produz um conjunto de dados com 50 variáveis, que remontam várias décadas no tempo, fornecendo uma descrição precisa do clima. O ativo é um agregado mensal de ativos horários ECMWF ERA5 Land que inclui bandas com fluxo e sem fluxo (MUÑOZ, 2019).*

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

*A distribuição espacial da PPL para toda região da Caatinga na escala temporal analisada é apresentada na Figura 1. Observa-se que na Caatinga Norte se tem um baixo sequestro de carbono, tendo seus valores oscilando entre 321 e 786 gC.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>. Essa baixa absorção, está relacionada ao tipo de vegetação presente nessa região, onde se tem uma predominância de vegetação arbustiva e herbácea que são de pequeno porte, e adaptadas para climas secos, possuindo uma copa menos densa (RIZZINI, 1997). A região mais crítica analisada em relação a PPL na Caatinga foi a região central, observa-se áreas com valores muito baixos, variando de 88 a 321 gC.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>.*

*A Caatinga Sul, apresenta áreas restritas de altos níveis de sequestro de carbono, indo de 1252 à 2183 gC.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>. Áreas nas extremidades da Caatinga também apresentam níveis relevantes de absorção, segundo Brito e Nascimento (2013) estes altos elevados de PLL encontrados nessas regiões, tem relação com a Caatinga estar em uma área de transição com a Mata Atlântica e a*

*Floresta Amazônica, por isso o sequestro de carbono atinge níveis maiores. De acordo com Moraes, et al. (2017) a Caatinga apresenta uma alta variabilidade em relação a precipitação, condicionamento e comportamento, levando a um entendimento mais aprofundado do sequestro de carbono, onde o sequestro de carbono varia de acordo com o comportamento anual da precipitação. O balanço de carbono na Caatinga está diretamente relacionado a dinâmica das chuvas, com o sequestro máximo nos meses chuvosos e mínimos nos meses secos, mesmo durante as estações secas, nos anos de 2014 e 2015 a Caatinga atuou como sumidouro de carbono atmosférico (MENDES, 2020).*

## **CONCLUSÃO**

*Os resultados mostram que, a Caatinga apresenta uma ampla variabilidade interanual na absorção de carbono, tanto na região Norte como no Sul. O menor valor de PPL registrado entre os anos de 2000 à 2021 foi de aproximadamente 88 gC.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>. Já o maior valor foi de aproximadamente 2183 gC.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>. Pode observar que a parte Norte da Caatinga, não tem altos valores de Produção Primária Líquida, quando comparada a região Sul.*

*Sendo assim, as áreas degradadas e os perigos de desertificação em grande parte da região, impossibilita as atividades fotossintéticas da vegetação, impossibilitando a captura do carbono na atmosfera.*

*É de extrema importância a preservação desse Bioma que é exclusivamente brasileiro, onde se faz necessário medidas políticas e ambientais para recuperação das áreas degradadas, visando a mitigação do aquecimento global, como também a preservação da fauna e flora endêmica.*

## **REFERÊNCIAS**

*BRITO, B. I. J.; NASCIMENTO, S. R.; Estimativa da absorção de carbono pela vegetação da caatinga. In: SILVA, B. B. (Org). Aplicações ambientais brasileiras com geoprocessamento e sensoriamento remoto. Campina Grande - PB. EDUFPG, 2013. p. 87-103.*

*DALMAGO, G. A.; CUNHA, G. R.; SANTI, A.; PIRES, J. L. F.; SCHWEIG, E.; Produtividade Primária Líquida do ambiente natural - Indicador de sustentabilidade de sistemas de produção agrícola. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. (ISSN 1518-6512 - Documentos Online 100.*

*FUNK, CHRIS, PETE PETERSON, MARTIN LANDSFELD, DIEGO PEDREROS, JAMES VERDIN, SHRADDHANAND SHUKLA, GREGORY HUSAK, JAMES ROWLAND, LAURA HARRISON, ANDREW HOELL & JOEL MICHAELSEN. "The climate hazards infrared precipitation with stations-a new environmental record for monitoring extremes". Scientific Data 2, 150066. Doi:10.1038/sdata.2015.66 2015.*

*?LATORRE, L. M.; ANDERSON, O. L.; SHIMABUKURO, Y. E.; et al. Sensor modis: características gerais e aplicações. Repositorio.unb.br, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/11077>>. Acesso em: 29 jun. 2023.*

*LI, S.; HE, S.; The variation of net primary productivity and underlying mechanisms vary under different drought stress in Central Asia from 1990 to 2020. v. 314, p. 108767-108767, 2022.*

*MALHI, Y.; DOUGHTY, C. E.; GOLDSMITH, G. R.; et al. The linkages between photosynthesis, productivity, growth and biomass in lowland Amazonian forests. v. 21, n. 6, p. 2283-2295, 2015.*

**MENDES, K. R.; CAMPOS, S.; SILVA; et al. Seasonal variation in net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange of a Brazilian seasonally dry tropical forest. v. 10, n. 1, 2020**

**MORAIS, B. C. Y.; ARAÚJO, B. S. M.; MOURA, B. S. M.; GALVÍCIO, D. J.; MIRANDA, Q. R.; Análise do Sequestro de Carbono em Áreas de Caatinga do Semiárido Pernambucano. v. 32, n. 4, p. 585-599, 2017.**

**MOREIRA, D. A.; Sistema de controle e automação baseado em rede de sensores sem fio. Ufop.br, 2022. Disponível em: <<https://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/1023>>. Acesso em: 29 jun. 2023.**

**??MUÑOS, S. Sabater, J., (2019): ERA5-Land monthly averaged data from 1981 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). (<date of access>), Doi:10.24381/cds.68d2bb30**

**NASCIMENTO, S. R.; BRITO, B. I. J.; BORGES, P. V.; ASSESSING CARBON SEQUESTRATED IN BRAZILIAN NORTHEASTERN BIOMES UNDER ENSO EVENTS. 2019. Disponível em: <<https://periodicos.ufpb.br/index.php/gaia/article/view/46299>>. Acesso em: 29 jun. 2023.**

**RIZZINI, C. T. Tratado de Fitogeografia do Brasil. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda. 1997, 747p.**

**?SILVA. R., J.; CELSO, A.; et al. Seasonal patterns of carbon dioxide, water and energy fluxes over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. v. 147, p. 71-82, 2017.**

**YIN. Y.; GRUNDSTEIN. A, MISHRA DR.; RAMASWAMY L.; et al; DTE<sub>x</sub>: A dynamic urban thermal exposure index based on human mobility patterns. Environ Int. 2021 Oct;155:106573. doi: 10.1016/j.envint.2021.106573. Epub 2021 Apr 27. PMID: 33930721.**

# MODELAGEM MULTIVARIADA CHUVA-VAZÃO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RESERVATÓRIO ENGENHEIRO ÁVIDOS

*Glaucio de Meneses Sousa*<sup>1</sup>; *Francisco de Assis Salviano de Sousa*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bolsista. R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, 58429-900. Universidade Federal de Campina Grande; <sup>2</sup>Professor. R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, 58429-900. Universidade Federal de Campina Grande

## RESUMO

*A modelagem matemática é uma das ferramentas bastante utilizada para realizar o balanço hídrico de bacias hidrográficas. Em regiões semiáridas essa metodologia é essencialmente importante para contabilizar os recursos hídricos e equalizar sua oferta e sua demanda, dada a frequente ocorrência de escassez. Este trabalho propôs a aplicação do modelo chuva-vazão de Regressão Linear Múltipla (MRLM) para gerar vazões médias mensais a partir de totais mensais precipitados na sub-bacia hidrográfica do reservatório Engenheiro Ávidos. Para selecionar as variáveis de entrada e saída do MRLM utilizou-se o método "forward stepwise". Os resultados obtidos nesta pesquisa demonstraram que o MRLM não se ajustou aos dados da sub-bacia hidrográfica do reservatório Engenheiro Ávidos, haja vista que, para todas as combinações de entradas de variáveis no MRLM, sempre resultou baixos índices de correlação entre as vazões médias mensais observada e estimada. Em tempo, sugere-se que em futuras pesquisas sejam utilizados modelos como os de Redes Neurais Artificiais ou de Regressão por Análise de Componentes Principais.*

**PALAVRAS-CHAVE:** *Balanço hídrico; modelo matemático; variáveis endógenas e exógenas.;*

## INTRODUÇÃO

*Para se compreender como se comporta o aspecto hidrológico na escala de interesse desta pesquisa é necessário um levantamento das principais características da bacia hidrográfica, como os cursos de água que a compõe, o clima predominantemente, sua vazão, precipitação dentre outros aspectos que nos permitam entender os componentes do sistema na mesma. A prática de desenvolver estudos voltados para bacias hidrográficas nasce da necessidade de se entender como funciona o ciclo hidrológico, os procedimentos que comanda a sua circulação e os possíveis impactos sobre a água (ANDRADE et al., 2013).*

*De acordo com Guandique e Morais (2015) é admissível medir e analisar os parâmetros hidrometeorológicos de uma determinada bacia, incluindo sua variabilidade espacial e temporal através da aplicação da equação do balanço hídrico.*

*O planejamento e a operação em sistemas hídricos podem ser geridos através do uso de tecnologias computacionais associado à modelagem matemática (LIMA, 2019).*

*Um dos métodos mais usados para mitigar as incertezas do clima no gerenciamento dos recursos hídricos é a previsão de vazão, é comum na literatura os autores indicar o uso de vazões, pois, a mesma é um dos principais pontos para otimizar operação de reservatórios, (CENTENARO, 2017).*

*Em função dos vários elementos que se interagem e perturbam o sistema hidrológico de uma bacia, torna-se um grande desafio desenvolver estimativas precisas de vazão. Os dados fluviais colaboram com a organização operacional de sistemas hídricos e uso de seus recursos, colaborando na tomada de decisão, com o intuito de mitigar os impactos expressivos de cheias e escassez hídrica (MALFATTI et al., 2018).*

*A área de estudo do presente trabalho se concentra na bacia do reservatório de Engenheiro Ávidos, com capacidade de armazenamento de 255.000.000 m<sup>3</sup> de água, operando desde 1936, o reservatório é responsável por abastecer o município de Cajazeiras, o distrito de Gravatá, e toda*

*zona rural de sua bacia. O reservatório atua como principal fonte para o abastecimento humano e para a agricultura da região (REIS, 2014).*

*O reservatório Engenheiro Ávidos é importante para a economia do Estado da Paraíba. O mesmo é responsável pelo abastecimento de mais de 75 mil habitantes (PRH PIRANHAS-AÇU, 2015), tanto o reservatório como o rio principal (Rio Piranhas) e seus afluentes que converge para o açude são essenciais para a vida da população da região, como também para a economia da mesma, principalmente através da agricultura irrigada.*

*Diante do contexto desafiador de escassez hídrica na região e da carência de estudos que forneçam embasamento para uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos, surge a necessidade premente de explorar e aplicar a modelagem matemática na sub-bacia do reservatório de Engenheiro Ávidos. Este estudo visa, assim, fornecer contribuições valiosas para lidar com esses problemas e promover um uso sustentável dos recursos hídricos na região.*

## **OBJETIVOS**

*O presente trabalho teve como objetivo geral, aplicar dados de totais mensais precipitados em um modelo multivariado chuva-vazão para modelar as vazões médias mensais da sub-bacia do reservatório Engenheiro Ávidos no estado da Paraíba.*

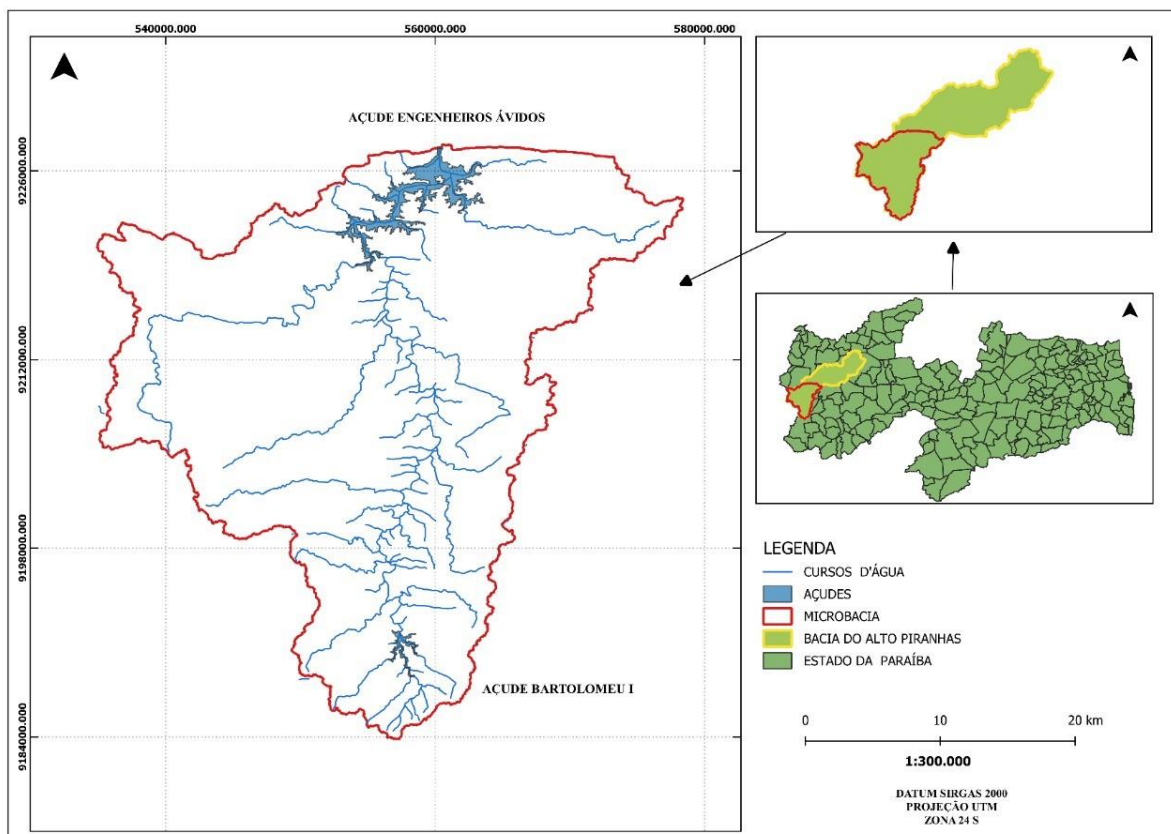
*E como objetivos específicos: Aplicar um modelo multivariado chuva-vazão, para analisar se o mesmo aplica-se aos dados da sub-bacia do reservatório de Engenheiro Ávidos; Simular sob diferentes cenários, os dados pluviométricos, com o intuito de se obter o melhor R2 ajustado; Avaliar e validar a aplicação do modelo de acordo com os resultados obtidos pelo método de seleção de entrada e saída de variáveis, pelos coeficientes de eficiência e pela análise da eficácia da simulação do modelo hidrológico.*

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### *Localização e caracterização da área de estudo*

*A sub-bacia de Engenheiro Ávidos está localizada na região semiárida da Paraíba, no alto sertão paraibano, encontra-se no sudoeste do estado da Paraíba, entre a latitude - 6,98 e longitude -38,46, totalizando uma área de 1000,28 km<sup>2</sup> (PRH PIRANHAS-AÇU, 2015) conforme pode ser visualizado na Figura 1.*



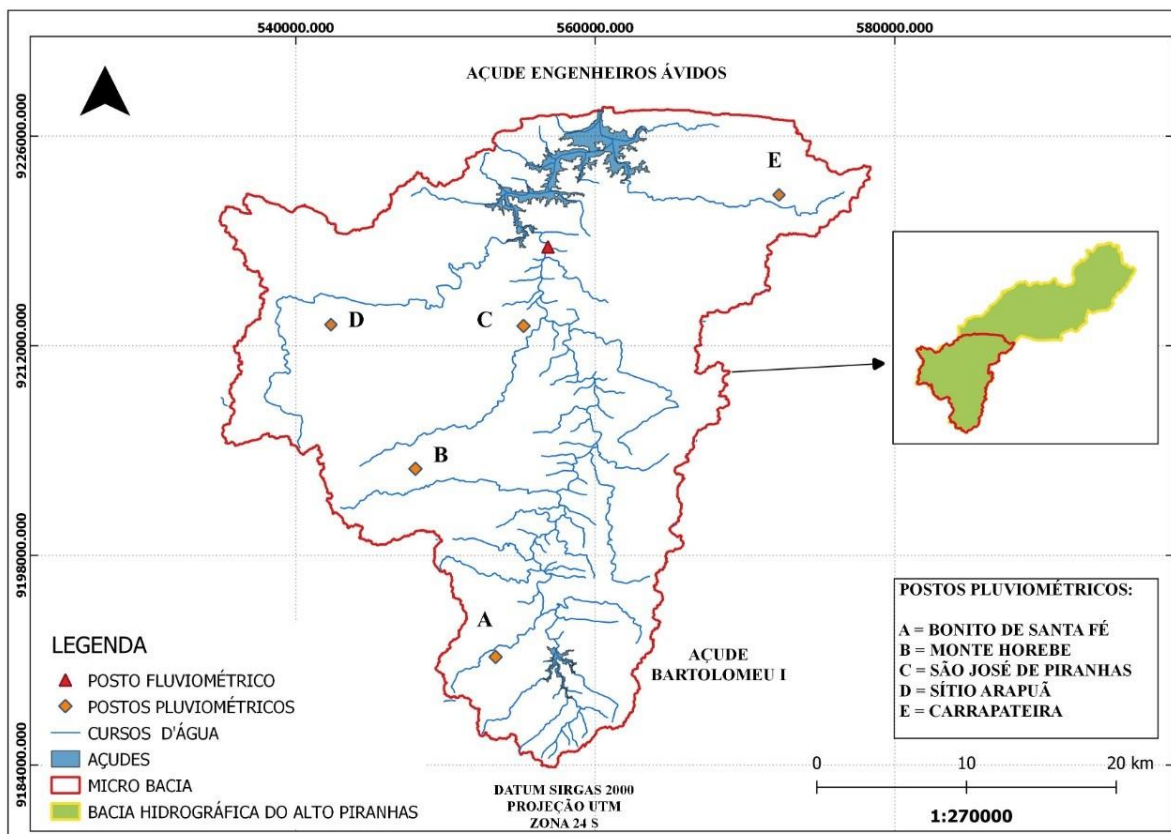


**Figura 1:** Área da bacia do reservatório Engenheiro Ávidos.

*No ano de 1932 teve início a construção da barragem de Engenheiro Ávidos pelo então engenheiro Moacir Ávidos, só no ano de 1936 a barragem foi concluída pelo engenheiro Sílvio Aderme. O reservatório de Engenheiro Ávidos compreende a principal reserva hídrica do Alto Curso do Rio Piranhas. Está localizado no município de Cajazeiras-PB, sendo responsável pelo abastecimento público da cidade de Cajazeiras e dos distritos de Gravatá e Engenheiro Ávidos, como também pela regularização da vazão do rio Piranhas.*

#### **Dados de Precipitação**

*Para a elaboração do trabalho foram utilizados dados mensais de precipitação, obtidos juntos a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESPA) e da Agência Nacional de Águas (ANA). O período estudado compreende um total de 24 anos (janeiro de 1996 a dezembro de 2019), com cinco postos pluviométricos na sub-bacia, Bonito de Santa Fé, Monte Horebe, São José de Piranhas, Arapuã e Carrapateira como pode ser visto na Figura 2.*



**Figura 2:** Postos pluviométricos e fluviométrico da sub-bacia do reservatório Engenheiro Ávidos.

### **Metodologia aplicada**

*A etapa inicial dessa pesquisa se compôs em um levantamento de informações e dados da sub-bacia de Engenheiro Ávidos, obtidos no plano diretor do Comitê de Bacia Hidrográfica Piranhas-Açu e no INMET. Uma análise de regressão foi empregada para modelar a relação entre variáveis dependentes e independentes. Isso possibilitou compreender como certos fatores influenciaram outras variáveis e se essas influências foram estatisticamente afetadas. Foram realizados testes de hipóteses para avaliar a significância estatística das relações entre as variáveis. Em seguida foi definido o método de modelagem hidrológica empregado no presente estudo, que foi do tipo empírico, desenvolvido a partir de funções fundamentadas em análises estatísticas de correlação e regressão linear, apresentando descrição e compreensão da correlação existente entre as vazões médias mensais observadas e os totais mensais precipitados da sub-bacia de Engenheiro Ávidos, através da coleta de dados e construção de um modelo de simulação.*

### **Aplicação do Método Thiessen**

*O método de Thiessen estima a precipitação média de uma bacia por meio dos registros de lâmina pluviométrica de determinada bacia e analisa a posição espacial dos postos, sem levar em conta o relevo. A metodologia baseia-se em unir os postos por meio de linhas retas formando assim um polígono, logo após são traçadas linhas perpendiculares as linhas que unem os postos, dividindo-as em duas partes iguais, essas linhas perpendiculares são prolongadas até se cruzarem com as outras, formando o polígono Thiessen e delimitando às áreas de influência de cada posto pluviométrico dentro da bacia hidrográfica (ONZI et al., 2014).*

*Desse modo, a precipitação média é obtida pelo método de Thiessen através da análise dos valores observados em cada posto e de suas áreas de influência, através da Equação (1):*

$$\frac{P_m = A_x \cdot P_x + A_y \cdot P_y + A_z \cdot P_z}{A} \quad (1)$$

Em que:  $P_x$ ,  $P_y$  e  $P_z$ , são as precipitações nos postos X, Y e Z, respectivamente;  $A_x$ ,  $A_y$  e  $A_z$ , são as áreas de influência dos postos X, Y e Z,  $P_m$  é a precipitação média na bacia; A é a área da bacia, ou seja, corresponde à soma das áreas  $A_x$ ,  $A_y$  e  $A_z$ .

### Modelo de Regressão Linear Múltipla

Para identificar a correlação existente entre as vazões médias mensais observadas e os totais mensais precipitados foi aplicado ambos os dados ao Coeficiente de Correlação de Pearson ( $r$ ). O coeficiente é uma mensuração da intensidade ou do grau de associação entre as variáveis avaliadas. O Coeficiente de Correlação de Pearson foi estabelecido em 1896 por Karl Pearson por essa razão o método estatístico para seu cálculo leva o seu nome. O cálculo de ( $r$ ) é desenvolvido a partir dos dados históricos de vazões médias mensais e dos dados históricos de totais mensais precipitados na sub-bacia de Engenheiro Ávidos, segundo a Equação (2).

$$r = \frac{\sum(C - \bar{C})(Q - \bar{Q})}{\sqrt{\sum(C - \bar{C})^2 \sum(Q - \bar{Q})^2}} \quad (2)$$

Em que,  $r$  é coeficiente de correlação;  $C$  é a precipitação;  $Q$  é a vazão;  $\bar{C}$  é a média da precipitação observada;  $\bar{Q}$  é a média da vazão observada.

O modelo adotado nesta pesquisa trata-se de um modelo empírico de regressão linear múltipla, o mesmo fundamenta-se em uma coleção de técnicas estatísticas para que descrever de maneira aceitável relações entre várias variáveis, sem obrigatoriamente caracterizar o procedimento físico dos processos, o tornando de compreensível ajuste e análise. O modelo empírico de regressão linear múltipla é usado quando se tem a pretensão de ponderar uma variável cuja sua série histórica evidencia grandes analogias com outras variáveis, uma vez que essas analogias se unem ao caso que se deseja modelar. O presente trabalho busca avaliar as melhores variáveis para o modelo, como as vazões e as precipitações, variáveis essas que tornam o modelo mais preciso (MALFATTI et al., 2018).

Segundo Subramanyan (2007) o modelo de regressão linear múltipla provê a analogia entre uma determinada variável dependente e outras variáveis independentes, seus fatores são definidos pelo método dos mínimos quadrados, como podemos evidenciar na equação de regressão, Equação (3).

$$Q_i = b_0 + b_1 P_1 + b_2 P_2 + b_3 P_3 + \dots + b_k P_k \quad (3)$$

Em que: o  $Q_i$  é a vazão a ser prevista;  $P_i$  são as variáveis escolhidas que contribuem para a estimativa da vazão;  $b_0$  é a intersecção da reta com o eixo de  $y$ ;  $b_i$  são os coeficientes de regressão.

Método de seleção entrada e saída de variáveis independentes do modelo chuva-vazão.

O "forward stepwise" foi método de seleção de entrada e saída de variáveis no modelo hidrológico chuva-vazão. Com base na estimativa do  $R^2$  ajustado verifica-se, a melhoria ou não do modelo chuva-vazão de acordo com a entrada e saída de variáveis independentes usando a metodologia "forward stepwise".

Para Draper e Smith (1998), o método é executado de forma recíproca, inserindo e retirando variáveis, com base em um critério de escolha, sendo o teste F o critério usado para a seleção das variáveis que colaboram consideravelmente para a regressão.

De acordo com Draper e Smith (1998) podem-se encontrar variáveis que apresenta pequena influencia na variável resposta ou variável dependente do grupo de variáveis independentes, dessa maneira não colaborando para uma melhora da estimativa. O stepwise reduz o número de variáveis que constitui a equação de regressão, por conta que o mesmo é usado para incluir e retirar variáveis independentes de um modelo de regressão linear múltipla.

#### Avaliação do modelo

O comportamento do modelo será testado por meio de três funções, para diminuir a comparação entre as curvas de vazão estimada e observadas:

**Coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE - Equação 4);**

**Porcentagem de viés (PBIAS - Equação 5); e**

**Raiz do erro quadrático médio (RMSE - Equação 6).**

O Coeficiente de eficiência descrito pela Equação 4, foi apresentado por Nash e Sutcliffe no ano de 1970. O NSE vem sendo bastante usado em análises estatística de desempenho de modelos hidrológicos (MACHADO et al., 2017).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_i^n (Q_i - V_i)^2}{\sum_i^n (Q_i - \bar{X}_i)^2} \quad (4)$$

Em que:  $Q_i$  é a vazão observada;  $V_i$  é a vazão simulada; e  $X_i$  é a média da vazão observada.

O NSE tem variação entre - ? e 1,0. A eficiência ideal apresenta valor igual a 1,0, quando sua eficiência apresenta valor inferior a 0, indica que a média é um melhor preditor do que o modelo (MACHADO et al, 2017).

Responsável por medir a tendência de os dados simulados serem maiores ou menores do que os dados observados, a porcentagem de viés (PBIAS) tem seu valor ideal igual a 0, com valores baixos apontando uma simulação apurada (MACHADO et al, 2017). Representado pela Equação 5.

$$PBIAS = \left[ \frac{\sum_i^n (V_i - Q_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i} \right] * 100 \quad [\%] \quad (5)$$

Em que: PBIAS é a porcentagem de viés;  $V_i$  é a vazão simulada;  $Q_i$  é a vazão observada.

Quando os valores de PBIAS são negativos apontam que o modelo minimiza esses valores, enquanto os positivos, indicam que o modelo está sobrestimando os valores de vazão. Foram estabelecidas diretrizes para ponderação dos modelos hidrológicos distribuindo os valores dos coeficientes NSE e PBIAS em quatro divisões (muito bom, bom, satisfatório e insatisfatório), esta proposta de avaliação foi definida por Moriasi et al., (2007), de acordo com Tabela 1.

**Tabela 1: Avaliação do desempenho de modelos a partir dos coeficientes de eficiência de Nash-Sutcliffe e porcentagem de viés.**

Avaliação do desempenho	Coefficientes de eficiência de Nash-Sutcliffe	Porcentagem de viés
Muito bom	0,75<NSE<1,00	-10<PBIAS<+10
Bom	0,65<NSE<0,75	+10<PBIAS<+15 ou -15<PBIAS<-10

Satisfatório	0,50 < NSE < 0,65	+15 < PBIAS < +25 ou - 25 < PBIAS < -15
Insatisfatório	NSE < 0,50	PBIAS > +25 ou PBIAS < -15

*NSE: coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe; PBIAS: porcentagem de viés. Adaptado de Moriasi et al., (2007).*

*Esses coeficientes avaliam a harmonização do modelo com o escoamento superficial observado nas áreas de estudo. Para avaliação do volume escoado, será utilizado o valor da RMSE (root mean squared error) conforme a Equação 6, uma medida aceitável do erro absoluto das previsões dos modelos (HARMEL; SMITH, 2007). O menor valor de RMSE aponta o melhor ajuste entre os valores observados e simulados.*

$$RMSE = n^{-1} \sum_{i=1}^n [(V_i - Q_i)^2]^{0,5}$$

(6)

*Em que: RMSE é a raiz do erro quadrático médio;  $V_i$  é a vazão simulada;  $Q_i$  é a vazão observada.*

*Também está associado com coeficiente de determinação  $R^2$ , a qualidade do ajuste da equação de regressão, o espalhamento quanto menor for, mais adequado será a representação dos valores observados. A variação do valor de  $R^2$  ocorre entre 0 e 1. Caso seja igual a 1, será uma correlação acurada entre as séries históricas, em situação adversa a variância não explícita controlara o processo de combinações lineares múltiplas.*

*Na análise da eficácia da simulação do modelo hidrológico, serão usados os coeficientes estatísticos de Nash-Sutcliffe o  $C_{NS}$  e sua versão, e o desvio entre vazões observadas e simuladas  $D$  (LIEW et al., 2003). A Equação 7 expressa o coeficiente de Nash-Sutcliffe  $C_{NS}$ .*

$$CNS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{c_i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_i)^2} \quad (7)$$

*Em que:  $C_{NS}$  são os coeficientes estatísticos de Nash-Sutcliffe,  $Q_i$  é a vazão observada e  $Q_c$  é a vazão calculada, ambas em  $m^3/s$ ,  $\bar{Q}$  é a vazão média observada*

*Liew et al., (2003) para analisar o desvio entre vazões simuladas e observada, estabeleceu os seguintes intervalos e avaliações qualitativas em  $D$ : < 10%, muito bom; entre 10% e 15%, bom; entre 15% e 25%, satisfatório e > 25%, evidencia que o modelo gera estimativas inapropriadas no que se refere à tendência, que é representada pela Equação 8.*

$$D\% = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{c_i} - Q_i) * 100}{Q_i N} \quad (8)$$

### Calibração e Validação do Modelo

*De acordo com Malfatti et al., (2018) a validação do modelo almeja alcançar o melhor ajuste, ou seja, definir o grau em que o modelo é apto de produzir uma representação precisa do mundo real com base na perspectiva de suas simulações.*

*Para o desenvolvimento e análise do modelo, os dados são divididos em duas partes, a primeira parte é usada na calibração, para regular a equação de regressão, já a segunda parte é utilizada na validação, confrontando o conjunto de pares previsão-observação, da qual a observação não foi inserida na calibração. Este método é geralmente empregado no processo de modelagem*

*empírica, com o intuito de obter o melhor ajuste e desempenho do modelo por meio dos preditores considerados (MALFATTI et al., 2018).*

*A calibração e a validação do modelo hidrológico serão efetuadas com os dados hidrológicos das séries históricas e os dados simulados. A Equação (9) expressa o coeficiente de correlação que será usado para atesta à qualidade do ajuste do modelo.*

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})(Q_i - \bar{Q})}{\sqrt{\sum (V_i - \bar{V})^2 \sum (Q_i - \bar{Q})^2}} \quad (9)$$

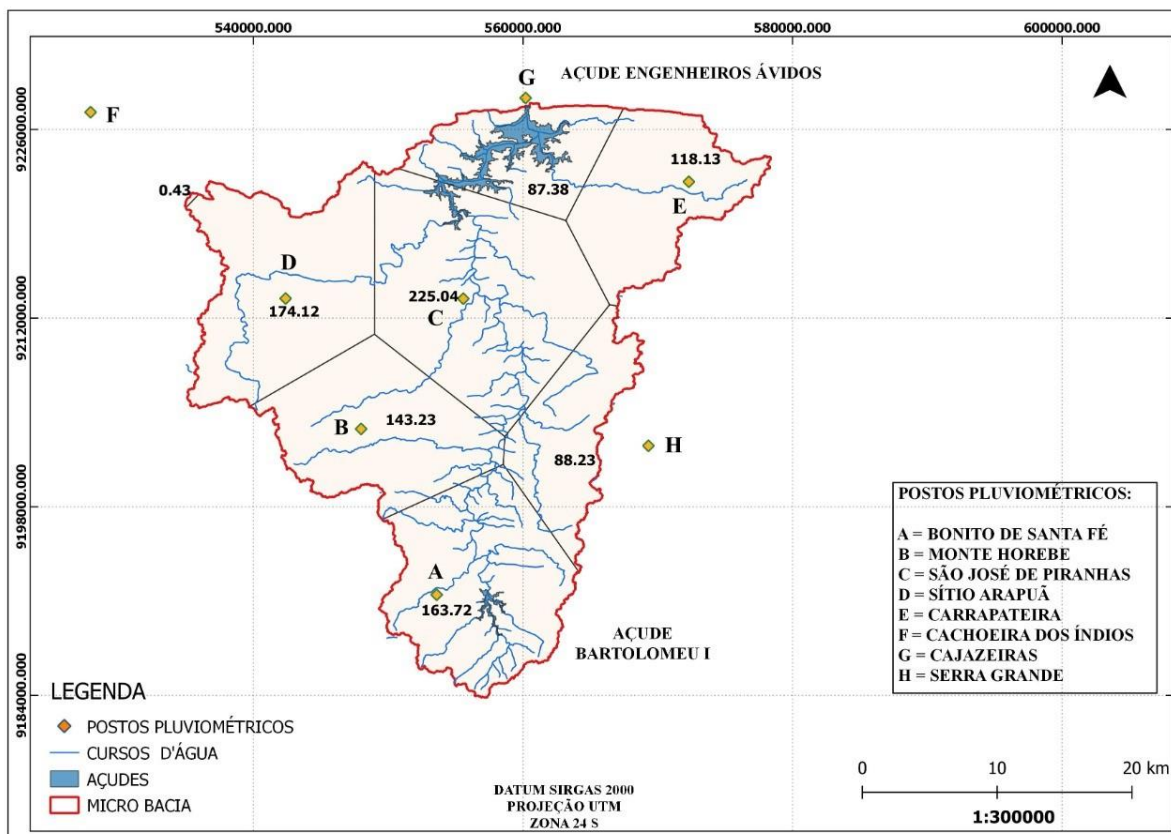
*Em que: r = coeficiente de correlação Vi é a vazão simulada; Qi é a vazão observada; V é a média da precipitação observada; Q é a média da vazão observada.*

*O modelo será visto como válido se o mesmo estiver apto ao ponto de reproduzir a quase realidade, ou seja, está dentro dos valores aceitáveis nas equações do modelo. Esse trabalho é efetuado empregando uma avaliação na saída do modelo, com base em um período não analisado na calibração. Esta avaliação representa o reconhecimento de possíveis limitações do modelo, que sejam capazes de requerer um novo processo de ajuste e validação. Se for o caso do modelo empírico, poderia aumentar a série histórica, acrescentando períodos mais atuais de observação, bem como a adição de outros preditores (MALFATTI et al., 2018).*

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

*Todos os resultados analisados e obtidos nesse trabalho, como também as tentativas de melhoramento das variáveis com o intuito de se obter um melhor R<sup>2</sup> ajustado, foram gerados com o auxílio do software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), versão 20.0, com exceção da aplicação do método Thiessen para calcular as medias mensais precipitadas na sub-bacia, o mesmo foi desenvolvido com uso do software livre de sistema de informações geográficas QGIS versão 3.14.16 2020, para o traçar dos polígonos de Thiessen definindo as áreas de influência de cada posto na bacia.*

*As médias mensais precipitadas foram obtidas através do método de Thiessen, ao qual foram acrescentados mais três postos (Cachoeira dos Índios, Cajazeiras e Serra Grande) que não fazem parte da área real da sub-bacia, mas como a metodologia do método faz uso de postos fora da área da bacia estudada, esses foram escolhidos para aplicação do método por serem próximos da região e por influenciaram tanto na vazão no exultório da sub-bacia como na área da mesma, na Figura 3 observa-se a sub-bacia com todos os postos e a Tabela 2 verificam-se os postos pluviométricos com suas respectivas latitude e longitude e área de influência de Thiessen.*



**Figura 3:** Sub-bacia do reservatório Engenheiro Ávidos com aplicação do método Thiessen.

**Tabela 2:** Área e postos pluviométricos selecionados da região da sub-bacia de Engenheiro Ávidos.

Posto referênci	Latitude (°)	Longitude (°)	Área (km <sup>2</sup> )	Nome da estação
A	-7,31	-38,51	163,72	Bonito de Santa Fé
B	-7,20	-38,57	143,23	Monte Horebe
C	-7,12	-38,50	225,04	São José de Piranhas
D	-7,07	-38,58	174,12	Arapuã
E	-7,04	-38,35	118,13	Carrapateira
F	-6,93	-38,68	0,43	Cachoeira dos Índios
G	-6,98	-38,45	87,38	Cajazeiras
H	-7,21	-38,37	88,23	Serra Grande

A identificação da correlação obtida através do cálculo do (r), foi desenvolvida a partir dos dados históricos de vazões médias mensais e dos dados históricos de totais mensais precipitados na sub-bacia de Engenheiro Ávidos, a Tabela 3 são apresentados os postos pluviométricos e respectivos valores da correlação.

**Tabela 3:** Coeficiente de Correlação de cada posto pluviométrico.

Postos pluviométricos	Correlação
Bonito de Santa Fé	0,589
Monte Horebe	0,552
São José de Piranhas	0,620
Arapuã	0,594
Carrapateira	0,599
Cachoeira dos Índios	0,539
Cajazeiras	<b>0,624</b>
Serra Grande	0,394

*O posto pluviométrico que apresentou a melhor correlação foi o de Cajazeiras 0,624 (Tabela 3), partindo daí, foram feitas várias simulações com todos os postos pluviométricos, com o intuito de se obter o melhor R<sup>2</sup> ajustado, como pode ser observado na Tabela 4.*

*Tabela 4: Valores dos R<sup>2</sup> ajustados obtidos pelas simulações com todos os postos pluviométricos.*

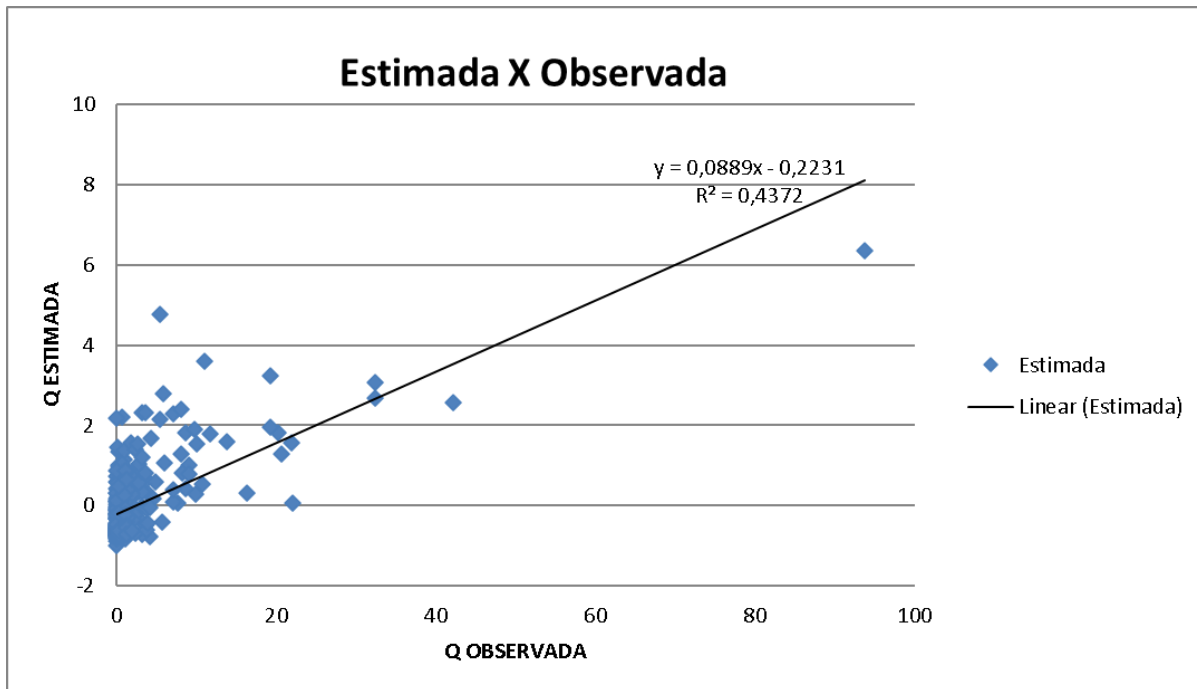
Cenário 01		Cenário 02		Cenário 03		Cenário 04	
Postos	R <sup>2</sup> Ajus	Postos	R <sup>2</sup> Ajus	Postos	R <sup>2</sup> Ajus	Postos	R <sup>2</sup> Ajus
A	0,345	GA	0,397	GCA	0,404	<b>GCBA</b>	<b>0,419</b>
B	0,302	GB	0,385	<b>GCB</b>	<b>0,41</b>	GCBD	0,414
C	0,382	<b>GC</b>	<b>0,403</b>	GCD	0,407	GCBE	0,408
D	0,351	GD	0,386	GCE	0,401	GCBF	0,411
E	0,357	GE	0,388	GCF	0,408	GCBH	0,408
F	0,289	GF	0,385	GCH	0,401		
G	<b>0,387</b>	GH	0,386				
H	0,152						
Cenário 05		Cenário 06		Cenário 07		Cenário 08	
Postos	R <sup>2</sup> Ajus	Postos	R <sup>2</sup> Ajus	Postos	R <sup>2</sup> Ajus	Postos	R <sup>2</sup> Ajus
<b>GCBAD</b>	<b>0,421</b>	GCBADE	0,42	<b>GCBADEF</b>	<b>0,423</b>	<b>GCBADEFH</b>	<b>0,421</b>
GCBAE	0,417	<b>GCBADF</b>	<b>0,424</b>	GCBADEH	0,418		
GCBAF	0,421	GCBADH	0,419				
GCB AH	0,417						

*De acordo com a Tabela 4, o R<sup>2</sup> ajustado com todos os postos pluviométricos não foram satisfatórios, obtendo um valor de 0,421. Então pelo método de "forward stepwise" que consiste*



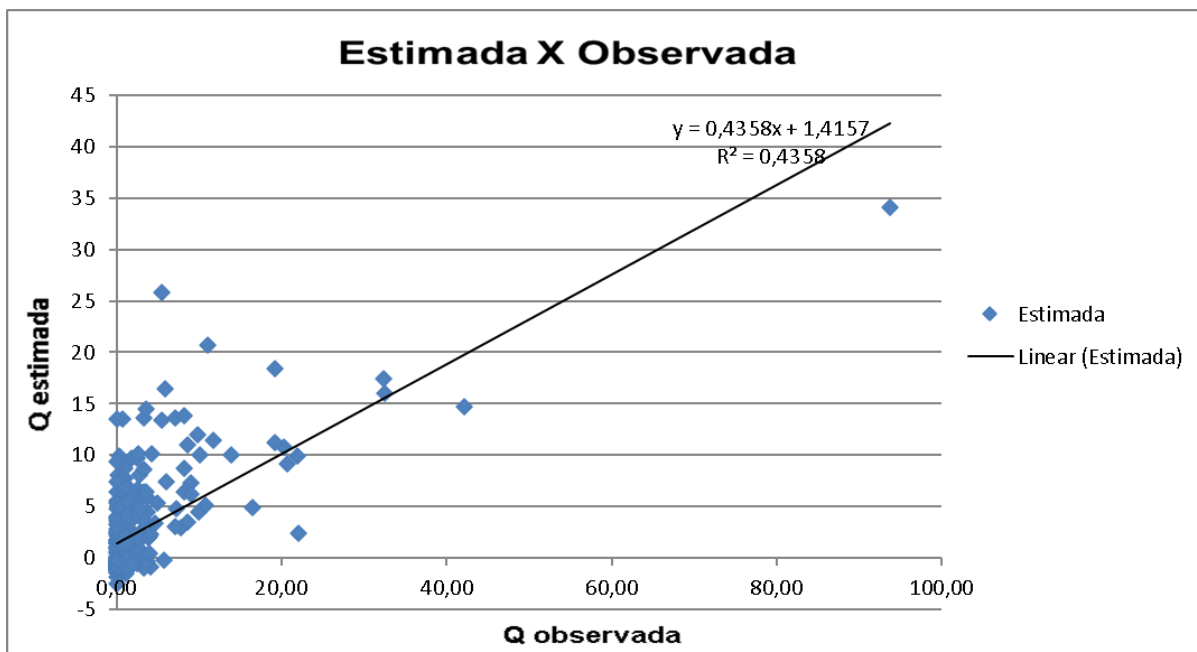
em colocar e retirar postos para se conseguir o melhor resultado, o primeiro posto selecionado foi o de Cajazeiras, já que o mesmo obteve a maior correlação. Aplicado o método o cenário dos postos que apresentaram o melhor resultado foram G, C, B, A, D, F com um valor de 0,424 que também não é o ideal. Com os resultados de vazões estimadas geradas pelo modelo, foram elaborados gráficos de dispersão entre os valores estimados e observados contemplando todos os postos no Gráfico 1.

Gráfico 1: Gráfico de dispersão entre vazões estimada e observada com todos os postos.



No Gráfico 2 os postos (G, C, B, A, D, F) que obtiveram o melhor  $R^2$  ajustado, pode ser observado que o resultado não proporcionou um bom espaçamento dos dados em nenhum dos casos, assim entende-se que não há uma boa correlação entre as duas variáveis pois quanto menor a dispersão dos pontos em torno da reta, melhor será o resultado da modelagem.

Gráfico 2: Gráfico de dispersão entre vazões observada e simulada com os postos G, C, B, A, D, F.



A simulação das vazões foi efetuada utilizando-se a Equação (2) com todos os postos pluviométricos incluídos na modelagem. Na Tabela 5 observam-se os valores dos coeficientes  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ , ...,  $b_8$  da equação de regressão.

**Tabela 5: Valores dos coeficientes de regressão do modelo com todos os postos pluviométricos.**

Coeficientes de regressão								
$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$b_7$	$b_8$
-1,070	0,020	-0,029	-0,042	-0,022	0,007	-0,014	0,038	0,002

Com base nas vazões estimadas e observada, calcularam-se os índices do modelo proposto. A Tabela 6 exibe os valores desses índices. Como o valor do NSE não está próximo de 1, então a avaliação do desempenho do modelo por Nash-Sutcliffe é considerada insatisfatória (Tabela 1), pois o mesmo possui valor igual a 0,437. Já o PBIAS apresenta um valor muito abaixo do valor ótimo que é 0, portanto esse valor negativo indica que o modelo não é válido. O RMSE e o CNS não podem ser considerados válidos, pois ambos têm valores bastante inferiores ao da perfeita correlação que é 1,0, portanto, o modelo não pode ser considerado para simulação das vazões. Já o D% apresentou um valor muito baixo, o que caracteriza que o modelo reproduz estimativas inadequadas. O  $R^2$  apresentou um valor bastante baixo, como pode ser visto na Tabela 06.

**Tabela 6: Índices do modelo com todos os postos.**

Índices do modelo					
NSE	PBIAS	RMSE	CNS	D%	$R^2$
0,437	-2,9E-06	0	0,437	-272984	5,71917E-13

Em seguida foram simuladas as vazões, utilizando os postos que apresentaram o melhor resultado G, C, B, A, D, F. A Tabela 7 observam-se os coeficientes de regressão da nova simulação das vazões. Com os valores simulados e observados calcularam-se os índices.

**Tabela 7: Valores dos coeficientes gerado pelo modelo com os postos selecionados.**

Coeficientes de regressão						
$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$
-0,994	0,041	0,043	-0,029	0,021	-0,020	-0,012

De acordo com a Tabela 8 o NSE foi considerado insatisfatória já que o seu valor foi menor do que 0,50. O PBIAS apresentou um valor muito baixo, de tal forma não validando o modelo. O RMSE e o CNS como na simulação anterior não podem ser considerados válidos, pois ambos têm valores bastante inferiores ao da perfeita correlação que é 1,0. O D% apresentou um valor bastante baixo, da mesma forma da simulação anterior. E por fim o  $R^2$  também apresentou um valor muito baixo, como pode ser visto na Tabela 8.

**Tabela 8: Índices do modelo com os postos selecionados.**

Índices do modelo					
NSE	PBIAS	RMSE	CNS	D%	$R^2$

## CONCLUSÃO

*Tendo em vista os aspectos apresentados, com a aplicação do modelo de regressão linear multivariado chuva-vazão, verifica-se que os valores dos coeficientes de determinação ajustado ( $R^2$ ) foram muito baixo em todas simulações. Outra tentativa foi a de entrar com os dados no modelo com postos pluviométricos previamente escolhidos de acordo com os coeficientes de correlação entre a variável vazão e a variável precipitação de cada um dos postos pluviométricos. Feito isso, os resultados apresentados também não foram satisfatórios, pois o  $R^2$  ajustado continuou muito baixo.*

*Assim, pode-se concluir que os resultados obtidos nesta pesquisa para simular vazões médias mensais utilizando o modelo empírico chuva-vazão de regressão linear multivariado, não se ajusta aos dados da sub-bacia hidrográfica do reservatório Engenheiro Ávidos.*

*Diante disso sugere-se que em futuras pesquisas sejam utilizados modelos como os de redes neurais artificiais, haja vista que esses modelos vem se consolidando em escala mundial como uma nova e eficiente ferramenta para aplicação em problemas complexos que manipula grande massa de dados para serem analisados e modelados por meio de aspectos matemático-estatísticos e computacionais, ou pelo modelo de regressão por análise de componentes principais, também conhecido como CPA (Principal Component Analysis).*

## REFERÊNCIAS

*ANDRADE, Márcio A.; MELLO, Carlos R.; BESKOW, Samuel. Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos latossolos na região Alto Rio Grande, MG. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande - PB, v. 17, n. 1, p. 69-76, 2013.*

*CENTENARO, Leonardo. Avaliação da operação de um sistema de pequenas centrais hidrelétricas em cascata com utilização de vazões previstas. 2017. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/169867>>. Acesso em: 10 jan. 2019.*

*DRAPER, Norman R.; SMITH, Harry. Análise de regressão aplicada, Estados Unidos, 3ª edição, John Wiley & Sons, p. 736, 1998.*

*GUANDIQUE, Manuel Enrique Gamero.; MORAIS, Leandro Cardoso. Estudo de variáveis hidrológicas e do balanço hídrico em bacias hidrográficas. In: POMPÊO, M. et al. (Org.). Ecologia de reservatórios e interfaces. São Paulo: Universidade de São Paulo, p. 434-447, 2015. Disponível em: <[http://143.107.246.244/reservatorios/PDF/Cap.\\_29\\_Variaveis\\_hidrologicas.pdf](http://143.107.246.244/reservatorios/PDF/Cap._29_Variaveis_hidrologicas.pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2019.*

*HARMEL, R. Daren.; SMITH, Patricia K. Consideration of measurement uncertainty in the evaluation of goodness-of-fit in hydrologic and water quality modeling. Journal of Hydrolog. v. 337, n. 3-4, p. 326-336. 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169407000741>>. Acesso em: 18 mar. 2020.*

*LIEW, M. W. Van.; ARNOLD, J. G.; GARBRECHT, J. D. Hydrologic simulation on agricultural watersheds: choosing between two models. Transactions of the ASAE, v. 46, n. 6, p. 1539-1551,*

2003. Disponível em: <<https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=15643>>. Acesso em: 20 mar. 2020.

LIMA, Larissa Gomes. *Avaliação da sustentabilidade hídrica dos reservatórios estratégicos da sub-bacia do Alto Piranhas - PB. 2019. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/17047>>. Acesso em: 12 jan. 2019.*

MACHADO, Aline Ribeiro; MELLO JUNIOR, Arisvaldo Vieira; WENDLAND, Edson Cezar. *Avaliação do modelo J2000/JAMS para modelagem hidrológica em bacias hidrográficas brasileiras. Engenharia Sanitária Ambiental., Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p. 327-340, abr. 2017. Disponível em <[www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S141341522017000200327&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141341522017000200327&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em 12 ago. 2020.*

MALFATTI, Maria Gabriela Louzada.; CARDOSO, Andréa de Oliveira.; HAMBURGER, Diana Sarita. *Modelo Empírico Linear para Previsão de Vazão de Rios na Usina Hidrelétrica de Itaipu-Bacia do Rio Paraná. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 33, n. 2, p. 257-268, 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/QqxYtjQ3mdrFbHv8WfZFQBD/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 12 jan. 2019.*

MORIASI, D.N.; ARNOLD, J.G.; VAN LIEW, M.W.; BINGNER, R.L.; HARMEL, R.D.; VEITH, T.L. *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the ASABE, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007. Disponível em: <<https://elibrary.asabe.org/abstract.asp??JID=3&AID=23153&CID=t2007&v=50&i=3&T=1>>. Acesso em: 20 de mar. 2020.*

ONZI, Juliana Gonçalves.; MASCARELLO, Germano Piroli.; SEGATTOC, Janei.; BUENO, Paulo Fantin.; VARGAS, Tiago. *Monitoramento pluvial na bacia hidrográfica Taquari-Antas. 2014 In: II Congresso de Pesquisa e Extensão da FSG. Caxias do Sul-RS. 2014.*

PRH PIRANHAS-AÇU - Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu/Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2015. *Resumo Executivo, 2015.*

REIS, Cristiane Queiroz. *Avaliação da sustentabilidade hídrica dos reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo-PB. 2014. Dissertação. (Mestrado Profissional em Sistemas Agroindustriais), Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2014.*

SUBRAMANIAN, Anand.; SILVA, Luiz Bueno.; COUTINHO, Antônio Souto. *Aplicação de método e técnica multivariados para previsão de variáveis termoambientais e perceptivas. Production, v. 17, n. 1, p. 52-70, 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/prod/a/KtH7xjNS3Zs36855vS7tdSh/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 12 fev. 2019.*

# **EFEITO DO CULTIVO DE PLANTAS DE COBERTURA EM PRÉ-SAFRA DE MILHO NA LABILIDADE DO CARBONO DO SOLO**

Jairo Neves de Oliveira <sup>1</sup>; Priscila Martins da Silva <sup>2</sup>; Mara Cristina Pessôa da Cruz <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mestrando em Agronomia (Ciência do Solo). Jaboticabal-São Paulo. Universidade Estadual Paulista'Júlio Mesquita Filho; <sup>2</sup>Graduanda em Agronomia. Capitão Poço-Pará. Universidade Federal Rural da Amazônia; <sup>3</sup>Docente. Jaboticabal-São Paulo. Universidade Estadual Paulista'Júlio Mesquita Filho

## **RESUMO**

*A fração lábil do carbono do solo apresenta estreita relação com a reciclagem de nutrientes e é dependente, entre outros fatores, da cobertura vegetal. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a labilidade do carbono em função do cultivo de plantas de cobertura através da medida do carbono oxidável em permanganato de potássio (COxP). O carbono oxidável foi avaliado em amostras de solo de um experimento instalado no campo, no qual estão sendo cultivadas, desde o ano de 2000, milho, mucuna-cinza, feijão-de-porco e crotalária em pré-safra de milho. No experimento, o tratamento controle é a vegetação espontânea. A coleta de solo foi feita nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade, 60 dias após a dessecação das plantas de cobertura. Os maiores teores de COxP na camada de 0-5 cm foram observados após os cultivos de mucuna-cinza, crotalária e milho. Resultados semelhantes foram obtidos para a camada de 5-10 cm e de 10-20 cm, porém milho e feijão-de-porco não diferiram da vegetação espontânea. Na camada de 20-40 cm, milho e crotalária foram resultaram em maiores teores de C lábil, apesar do milho ter sido estatisticamente igual à mucuna-cinza. Nesse contexto, foi possível concluir que, comparadas à vegetação espontânea, as plantas de cobertura aumentam o COxP até 40 cm de profundidade, e que a mucuna-cinza e o milho são as espécies que levam aos maiores aumentos.*

**PALAVRAS-CHAVE:** Carbono oxidável; plantas de cobertura; profundidades;;

## **INTRODUÇÃO**

*A matéria orgânica do solo (MOS) é um atributo químico importante para manter a qualidade do solo. No entanto, o emprego de técnicas de preparo convencional tem contribuído para perdas significativas de carbono orgânico do solo, causando redução nos reservatórios de matéria orgânica (BAYER et al., 2000).*

*Uma alternativa que pode ser usada para minimizar os efeitos do cultivo nos estoques de MOS é o cultivo de plantas de cobertura em sistema de plantio direto. O uso dessas plantas em rotação com a cultura de interesse nesse tipo de sistema aumenta o estoque de carbono orgânico do solo, a fertilidade do solo e a ciclagem de nutrientes, além de diminuir o risco de perdas da matéria orgânica por erosão (DUMKE et al., 2023).*

*Por outro lado, as culturas de cobertura apresentam composição bioquímica e produção de biomassa variável, contribuindo de maneira diferente no teor de MOS. Nesse sentido, são necessários estudos que forneçam informações comparativas entre plantas de cobertura para poder orientar a escolha da espécie. Uma das formas de medir a MOS é através da quantificação do teor de carbono total do solo (WANG, WEIL & NAN, 2017). No entanto, essa medida varia pouco em curto prazo, o que levou muitos pesquisadores a voltarem as atenções para os reservatórios lábeis do carbono orgânico total (COT).*

*A fração lábil do COT é composta por moléculas de fácil decomposição e é responsável pela rápida liberação de nutrientes para as plantas (CULMAN, 2012). Essa fração é mais sensível às práticas de manejo, por causa da decomposição rápida, que ocorre geralmente dentro de semanas a meses (MAINI, SHARMA & SHARMA, 2020). A medida quantitativa do C lábil pode ser usada para caracterizar a qualidade dos sistemas de cultivo em curto período, e dessa forma, pode servir como*

*indicador de degradação do solo, ou de ganho de qualidade, em resposta às formas de manejo (MANDAL et al., 2011).*

## **OBJETIVOS**

*Avaliar a labilidade do carbono em função do cultivo de plantas de cobertura cultivadas em pré-safra de milho através da medida do carbono oxidável em permanganato de potássio.*

## **MATERIAL E MÉTODOS**

*O experimento está instalado em campo, na área da FCAV-Unesp, Campus de Jaboticabal-SP, a 21°15'22" de latitude Sul e 48°16'43" de longitude Oeste.*

*O delineamento experimental é blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos são constituídos pelas seguintes plantas de cobertura, cultivadas em pré-safra a cultura do milho: feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), mucuna-cinza (*Mucuna cinerea*), milheto (*Pennisetum americanum*), crotalária-juncea e (*Crotalaria juncea*) e vegetação espontânea (pousio).*

*As plantas de cobertura foram semeadas no mês de setembro de 2022 e em janeiro de 2023 foram dessecadas. Após a dessecação das plantas de cobertura, ainda no mês de janeiro de 2023, foi feita a semeadura do milho em todos os tratamentos, sendo adotado o espaçamento entrelinhas de 0,9 m e entre plantas de 0,30 m.*

*A coleta das amostras de solo foi feita 60 dias após a dessecação das plantas de cobertura, nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, com auxílio de trado holandês. Foram coletadas dez amostras simples deformadas por parcela, nas entrelinhas da cultura do milho e, do total de subamostras, foi obtida uma amostra composta.*

*As amostras foram usadas para determinação de carbono oxidável em permanganato de potássio pelo método descrito por Weil et al. (2003).*

*Os teores de carbono oxidável em permanganato de potássio foram submetidos à análise de variância pelo teste F e a comparação dos efeitos das plantas de cobertura foi feita pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para a organização dos dados foi utilizado o software Excel 2010, e para as análises estatísticas o Agroestat (BARBOSA e MALDONADO JÚNIOR, 2015).*

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

*Houve efeito diferente das plantas de cobertura no teor de COxP nas profundidades avaliadas (Tabela 1). Na camada de 0 a 5 cm o cultivo de mucuna-cinza, milheto e crotalária-juncea resultaram em maior teor de COxP. No entanto, o cultivo de crotalária-juncea foi equivalente ao cultivo de feijão-de-porco e vegetação espontânea (Tabela 2). Na camada de 5 a 10 cm os valores foram semelhantes aos obtidos na camada anterior, porém o cultivo de crotalária-juncea deu melhor resultado que vegetação espontânea (Tabela 2). Na camada de 10-20 cm observa-se que os tratamentos mucuna-cinza, milheto, crotalária e feijão-de-porco foram semelhantes estatisticamente, mas os resultados com milheto e feijão-de-porco foram semelhantes aos obtidos com a vegetação espontânea. Na maior profundidade avaliada, 20-40 cm, apenas o milheto e a crotalária resultaram em maior teor de COxP (Tabela 2).*

*Tabela 1: Quadrados médios a ( $p < 0,05$ ) e ( $p < 0,01$ ) para os teores de carbono oxidável nas diferentes profundidades, Jaboticabal-SP, 2023.*

	Valores de QM e significâncias para COxP			
	0-5 cm	5- 10cm	10-20cm	20-40 cm
Tratamentos	50080,7 **	40939,9 **	18193,0* *	3236,45 **

\* e \*\*= significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade e, ns= não significativo pelo teste F

**Tabela 2: Carbono oxidável em permanganato de potássio (COx) em função do cultivo de plantas de cobertura em diferentes profundidades, Jaboticabal-SP,2023.**

TRATAMENTOS	COx ( g kg <sup>-1</sup> )			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
Mucuna-cinza	1027, 25 a	815,50 a	663,00 a	442,00 bc
Milheto	1013,25 a	796,00 a	638,00 ab	513,50 ab
Crotalária-júncea	914,75 ab	768,75 ab	701,00 a	531,25 a
Feijão-de-porco	769,25 b	654,25 bc	587,50 ab	402,50 c
Vegetação espontânea	833,5 b	580,75 c	558,25 b	419,00 c
Media Geral	911,6	723,05	623,5	461,65
CV (%)	8,03	7,52	8,41	7,69
DMS (5%)	164,95	122,54	118,24	80,02

*Médias seguidas de letras minúscula na mesma coluna não diferem entre si ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste de Tukey.*

*Na camada de 0-5 cm os cultivos de mucuna e milho resultaram em ganho de 193,75 e 179,75 g kg<sup>-1</sup> de COxP, respectivamente, em relação a vegetação espontânea. Esse resultado não está diretamente relacionado com a entrada de resíduos na camada superficial, visto que a produção de matéria seca obtida foi de 2,23, 4,87, 5,12, 6,08 e 8,09 t ha<sup>-1</sup> para mucuna-cinza, vegetação espontânea, feijão-de-porco, crotalária e milho, respectivamente.*

*Esses resultados provavelmente se devem a variação na composição bioquímica de cada planta, que em parte fica refletida na relação C/N. A mucuna-cinza apresenta baixa relação C/N, em torno de 12/1 (SILVA, 2022) e, desta forma, apesar da baixa contribuição na entrada de resíduos, a quantidade que entrou foi suficiente para elevar o COxP em relação às outras espécies. Para o milho e a crotalária, a maior quantidade de resíduos produzida provavelmente compensou a maior relação C/N, o que resultou em valores similares ao da mucuna-cinza.*

*A relação C/N é inversamente proporcional à labilidade dos compostos presentes nos restos culturais (ACOSTA et al., 2014), ou seja, ela diminui à medida que a quantidade de moléculas mais simples como aminoácidos, proteínas e carboidratos aumenta. Desse modo, ocorre variação na relação C/N entre as partes da planta, sendo menor nas folhas em relação ao caule e às raízes, fato que pode ter contribuído para o milho resultar em valores de COxP altos, já que essa cultura produz grande quantidade de folhas.*

*Os valores significativos obtidos com crotalária e milho em relação aos outros tratamentos na camada de 20-40 cm, provavelmente se devem a maior profundidade do sistema radicular e maior renovação de raízes, com possibilidade de excreção de maior quantidade de exsudatos de baixo peso molecular como aminoácidos e açúcares (WALANDINO et al., 2005) nessa camada.*

## **CONCLUSÃO**

*A mucuna-cinza aumenta o teor de carbono oxidável na camada de 0 a 20 cm de profundidade.*

*O milho e a crotalária favorecem o aumento do carbono oxidável de 20 a 40 cm de profundidade.*

## **REFERÊNCIAS**

*ACOSTA, José Alan de Almeida et al. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. 2014. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014005000002>*

*BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR, W. AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônomicos. Jaboticabal, FCAV/UNESP. 396p, 2015.*

*BAYER, Cimélio et al. Armazenamento de matéria orgânica em um Acrissolo franco-arenoso afetado por sistemas de preparo do solo e cultivo no sul do Brasil. Pesquisa de solo e cultivo , v. 54, n. 1-2, pág. 101-109, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00090-8](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00090-8)*

*CULMAN, Steven W. et al. O carbono oxidável do permanganato reflete uma fração processada do solo que é sensível ao manejo. Soil Science Society of America Journal , v. 76, n. 2, pág. 494-504, 2012. <https://doi.org/10.2136/sssaj2011.0286>*

*DUMKE, Gabriel Elias et al. CRESCIMENTO DE PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO DE CICLO HIBERNAIS. ENCICLOPEDIA BIOSFERA, v. 20, n. 44, p. 97-109, 2023.*

*MAINI, Asima; SHARMA, Vivek; SHARMA, Sandeep. Avaliação do carbono do solo e indicadores bioquímicos da qualidade do solo sob sistemas de uso da terra de sequeiro na região nordeste de Punjab, Índia. Gestão de Carbono , v. 11, n. 2, pág. 169-182, 2020. <https://doi.org/10.1080/17583004.2020.1721976>*

*MANDAL, Uttam Kumar et al. Estimativa de carbono ativo oxidável por permanganato como indicador rápido para avaliar a qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso da terra em Argissolos de Sequeiro. Indian Journal of Agricultural Sciences , v. 81, n. 10, pág. 927-931, 2011. <https://www.researchgate.net/publication/287463659>*

*WANG, Fang; WEIL, Ray R.; NAN, Xiongxiang. Carbono orgânico total e oxidável por permanganato na zona de enraizamento do milho nos solos da Planície Costeira dos EUA, afetados por culturas de cobertura de rabanete forrageiro e fertilizante de N. Soil and Tillage Research , v. 165, p. 247-257, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.08.022>*

*WEIL, Ray R. et al. Significado da matéria orgânica do solo para a qualidade e saúde do solo. Matéria orgânica do solo na agricultura sustentável , p. 1-43, 2004.*

*WILLADINO, Lilia et al. Sistema vascular e exsudatos radiculares. Michereff SJ, Andrade GT, Menezes M. Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais. Recife: Imprensa Universitária, p. 19-40, 2005.*



# ADUBAÇÃO NITROGENADA PROMOVE ACÚMULO NO TECIDO FOLIAR EM PLANTAS DE SORGO E MILHETO

*Jamiles Carvalho Gonçalves de Souza Henrique*<sup>1</sup>; *Denizard Oresca*<sup>1</sup>; *Lucas Vinícius Pierre de Andrada*<sup>1</sup>; *Antônio Marcos Gomes Lisbôa*<sup>1</sup>; *Jean Carlos Nogueira*<sup>1</sup>; *Jefferson dos Santos Gomes Calaça*<sup>1</sup>; *Glícia Rafaela Freitas da Fonseca*<sup>1</sup>; *Lucas Henrique Maciel Carvalho*<sup>8</sup>; *Pedro José Hermínio*<sup>9</sup>; *Alexandre Campelo de Oliveira*<sup>10</sup>

<sup>1</sup>Bolsista. Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada; <sup>2</sup>Bolsista. Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada; <sup>3</sup>Bolsista. Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada; <sup>4</sup>Bolsista. Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada; <sup>5</sup>Bolsista. Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada; <sup>6</sup>Bolsista. Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada; <sup>7</sup>Bolsista. Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada; <sup>8</sup>Bolsista. Rodovia BR-407, KM 12 Lote 543 S/n Projeto de Irrigação Nilo Coelho,. Universidade Federal do Vale do São Francisco; <sup>9</sup>Bolsista. Av. P H Rolfs, s/n - Campus Universitário. Universidade Federal de Viçosa; <sup>10</sup>Docente. Av. Gregório Ferraz Nogueira, s/n. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada

## RESUMO

*As forrageiras sorgos e milho são culturas que se adaptam bem à região semiárida brasileira, além de possuir certa tolerância à salinidade e déficit hídrico. No entanto, o aumento da salinidade da água de irrigação pode afetar negativamente essas forrageiras. Estudos realizados, demonstram efeito positivo da adubação nitrogenada sobre a salinidade do solo e da água utilizada para irrigação. Desse modo, objetivou-se identificar o potencial da adubação nitrogenada em atenuar o efeito da salinidade da água de irrigação durante a produção dessas forrageiras no semiárido brasileiro. O trabalho foi desenvolvido no período de abril a julho de 2017, na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, sendo implantado avaliando duas espécies forrageiras, sorgo e milho, plantadas em consórcio. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4 x 4, referentes à quatro lâminas de irrigação com água salobra e quatro doses de nitrogênio. Realizou-se mensalmente a análise química da água utilizada para a irrigação. As medidas dos teores de Nitrogênio total (N-total) foram determinadas por um método adaptado a EMBRAPA, além disso, foram avaliados a altura de plantas (AP) e diâmetro do caule (DC). Quanto maior as concentrações de nitrogênio nas plantas do sorgo, maiores os teores de proteína bruta e, conseqüentemente, melhor a sua qualidade nutricional. Por outro lado, o milho demonstrou uma dose limite para expressar todo o seu potencial produtivo. A adubação nitrogenada e a irrigação com água salina foram favoráveis para o crescimento das duas culturas.*

**PALAVRAS-CHAVE:** Irrigação; forrageiras; nutrição mineral; salinidade; semiárido

## INTRODUÇÃO

*O sorgo (*Sorghum bicolor*) é uma cultura que se adapta a uma ampla variação de ambientes e produz sob condições desfavoráveis em relação a maioria dos outros cereais. Por causa da sua resistência à seca, é considerada uma cultura mais apta para as regiões áridas, em virtude de sua alta eficiência no uso da água, mesmo quando se irriga com lâmina deficitária (COSTA et al., 2017).*

*O milho (*Pennisetum glaucum*) é considerada uma cultura muito resistente à seca e uma gramínea anual com ciclo entre 150 e 160 dias, que contém de 7 a 12 % de proteína da matéria seca, que se expande de forma acelerada devido a sua rusticidade (FOLONI et al, 2017). A*

*produção de forragem do milho pode variar de 20 a 70 t ha<sup>-1</sup> de matéria verde em função da condição de cultivo e época de corte da planta (COSTA et al., 2014).*

*Nas regiões semiáridas, os usos da água de baixa qualidade nas culturas juntamente com as condições ambientais agravam o problema da salinização. De acordo com Mesquita et al. (2012), o uso da água salobra na irrigação eleva a condutividade elétrica (CE) do solo. De acordo com Coelho et al. (2013), a salinização dos solos reduz a capacidade das plantas de absorver água o que, em geral, provoca diminuição na sua taxa de crescimento. O nitrogênio (N) é considerado um elemento essencial para as plantas, pois está presente na composição das mais importantes biomoléculas, tais como ATP, NADH, NADPH, clorofila, proteínas e inúmeras enzimas (GIODORNO; RAVEN, 2014).*

*A predominância do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no solo inibe a absorção de Cl pelas plantas, resultando na sobrevivência das mesmas em ambientes salinos. Nobre et al. (2013), estudando a emergência, crescimento e produção da mamoneira, observaram efeitos significativos sobre a interação salinidade x nitrogênio, onde a aplicação de doses crescentes de nitrogênio reduziu o efeito da salinidade sobre as variáveis, diâmetro caulinar e a fitomassa seca da raiz.*

## **OBJETIVOS**

*Avaliar o potencial da adubação nitrogenada e da irrigação com água em incrementar os teores de nitrogênio em sorgo e milho cultivados no semiárido de Pernambuco.*

## **MATERIAL E MÉTODOS**

*O trabalho foi desenvolvido no período de abril a julho de 2017, em condições de campo, na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), município de Serra Talhada, Microrregião do Sertão do Pajeú, Mesorregião do Sertão Pernambucano.*

*O experimento foi implantado avaliando duas espécies forrageiras, sorgo e milho, plantadas em consórcio, sendo o sorgo considerado a cultura principal. Deste modo, o delineamento experimental foi em blocos ao acaso, arranjado no esquema fatorial 4 x 4, referentes à quatro lâminas de irrigação com água salina e quatro doses de nitrogênio, com parcelas subdivididas. As lâminas de irrigação foram baseadas na Evapotranspiração da Cultura (ET<sub>c</sub>), adotando-se um manejo de água sob condições deficitárias, com o intuito de minimizar a quantidade de sais aplicada via irrigação. Para isso, as lâminas foram calculadas com base nos níveis de 28%, 36%, 44% e 52 % da ET<sub>c</sub>, sendo obtidas pela equação ET<sub>c</sub> = ET<sub>o</sub> x K<sub>c</sub>, onde ET<sub>o</sub> é a evapotranspiração de referência e os valores de k<sub>c</sub>, coeficiente de cultura, refletem as necessidades hídricas das plantas nos seus estágios vegetativos e reprodutivos. A ET<sub>o</sub> foi determinada pelo Método pelo método de Penman Monteith parametrizado no boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 1998), expressa na equação abaixo.*

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \left( \frac{900}{t+273} \right) u_2 (e_s - e)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

*Em que,*

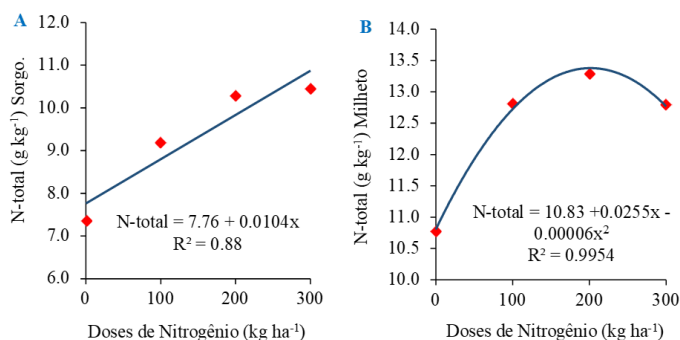
*ET<sub>o</sub> - evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>); R<sub>n</sub> - saldo de radiação à superfície (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>); G - densidade do fluxo de calor do solo (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>); T - temperatura do ar a 2 m de altura (°C); u<sub>2</sub> - velocidade de vento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>);*

*es* - pressão de vapor de saturação (kPa); *ea* - pressão parcial de vapor (kPa);  $\theta$  - declividade da curva de pressão de vapor de saturação (kPa °C<sup>-1</sup>), e  $\gamma$  - coeficiente psicrométrico (kPa °C<sup>-1</sup>).

A adubação nitrogenada consistiu em aplicar 100, 200 e 300 kg ha<sup>-1</sup> de N. Para as duas forrageiras foi adicionado o tratamento controle, ou seja, sem a aplicação de nitrogênio. No manejo da adubação nitrogenada, os tratamentos foram aplicados de modo parcelado, sendo 1/3 da aplicação no sulco de semeadura e os 2/3 restantes aos 25 dias após a emergência, utilizando a ureia como fonte de N. Após a obtenção da massa seca, as amostras dos tecidos aéreos tanto do milho quanto do sorgo foram moídas em moinho do tipo Willey (peneira de 1 mm), visando a determinação dos teores de nitrogênio total (N-total). O teor de nitrogênio total (N-total) foi determinado por um método adaptado a Embrapa (2011) que se baseia em três etapas: digestão, destilação e titulação. As variáveis altura de planta (AP) e diâmetro do caule (DC) foram mensuradas ao final do ciclo, com o auxílio de fitas métricas e paquímetros, respectivamente.

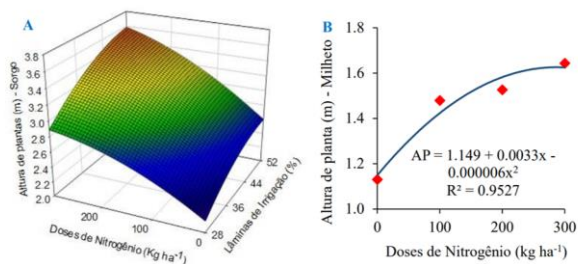
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, os teores de nitrogênio total (N-total), foram afetados significativamente apenas pela adubação nitrogenada (Figura 1 A e B). As lâminas de irrigação, não influenciaram nas doses de nitrogênio. O aumento no acúmulo de N-total nas plantas em decorrência do fornecimento de nitrogênio provavelmente se deve à rápida absorção do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> pelas raízes e sua posterior translocação para as partes aéreas. Quanto maior as concentrações de nitrogênio nas plantas do sorgo, maiores os teores de proteína bruta e, conseqüentemente, melhor a sua qualidade nutricional. Já para a cultura do milho, houve um comportamento quadrático em decorrência do fornecimento do nitrogênio no solo, sendo a máxima concentração 13,54 g kg<sup>-1</sup> de N-total na parte aérea das plantas foi encontrado quando aplicou-se 212,5 kg ha<sup>-1</sup> de N.



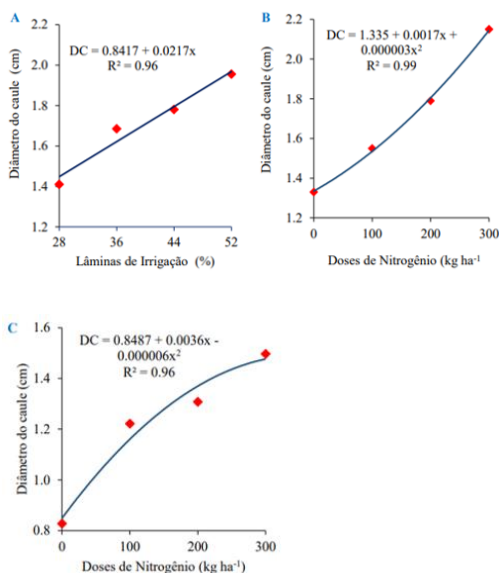
**Figura (1) Teores de N-total (A) e do milho (B), cultivado em consórcio com o milho, em função de diferentes doses crescentes de nitrogênio, Serra Talhada - PE.**

A maior altura do sorgo, cerca de 3,6 m, foi obtido com a maior dose de nitrogênio e lâmina de irrigação, ou seja, a medida que aumentaram as doses de nitrogênio e as lâminas de irrigação, conseqüentemente, houve aumento concomitante na altura das plantas (Figura 2 A). Para a cultura do milho, apenas a adubação exerceu efeito significativo, sendo a dose de 275 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio proporcionou maior altura de plantas, sendo 1,64 m (Figura 2 B). Esse fato ocorreu devido a água e o nitrogênio atuarem no crescimento vegetativo influenciando diretamente no maior alongamento, expansão, divisão celular e processo fotossintético promovendo, por conseguinte, acréscimo em altura das plantas (SILVA et al., 2005), como observado neste estudo..



**Figura 2:** Altura de plantas de Sorgo (A) e milho (B) em função a diferentes lâminas de irrigação com água salina e doses crescentes de nitrogênio, cultivados em consórcio, Serra Talhada - PE.

Na variável diâmetro do colmo (DC), o sorgo sofreu efeito isolado da irrigação e da adubação nitrogenada (Figura 3A). Constata-se que, à medida que aumentou o fornecimento da água e do nitrogênio, houve um acréscimo no diâmetro do colmo. Esse resultado pode ser atribuído ao fato do nitrogênio absorvido pelas plantas combinar com esqueletos carbônicos para a produção de aminoácidos, os quais resultam em proteínas que ficam armazenadas nos tecidos vegetais. Fernandes et al. (1991) obtiveram resultados que corroboram com os observados neste trabalho, em estudo com sorgo em solução nutritiva de nitrogênio, verificaram resposta da cultura ao incremento da concentração de nitrogênio na solução e que a aplicação de 120 mg L<sup>-1</sup> de nitrogênio proporcionou maior diâmetro do colmo a cultivar EA 116. Na cultura do milho, Farinelli e Lemos (2010) não detectaram diferença significativa da adubação nitrogenada sobre o diâmetro caulinar. Da mesma maneira, o aumento da lâmina de irrigação elevou linearmente o diâmetro caulinar do sorgo, passando de 1,41 a 1,96 cm, da menor para maior lâmina de irrigação, com ganho percentual estimado a 39%. A disponibilidade da água favorece uma expansão, divisão e alongamento celular devido à manutenção da turgidez celular, acarretando no maior crescimento em diâmetro caulinar das plantas.



**Figura 3:** Diâmetro do caule do sorgo (A e B) e do milho (C), cultivados em consórcio, em função de diferentes lâminas de irrigação com água salina e doses crescentes de nitrogênio, cultivados em consórcio, Serra Talhada - PE.

Já o milho foi afetado significativamente apenas pela adubação nitrogenada (Figura 3A, 3B e 3C). Provavelmente, a aplicação das lâminas não exerceu efeito significativo no milho devido à precipitação ocorrida durante seu ciclo de crescimento que gira em torno de 60 a 80 dias.

## CONCLUSÃO

*A adubação nitrogenada promoveu aumento nos teores totais de nitrogênio para a cultura do sorgo e milho.*

*A reposta quadrática encontrada para o milho pode indicar que ocorreu um efeito de diluição do nitrogênio no tecido foliar.*

*De acordo com os resultados obtidos nesse experimento, pode-se concluir que adubação nitrogenada e a irrigação com água salina beneficiaram o crescimento da cultura do sorgo e do milho, expresso em altura e diâmetro caulinar.*

## AGRADECIMENTOS

*A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela bolsa de estudo concedida.*

## REFERÊNCIAS

*EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise do solo. 3a ed. Rio de Janeiro, (Embrapa - CNPS. Documentos, 132), 2011. 230 p.*

*COELHO, Daniela S. et al. Germinação e crescimento inicial de variedades de sorgo forrageiro submetidas ao estresse salino. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n. 1, p. 25-30, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000100004> . Acesso em: 04 de agos. 2023*

*COSTA, A. C. T. et al. Desempenho do milho pérola na safrinha em espaçamentos e densidades de semeadura. Agrarian, v. 8, n. 27, p. 47-56, 2014. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/3112> . Acesso em: 04 de agos. 2023*

*COSTA, Joao Paulo Nunes da. Crescimento e Produção da Primeira Rebrotada de Cultivares de Sorgo Sob Diferentes Lâminas de Irrigação. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/tede/769> . Acesso em: 04 de agos. 2023*

*FAO. FAOSTAT - Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. 2015.*

*FOLONI, J.S. et al. Acúmulo de nutrientes e relação C/N em diferentes estádios fenológicos do milho submetido à adubação nitrogenada. Revista Agro@ mbiente On-line, v. 10, n. 1, p. 1-9, 2016. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1062667>. Acesso em: 04 de agos. 2023*

*GIORDANO, M.; RAVEN, J. A. Nitrogen and sulfur assimilation in plants and algae. Aquatic Botany, v. 118, n. 1, p. 45-61, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2014.06.012>. Acesso em: 04 de agos. 2023*

*MESQUITA, F. O. et al. Produção de mudas de maracujazeiro amarelo submetidas à salinidade em solo com biofertilizante bovino. Ciencia del Suelo, v. 30, n. 1, p. 31-41, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/73428> Acesso em: 04 de agos. 2023*

***NOBRE, R. G. et al. Emergência, crescimento e produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. Revista Ciência Agronômica, v. 44, n. 1, p. 76-85, 2013. RICHARDS, L. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000100010> Acesso em: 04 de agos. 2023***

***RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington DC, US Department of Agriculture, 1954. 160 p. (USDA Agricultural Handbook, 60).***

# EFEITO DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA ENRIQUECIDA EM CO<sub>2</sub> NO TEOR DE NUTRIENTES DA COUVE

Isabeli Pereira Bruno<sup>1</sup>; Mariane da Silva Pedro<sup>2</sup>; Daniel Soares Alves<sup>3</sup>; Carolina Maria Gaspar de Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pesquisadora. Rodovia Celso Garcia Cid, km 375 - Londrina - PR CEP: 86047-902. Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná; <sup>2</sup>Discente. Rua Itararé, 10 - Londrina - PR CEP: 86020-460. Centro Universitário Filadélfia; <sup>3</sup>Analista. Rodovia Celso Garcia Cid, km 375 - Londrina - PR CEP: 86047-902. Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná

## RESUMO

*O aumento na concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera impacta de formas diversas todo o ambiente terrestre, incluindo a agricultura. Apesar da teoria sugerir que a maior concentração de CO<sub>2</sub> poderia aumentar a fotossíntese, alguns estudos indicam uma diminuição na qualidade dos alimentos produzidos nesse ambiente, resultando em menor concentração de certos nutrientes. Há décadas cientistas têm realizado tentativas de utilizar CO<sub>2</sub> para aumentar a produção de alimentos via enriquecimento da água de irrigação, com resultados bastante divergentes, inclusive em relação ao teor de nutrientes. Neste contexto, este estudo teve como objetivo analisar se o enriquecimento da água de irrigação com CO<sub>2</sub> (água carbonatada) levaria à diminuição no teor de nutrientes em couve e qual seria seu impacto na produção. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com dois tratamentos (água carbonatada e água natural) e quatro repetições. Após 60 dias, foram avaliados os teores de macro e micronutrientes nas folhas e caules das plantas, assim como a massa seca das folhas. A irrigação com água carbonatada não afetou a produção e nem a concentração da maioria dos nutrientes avaliados, exceto o potássio que aumentou significativamente nas folhas.*

**PALAVRAS-CHAVE:** dióxido de carbono; Brassica oleracea L. var. acephala; água carbonatada;;

## INTRODUÇÃO

*As alterações climáticas causadas pela liberação de gases de efeito estufa tem trazido enorme impacto a toda a vida na Terra (IPCC, 2013), com consequências negativas inclusive para a produção agrícola. Algumas pesquisas mostram que esse aumento na concentração de CO<sub>2</sub> no ar pode estimular a fotossíntese (e.g. AINSWORTH; ROGERS, 2007), o que poderia em tese aumentar a produção de alimentos. De fato, muito antes da popularização das pesquisas sobre as alterações climáticas, cientistas já vinham buscando aumentar a produtividade das plantas cultivadas através do enriquecimento de CO<sub>2</sub> na água de irrigação (água carbonatada), alcançando resultados ora positivos, ora negativos. Entre os mecanismos que possivelmente influenciam uma resposta positiva das plantas à água carbonatada estão o enriquecimento do ar com CO<sub>2</sub>, a absorção direta de CO<sub>2</sub> pelas raízes, e o aumento na absorção de nutrientes pela diminuição do pH do solo (STORLIE; HECKMAN, 1996). Vários trabalhos recentes mostram que o maior nível de CO<sub>2</sub> no ar diminui o conteúdo de nutrientes em alimentos essenciais para diversos países, como o arroz e o feijão (e.g. ZHU et al., 2018; SMITH; MYERS, 2018), o que levanta a questão de se o mesmo poderia ocorrer em espécies irrigadas com água carbonatada (e.g. KANO et al., 2013).*

## OBJETIVOS

*Avaliar se o enriquecimento da água de irrigação com CO<sub>2</sub> diminui o conteúdo de macro e micronutrientes em uma hortaliça bastante consumida no Brasil, que é a couve.*

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento teve início em setembro de 2022 com o transplante de uma muda de couve por vaso (3 L), e foi conduzido em casa de vegetação do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IAPAR-EMATER (IDR-Paraná), em Londrina. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com dois tratamentos (água carbonatada e água natural) e quatro repetições (cada repetição consistia em dois vasos), números estes suficientes para analisar os resultados, conforme trabalhos anteriores (e.g. KANO et al., 2013, ZHU et al., 2018). Amostras de solo antes e após o experimento foram coletadas para análise de suas características químicas. Foram seguidas todas as recomendações de adubação e controle fitossanitário (Trani et al., 2015). A carbonatação da água foi realizada diariamente utilizando-se um cilindro com CO<sub>2</sub>, que era adicionado à água natural na vazão de 5 L min<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>, até a concentração de 1,23 g CO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> de água. Logo após era feita a irrigação de 200 mL por dia por vaso, tanto de água carbonatada quanto de água natural. Irrigação suplementar foi feita com água natural para manter os níveis de umidade do solo adequados para o crescimento das plantas.

Após 60 dias do transplante foram coletadas as folhas e caules das plantas. O material vegetal foi lavado em água deionizada, acondicionado separadamente em sacos de papel, e encaminhado para secagem em estufa (65°C), até peso constante. Depois de secas, as amostras vegetais de cada tratamento foram pesadas e a massa seca anotada. As amostras foram moídas em moinho do tipo Willey (peneira 20 mesh), armazenadas em potes plásticos e enviadas para análise das concentrações de macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S); e micronutrientes: cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) (MALAVOLTA et al., 1997). Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e teste t (5%) no programa estatístico SISVAR®.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise química do solo após 60 dias de cultivo das plantas de couve foi observada diferença significativa apenas na acidez potencial (H+Al), que apresentou os maiores valores no tratamento com água carbonatada (3,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) em relação ao de água natural (2,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Comparando os resultados finais com os iniciais, pode ser observada queda do pH do solo de 6,1 para 5,6 e 5,7 nos tratamentos com água carbonatada e água natural, respectivamente.

Em relação à produção da couve, não houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo que o peso médio das folhas de couve irrigadas com água carbonatada foi de 6,1 g e com água natural de 5,4 g.

Para o caule da couve não houve diferença significativa entre os tratamentos na concentração de nenhum dos nutrientes avaliados, mas todos os valores foram menores que os observados nas folhas.

Os teores médios da maioria dos nutrientes nas folhas de couve (Quadro 1) foram compatíveis com aqueles considerados adequados para a espécie, e apenas fósforo e cálcio apresentaram teores pouco acima do limite adequado (TRANI et al., 2015).

**Quadro 1:** Conteúdo de macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), e magnésio (Mg) e dos micronutrientes cobre (Cu), zinco (Zn), boro (B) e manganês (Mn) em folhas de couve submetidas a irrigação com água carbonatada e água natural, após 60 dias de cultivo em Londrina, 2023. Os dados apresentados expressam a média ± erro padrão (coeficiente de variação), n=4.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	B	Mn
------------	---	---	---	----	----	----	----	---	----



					g kg <sup>-1</sup>				
Carbonatada	48±2 (7)	9±0,3 (6)	28 <sup>a</sup> ±0,3 (2)	27±1 (11)	4±0,3 (13)	5±1 (54)	38±1 (7)	65±3 (10)	55±6 (22)
Natural	50±2 (10)	9±0,5 (13)	25 <sup>b</sup> ±0,5 (4)	26±1 (8)	4±0,2 (9)	5±1 (26)	38±3 (14)	69±4 (13)	48±3 (14)

*\*Letras indicam diferença significativa entre os tratamentos com e sem irrigação com água carbonatada. As concentrações médias sem letras não apresentaram diferença significativa de acordo com teste t, nível de significância  $p < 0,05$ .*

*Nas folhas de couve houve diferença significativa entre os tratamentos apenas para a concentração média de potássio, sendo que as plantas irrigadas com água carbonatada apresentaram maior concentração (27,65 g kg<sup>-1</sup>) do que aquelas que receberam irrigação com água natural (25,05 g kg<sup>-1</sup>) (Quadro 1). Um estudo com resultados semelhantes em relação ao potássio foi o de Carneiro Jr. (2004), que observou aumento no teor deste nutriente na parte aérea de tomateiro, com o uso de água carbonatada. O autor explicou esse resultado em virtude da diminuição momentânea do pH do solo das plantas que receberam água carbonatada. No entanto, essa explicação não pode ser aceita no caso do presente estudo, pois aqui a diminuição do pH ocorreu em ambos tratamentos, e tanto no início quanto no final do experimento o pH estava em uma faixa considerada como ideal para disponibilizar potássio para a solução do solo (MALAVOLTA et al., 1997). Portanto, são necessárias mais pesquisas para melhor entendimento da dinâmica deste nutriente em couve irrigada com água carbonatada. Outro estudo que também encontrou aumento na absorção de potássio, assim como de vários outros nutrientes, foi feito por Novero et al. (1991) em tomateiro, que atribuiu os resultados tanto à diminuição momentânea do pH do solo quanto do aumento na concentração de CO<sub>2</sub>. Mas um resultado contrário foi obtido em experimento com meloeiro submetido a diferentes doses de K e irrigado com água carbonatada ou água natural, pois o teor de K nas folhas, caules e ramos das plantas foi menor com a utilização da água carbonatada (KANO et al., 2013). Outro resultado contrastante foi encontrado também com meloeiro, que não apresentou diferenças significativas em relação à nutrição foliar entre os tratamentos com e sem irrigação com água carbonatada, apesar da maior produtividade no tratamento com água carbonatada (PINTO et al., 2001). Alguns resultados contraditórios também foram encontrados, como por exemplo, no trabalho de Cañizares et al. (2005) que avaliou o estado nutricional de pepineiros irrigados com água carbonatada ou água natural, por dois semestres. Eles notaram que o teor de potássio foi maior nas plantas irrigadas com água carbonatada no primeiro semestre, e resultado oposto foi obtido no segundo semestre.*

## CONCLUSÃO

*O aumento na concentração de CO<sub>2</sub> na água de irrigação não alterou a produção da couve nem reduziu os teores dos nutrientes avaliados. Pelo contrário, a água carbonatada resultou em um aumento significativo na concentração de potássio nas folhas de couve.*

## AGRADECIMENTOS

*Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de iniciação científica concedida à segunda autora no âmbito do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC).*

## REFERÊNCIAS

*AINSWORTH, E. A.; ROGERS, A. The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO<sub>2</sub>]: mechanisms and environmental interactions. Plant, Cell and Environment, v. 30,*

2007. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3040.2007.01641.x>. Acesso em: 08 ago. 2023.

CAÑIZARES, K. A. L.; RODRIGUES, J. D.; GOTO, R.; VILAS BÔAS, R. L. *Influência da irrigação com água enriquecida com dióxido de carbono e da enxertia sobre o estado nutricional de plantas de pepino. Horticultura Brasileira*, v.23, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362005000100002>. Acesso em 08 ago. 2023.

CARNEIRO JR., A. G. *Teor de nutrientes e produtividade em híbridos de tomateiro, em função de doses de CO<sub>2</sub>, via água de irrigação. Botucatu: UNESP, 2004. Disponível em: https://acervodigital.unesp.br/handle/11449/103233. Acesso em 08 ago. 2023.*

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 2006. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/. Acesso em: 09 jul 2023.*

KANO, C.; CARMELLO, Q. A. C.; FRIZZONE, J. A.; CARDOSO, S. S. *Teor e acúmulo de nutrientes pelo meloeiro rendilhado cultivado com potássio e CO<sub>2</sub> na água de irrigação. Biotemas*, v. 26, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7925.2013v26n3p19>. Acesso em: 08 ago 2023.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS. 1997. Disponível em: https://repositorio.usp.br/item/001070906. Acesso em: 08 ago. 2023.*

NOVERO, R.; SMITH, D. H.; MOORE, F. D.; SHANAHAN, J. F.; D'ANDRIA, R. *Field-Grown Tomato Response to Carbonated Water Application. Agronomy Journal*, v. 83, 1991. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj1991.00021962008300050026x>. Acesso em: 08 ago. 2023.

PINTO, J. M.; BOTREL, T. A.; MACHADO, E. C.; FEITOSA FILHO, J. C. *Aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação em relação à produtividade do meloeiro. Scientia Agricola*, v.58, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162001000100006>. Acesso em: 08 ago. 2023.

SMITH, M. R.; MYERS, S. S. *Impact of anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions on global human nutrition. Nature Climate Change*, v.8, 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41558-018-0253-3/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

STORLIE, C.; HECKMAN, J. R. *Soil, plant, and canopy responses to carbonated irrigation water. HortTechnology*, v. 6, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.6.2.111>. Acesso em: 08 ago. 2023.

TRANI, P. E.; TIVELLI, S. W.; BLAT, S. F.; PRELA-PANTANO, A.; TEIXEIRA, E. P.; ARAÚJO, H. S.; FELTRAN, J. C.; PASSOS, F. A.; FIGUEIREDO, G. J. B.; NOVO, M. C. S. S. *Couve de folha: do plantio à pós-colheita. Campinas: IAC. 2015. Disponível em: https://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/tipo.php?p=1. Acesso em: 08 ago. 2023.*

ZHU, C.; KOBAYASHI, K.; LOLADZE, I.; ZHU, J.; JIANG, Q.; XU, X.; LIU, G.; SENEWEERA, S.; EBI, K. L.; DREWNOWSKI, A.; FUKAGAWA, N. K.; ZISKA, L. H. *Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) levels this century will alter the protein, micronutrients, and vitamin content of rice grains with potential health consequences for the poorest rice-dependent countries. Science Advances*, v. 4, 2018. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aag1012>. Acesso em: 08 ago. 2023.

## QUALIDADE VISUAL DE COENTRO CULTIVADO EM SUBSTRATOS CONTENDO MACRÓFITA AQUÁTICA OU CAMA DE AVIÁRIO

Fabio Costa Esteves Junior <sup>1</sup>; Marcos Vinicius Reis de Oliveira Junior <sup>1</sup>; Janylly Fernanda dos Santos Lima <sup>2</sup>; Raimundo Thiago Lima da Silva <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo. Rua do Pau Amarelo, S/N, Bairro Vila Nova, Capitão Poço - PA. Universidade Federal Rural da Amazônia; <sup>2</sup>Discente. Rua do Pau Amarelo, S/N, Bairro Vila Nova, Capitão Poço - PA. Universidade Federal Rural da Amazônia; <sup>3</sup>docente. Rua do Pau Amarelo, S/N, Bairro Vila Nova, Capitão Poço - PA. Universidade Federal Rural da Amazônia

### RESUMO

*O coentro (*Coriandrum sativum* L.), uma hortaliça herbácea anual, popularmente conhecido como cheiro-verde é encontrado na culinária das regiões Norte e Nordeste do Brasil. Este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade dos maços de coentro a partir da incorporação do substrato de macrófitas aquáticas (*Salvinia auriculata* Aubl.) ou cama de aviário. O experimento foi conduzido, durante o período de maio a agosto de 2019, na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Campus Capitão Poço-PA. O delineamento experimental utilizado foi o Inteiramente Casualizado (DIC) com 7 (sete) tratamentos e 6 (seis) repetições, totalizando 42 unidades experimentais. Os tratamentos consistiram na testemunha, somente solo; diferentes níveis de cama de aviário, a 16,7%, 33,3% e 50,0% e; macrófitas aquáticas, a 16,7%, 33,3% e 50,0%. Foram formados maços de vinte plantas, referente à mesma parcela, sendo atribuídas notas relativas à qualidade visual do produto em comparação aos comercializados no município de Capitão Poço. As notas variam entre: 0 (Sem valor comercial) e 1 (Padrão para comercialização), sendo observadas características visuais como: cor, tamanho do maço, quantidade de folhas e hastes e indícios de deficiência nutricional. Além disso, foram selecionados 20 avaliadores, sendo 5 docentes, 5 discentes, 5 produtores e 5 donas de casa. O teste de ordenação da preferência de compra indicou que os tratamentos que apresentaram maior aceitação por parte do consumidor, foram o 16% C e 50% M, agrupados por receberem o maior quantitativo de notas 1 e não diferirem entre si, representados pelo coeficiente de 0,45 de dissimilaridade (e/ou 0,55 de similaridade).*

**PALAVRAS-CHAVE:** olerícola; composto orgânico; plantas aquáticas;;

### INTRODUÇÃO

*Entre os diversos ramos da horticultura no Brasil, a olericultura apresenta considerável impacto socioeconômico, possibilitando aumentos na geração direta de empregos e qualidade na alimentação humana. A produção, em sua maioria, é advinda da mão de obra familiar em pequenas e médias propriedades rurais podendo ser comercializada ou direcionada para subsistência. A agricultura familiar se destaca, portanto, na produção sustentável destes alimentos a fim de garantir a maior diversidade da dieta regional (CELESTRINO et al., 2017).*

*Nas hortas do município de Capitão Poço-PA, a exploração é do tipo diversificada, tendo dentre as culturas mais cultivadas o coentro (*Coriandrum sativum* L.), uma das hortaliças mais vendidas nas "feiras livres", comercializada juntamente com a cebolinha (*Allium schoenoprasum* L.) que formam a dupla cheiro-verde como é conhecida e consumida nas regiões Norte e Nordeste do Brasil (SOUZA et al., 2010). Nos últimos anos, se observa uma demanda crescente por esta olerícola devido aos diversos benefícios obtidos pelo consumo, em virtude das folhas com sabor e aroma muito ativos e peculiares, incorporadas nas receitas culinárias de diversos pratos típicos do Brasil (FILGUEIRA, 2013).*

*Sabe-se que o cultivo da referida espécie, realizado por agricultores familiares, ainda é bastante rústico, sem o uso de tecnologias que possam contribuir para aumentar sua produtividade. Apesar de amplamente explorado no semiárido brasileiro, poucas são as pesquisas que foquem na melhoria produtiva da cultura (ALMEIDA et al., 2019). Esta falta de informação faz com que*

*produtores da cultura, em geral, adotem práticas de manejo distintas que propiciam, dessa forma, irregularidades no padrão de qualidade do produto final.*

## **OBJETIVOS**

*Com relação ao objetivo geral, destaca-se avaliar a qualidade visual dos maços de coentro a partir da incorporação dos substratos com base em macrófitas aquáticas (*Salvinia auriculata* Aubl.) ou cama de aviário.*

## **MATERIAL E MÉTODOS**

*O experimento foi conduzido, durante o período de maio a agosto de 2019, na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Campus Capitão Poço-PA, na microrregião do Guamá, localizada 226 km de Belém, nas coordenadas 01°44'47" S e 47°03'34" O, e altitude de 73 m. O experimento foi instalado em uma tenda coberta com filme plástico de 200 micra, sem uso de sombreamento.*

*Foi coletado solo nas proximidades do campo experimental para caracterização física e química do material. A partir do resultado da análise física do solo, caracterizou-se como sendo de textura franco-arenosa, com boa aeração, drenagem e profundidade.*

*Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com 7 (sete) tratamentos e 6 (seis) repetições, totalizando 42 unidades experimentais. Entre os substratos a serem utilizados no experimento, foi administrado como condicionante orgânico a cama de aviário e macrófitas aquáticas. Os tratamentos consistiram: na testemunha, somente solo; três diferentes níveis de cama de aviário, a 16,7%, 33,3% e 50,0% e três quantidades de macrófitas aquáticas, a 16,7%, 33,3% e 50,0% do substrato.*

*A cama de aviário foi adquirida em casas agropecuárias e em granjas de frangos do município, e posteriormente uniformizadas. Em relação ao substrato com macrófitas aquáticas, a espécie a ser administrada foi a salvinia (*Salvinia auriculata* Aubl.), sendo esta obtida a partir de coleta em tanque escavado para produção de peixes (semi-intensivo), desidratadas em estufa de secagem e esterilização (Modelo 315 SE), na faixa de 65 a 70 °C.*

*O experimento foi conduzido em dois canteiros de madeira com 1,40 m de comprimento por 0,75 m de largura e 0,20 m de profundidade, suspenso a 1m acima do piso em uma mesa de madeira, com sombrite separando os materiais presentes na caixa, a fim de que se proporcione a drenagem da água.*

*Posteriormente foi determinado a curva de retenção de água no solo, onde utilizou-se o método do Extrator de Richards, bem como, a densidade de partículas ( $D_p$ ) foi obtida a partir do método do balão volumétrico.*

*As sementes de coentro Verdão foram adquiridas em casa agropecuária, pertencente à marca FELTRIN SEMENTES LTDA, apresentando germinação de 97% e pureza de 100%. Para a semeadura distribuiu-se aproximadamente 80 sementes por parcela. As sementes foram dispostas em filetes contínuos em dois sulcos por parcela (CHILE, 2018). Durante a realização do experimento o controle de plantas daninhas foi efetuado por capina manual e a lâmina de irrigação administrada durante todo cultivo de  $8 \text{ mm d}^{-1}$ , aplicados com o auxílio de um becker de 500 mL de capacidade, duas vezes ao dia, de modo a suprir as necessidades hídricas das plantas (PINTO et al., 2018).*

*Foram formados maços de vinte plantas, referente à mesma parcela, sendo atribuídas notas relativas à qualidade visual do produto em comparação aos comercializados no município de*

*Capitão Poço. As notas variam entre: 0 (sem valor comercial) e 1 (padrão para comercialização), sendo observadas características visuais como: cor, tamanho do maço, quantidade de folhas e hastes e indícios de deficiência nutricional. Além disso, foram selecionados 20 avaliadores, sendo 5 docentes, 5 discentes, 5 produtores e 5 donas de casa.*

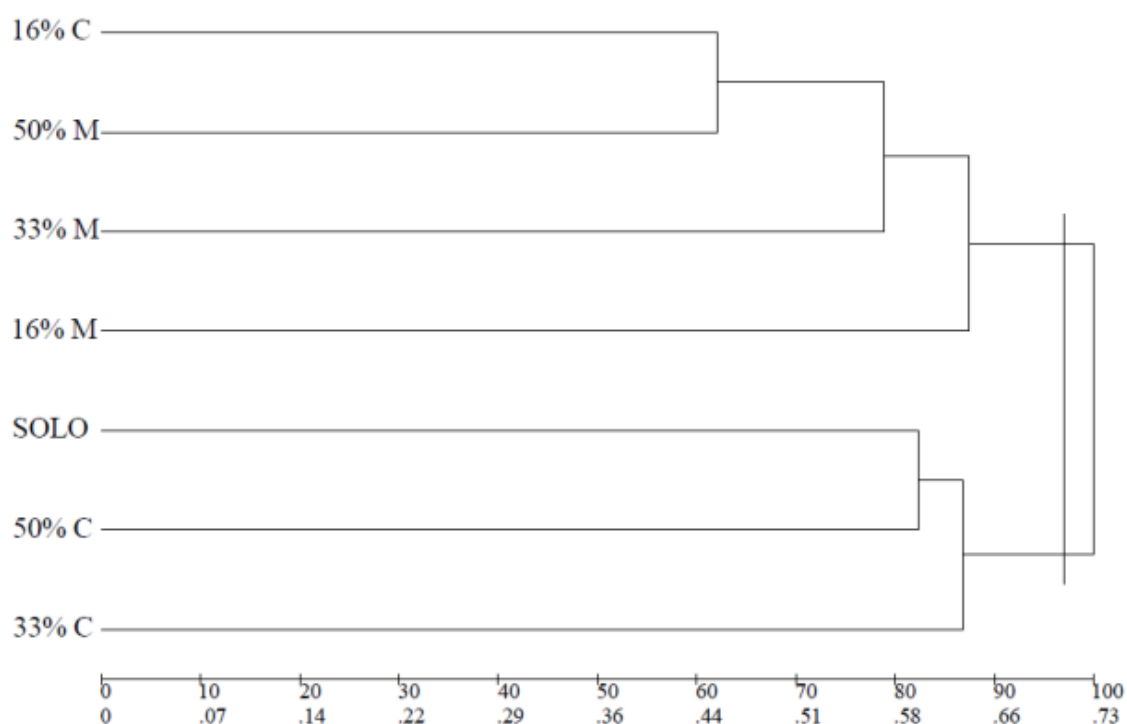
*Para realização do dendrograma, utilizou-se o método de cálculo da distância binária de Sokal pelo método de agrupamentos Unweighted Pair Group Method using Arithmetic averages (UPGMA) a 1% de probabilidade.*

*Utilizaram-se os Softwares Action Stat 3, Genes (CRUZ, 2013) e Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2003).*

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

*De acordo com Bernardi (2004), a qualidade final de um produto agrícola é resultado de diversos fatores, entre estes os níveis de fornecimento de nutrientes, o que pode ser interpretado como a soma de todas as características combinadas que produzem uma hortaliça com valor nutritivo, aceitável e desejável como alimento humano. A aparência externa das hortaliças é uma característica importante, uma vez que o consumidor somente adquire o produto que parece ser mais atrativo. A partir disso, a Figura 10 mostra o dendrograma obtido a partir do método de cálculo das distâncias binária de Sokal pelo método de agrupamento entre ligações médias entre grupos (UPGMA) dos dados de avaliação visual dos maços de coentro.*

*Figura 1: Dendrograma de dissimilaridade para maços de coentro.*



*Fonte: dados da pesquisa.*

*Nota-se que os coeficientes (distâncias) receberam valores próximos em relação aos agrupamentos, porém devido um ponto de corte correspondido por 0,72, foi possível distinguir em dois grupos formados, sendo os mesmos estatisticamente diferentes. Contudo, dentro dos grupos formados, observaram-se agrupamentos estatisticamente iguais, representados pelos (16% C, 50% M, 33% M e 16% M) e (SOLO, 50% C e 33% C), variando apenas sua dissimilaridade entre os tratamentos.*

*O dendrograma retrata uma elevada significância, devido a sua alta correlação cofenética 0,8325 ou 83,25% sendo este confiável a uma probabilidade de 1%.*

*O teste de ordenação da preferência de compra indicou que os tratamentos que apresentaram maior aceitação por parte do consumidor (padrão de comércio) foram o 16% C e 50% M, agrupados por receberem o maior quantitativo de notas 1 e não diferirem entre si, representados pelo coeficiente de 0,45 de dissimilaridade (e/ou 0,55 de similaridade), obtiveram aproximadamente 60% de semelhança. O segundo agrupamento foi formado pelo tratamento 33% M sendo adicionado ao primeiro agrupamento (16% C e 50% M) demonstrado pela distância de 0,58 de dissimilaridade (e/ou 0,42 de similaridade) entre o T6 e o primeiro agrupamento. Já para o terceiro agrupamento formado pelos 16% M, este foi adicionado ao segundo agrupamento (16% C, 50% M e 33%M) sendo representado pela distância de 0,64 de dissimilaridade ao agrupamento.*

*O segundo grupo foi formado pelos tratamentos que apresentaram menor aceitação por parte do consumidor (padrão de comércio) representada pelo tratamento contendo apenas SOLO e 50% C, no qual receberam o maior quantitativo de notas 0 e não diferirem entre si, retratam uma dissimilaridade de 0,60 e/ou 0,40 de similaridade. O segundo agrupamento foi formado pelo tratamento 33% C sendo adicionado ao agrupamento (SOLO e 50% C) com coeficiente de 0,63 de dissimilaridade em relação ao mesmo.*

*Devido ao menor número de componentes das famílias brasileiras e do maior grau de conhecimento sobre a qualidade dos produtos, os consumidores atuais têm dado preferência a produtos com maior valor nutritivo (ALVES et al., 2010), haja vista que o conceito de qualidade de hortaliças envolve vários atributos, desde aparência visual (frescor, cor, defeitos e deterioração), textura (firmeza, resistência e integridade do tecido), sabor e aroma, valor nutricional e segurança do alimento fazem parte do conjunto de atributos que definem a qualidade (NUNES, 2011).*

## **CONCLUSÃO**

*A utilização de 16% de cama de aviário ou 50% de macrofita no substrato para a produção de coentro, foram os que apresentaram maços com maior aceitação por parte do consumidor (padrão de comércio).*

## **AGRADECIMENTOS**

*A Universidade Federal Rural da Amazônia, campus Capitão Poço*

## **REFERÊNCIAS**

*ALMEIDA, B. C. et al. Desempenho agroeconômico do coentro em diferentes densidades de semeadura. Revista Ciências Agrárias, Recife-PE, v. 62, p. 1-7, 2019.*

*ALVES, S. S. V. et al. Qualidade de cenouras em diferentes densidades populacionais. Revista Ceres, Viçosa-MG, v.57, n.2, p. 218-223, 2010.*

*BERNARDI, A. C. et al. Avaliação Quantitativa e Qualitativa de Alface Cultivada em Sistema Zeopônico. Rio de Janeiro-RJ: EMBRAPA-Circular Técnica, 2004. 11 p.*

*CELESTRINO, R. B. et al. Novos olhares para a produção sustentável na agricultura familiar: Avaliação da alface americana cultivada com diferentes tipos de adubações. Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar, Tupã-SP, v. 3, n. 1, p. 66- 87, 2017.*

**CHILE, V. Q. G. Tratamentos pré-germinativos em semente de coentro. 2018. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia) - Universidade Federal de Roraima. Boa Vista-RR, 2018.**

**FERREIRA, D. F. Sisvar: versão 4.2. Lavras: UFLA, 2003.**

**FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3ª ed. Viçosa-MG: Editora UFV, 421 f., 2013.**

**NUNES, C. J. Qualidade e vida útil da rúcula orgânica armazenada sob refrigeração. 2011. 56 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Universidade Federal do Acre, Rio BrancoAC, 2011.**

**PINTO, A. A. et al. Desenvolvimento e produtividade do coentro em função da adubação nitrogenada. Agrarian Academy, Centro Científico Conhecer, Goiânia-GO, v.5, n.9, p. 160, 2018.**

**SOUZA, A. I. A. F. et al. Perfil do mercado varejista de olerícolas in natura no município de Capitão Poço, Estado do Pará. Horticultura Brasileira, Brasília-DF, v. 28, p. 422-428, 2010.**

# **EFEITO DO CULTIVO DE PLANTAS DE COBERTURA EM PRÉ-SAFRA DE MILHO NA LABILIDADE DO CARBONO DO SOLO**

Jairo Neves de Oliveira <sup>1</sup>; Priscila Martins da Silva <sup>2</sup>; Mara Cristina Pessôa da Cruz <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mestrando. Joboticabal, São Paulo. Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho;

<sup>2</sup>Graduanda. Capitão Poço, Pará. Universidade Federal Rural da Amazônia; <sup>3</sup>Docente. Jaboticabal, São Paulo. Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho

## **RESUMO**

*A fração lábil do carbono do solo apresenta estreita relação com a reciclagem de nutrientes e é dependente, entre outros fatores, da cobertura vegetal. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a labilidade do carbono em função do cultivo de plantas de cobertura através da medida do carbono oxidável em permanganato de potássio (COxP). O carbono oxidável foi avaliado em amostras de solo de um experimento instalado no campo, no qual estão sendo cultivadas, desde o ano de 2000, milho, mucuna-cinza, feijão-de-porco e crotalária em pré-safra de milho. No experimento, o tratamento controle é a vegetação espontânea. A coleta de solo foi feita nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade, 60 dias após a dessecação das plantas de cobertura. Os maiores teores de COxP na camada de 0-5 cm foram observados após os cultivos de mucuna-cinza, crotalária e milho. Resultados semelhantes foram obtidos para a camada de 5-10 cm e de 10-20 cm, porém milho e feijão-de-porco não diferiram da vegetação espontânea. Na camada de 20-40 cm, milho e crotalária foram resultaram em maiores teores de C lábil, apesar do milho ter sido estatisticamente igual à mucuna-cinza. Nesse contexto, foi possível concluir que, comparadas à vegetação espontânea, as plantas de cobertura aumentam o COxP até 40 cm de profundidade, e que a mucuna-cinza e o milho são as espécies que levam aos maiores aumentos.*

**PALAVRAS-CHAVE:** Carbono oxidável; plantas de cobertura; profundidades;;

## **INTRODUÇÃO**

*A matéria orgânica do solo (MOS) é um atributo químico importante para manter a qualidade do solo. No entanto, o emprego de técnicas de preparo convencional tem contribuído para perdas significativas de carbono orgânico do solo, causando redução nos reservatórios de matéria orgânica (BAYER et al., 2000).*

*Uma alternativa que pode ser usada para minimizar os efeitos do cultivo nos estoques de MOS é o cultivo de plantas de cobertura em sistema de plantio direto. O uso dessas plantas em rotação com a cultura de interesse nesse tipo de sistema aumenta o estoque de carbono orgânico do solo, a fertilidade do solo e a ciclagem de nutrientes, além de diminuir o risco de perdas da matéria orgânica por erosão (DUMKE et al., 2023).*

*Por outro lado, as culturas de cobertura apresentam composição bioquímica e produção de biomassa variável, contribuindo de maneira diferente no teor de MOS. Nesse sentido, são necessários estudos que forneçam informações comparativas entre plantas de cobertura para poder orientar a escolha da espécie. Uma das formas de medir a MOS é através da quantificação do teor de carbono total do solo (WANG, WEIL & NAN, 2017). No entanto, essa medida varia pouco em curto prazo, o que levou muitos pesquisadores a voltarem as atenções para os reservatórios lábeis do carbono orgânico total (COT).*

*A fração lábil do COT é composta por moléculas de fácil decomposição e é responsável pela rápida liberação de nutrientes para as plantas (CULMAN, 2012). Essa fração é mais sensível às práticas de manejo, por causa da decomposição rápida, que ocorre geralmente dentro de semanas a meses (MAINI, SHARMA & SHARMA, 2020).*



*A medida quantitativa do C lábil pode ser usada para caracterizar a qualidade dos sistemas de cultivo em curto período, e dessa forma, pode servir como indicador de degradação do solo, ou de ganho de qualidade, em resposta às formas de manejo (MANDAL et al., 2011).*

## **OBJETIVOS**

*Nesse sentido, o objetivo com esse trabalho foi avaliar a labilidade do carbono em função do cultivo de plantas de cobertura cultivadas em pré-safra de milho através da medida do carbono oxidável em permanganato de potássio.*

## **MATERIAL E MÉTODOS**

*O experimento está instalado em campo, na área da FCAV-Unesp, Campus de Jaboticabal-SP, a 21°15'22" de latitude Sul e 48°16'43" de longitude Oeste.*

*O delineamento experimental é blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos são constituídos pelas seguintes plantas de cobertura, cultivadas em pré-safra a cultura do milho: feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), mucuna-cinza (*Mucuna cinerea*), milheto (*Pennisetum americanum*), crotalária-juncea e (*Crotalaria juncea*) e vegetação espontânea (pousio).*

*As plantas de cobertura foram semeadas no mês de setembro de 2022 e em janeiro de 2023 foram dessecadas. Após a dessecação das plantas de cobertura, ainda no mês de janeiro de 2023, foi feita a semeadura do milho em todos os tratamentos, sendo adotado o espaçamento entrelinhas de 0,9 m e entre plantas de 0,30 m.*

*A coleta das amostras de solo foi feita 60 dias após a dessecação das plantas de cobertura, nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, com auxílio de trado holandês. Foram coletadas dez amostras simples deformadas por parcela, nas entrelinhas da cultura do milho e, do total de subamostras, foi obtida uma amostra composta.*

*As amostras foram usadas para determinação de carbono oxidável em permanganato de potássio pelo método descrito por Weil et al. (2003).*

*Os teores de carbono oxidável em permanganato de potássio foram submetidos à análise de variância pelo teste F e a comparação dos efeitos das plantas de cobertura foi feita pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para a organização dos dados foi utilizado o software Excel 2010, e para as análises estatísticas o Agroestat (BARBOSA e MALDONADO JÚNIOR, 2015).*

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

*Houve efeito diferente das plantas de cobertura no teor de COxP nas profundidades avaliadas (Tabela 1). Na camada de 0 a 5 cm o cultivo de mucuna-cinza, milheto e crotalária-juncea resultaram em maior teor de COxP. No entanto, o cultivo de crotalária-juncea foi equivalente ao cultivo de feijão-de-porco e vegetação espontânea (Tabela 2). Na camada de 5 a 10 cm os valores foram semelhantes aos obtidos na camada anterior, porém o cultivo de crotalária-juncea deu melhor resultado que vegetação espontânea (Tabela 2). Na camada de 10-20 cm observa-se que os tratamentos mucuna-cinza, milheto, crotalária e feijão-de-porco foram semelhantes estatisticamente, mas os resultados com milheto e feijão-de-porco foram semelhantes aos obtidos com a vegetação espontânea. Na maior profundidade avaliada, 20-40 cm, apenas o milheto e a crotalária resultaram em maior teor de COxP (Tabela 2).*

*Tabela 1: Quadrados médios a ( $p < 0,05$ ) e ( $p < 0,01$ ) para os teores de carbono oxidável nas diferentes profundidades, Jaboticabal-SP, 2023.*

	Valores de QM e significâncias para COxP			
	0-5 cm	5- 10cm	10-20cm	20-40 cm
Tratamentos	50080,7 **	40939,9 **	18193,0* *	3236,45 **

\* e \*\*= significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade e, ns= não significativo pelo teste F

**Tabela 2: Carbono oxidável em permanganato de potássio (COx) em função do cultivo de plantas de cobertura em diferentes profundidades, Jaboticabal-SP,2023.**

TRATAMENTOS	COx ( g kg <sup>-1</sup> )			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
Mucuna-cinza	1027,25 a	815,50 a	663,00 a	442,00 bc
Milheto	1013,25 a	796,00 a	638,00 ab	513,50 ab
Crotalária-júncea	914,75 ab	768,75 ab	701,00 a	531,25 a
Feijão-de-porco	769,25 b	654,25 bc	587,50 ab	402,50 c
Vegetação espontânea	833,5 b	580,75 c	558,25 b	419,00 c
Media Geral	911,6	723,05	623,5	461,65
CV (%)	8,03	7,52	8,41	7,69
DMS (5%)	164,95	122,54	118,24	80,02

*Médias seguidas de letras minúscula na mesma coluna não diferem entre si ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste de Tukey.*

*Na camada de 0-5 cm os cultivos de mucuna e milho resultaram em ganho de 193,75 e 179,75 g kg<sup>-1</sup> de COxP, respectivamente, em relação a vegetação espontânea. Esse resultado não está diretamente relacionado com a entrada de resíduos na camada superficial, visto que a produção de matéria seca obtida foi de 2,23, 4,87, 5,12, 6,08 e 8,09 t ha<sup>-1</sup> para mucuna-cinza, vegetação espontânea, feijão-de-porco, crotalária e milho, respectivamente.*

*Esses resultados provavelmente se devem a variação na composição bioquímica de cada planta, que em parte fica refletida na relação C/N. A mucuna-cinza apresenta baixa relação C/N, em torno de 12/1 (SILVA, 2022) e, desta forma, apesar da baixa contribuição na entrada de resíduos, a quantidade que entrou foi suficiente para elevar o COxP em relação às outras espécies. Para o milho e a crotalária, a maior quantidade de resíduos produzida provavelmente compensou a maior relação C/N, o que resultou em valores similares ao da mucuna-cinza.*

*A relação C/N é inversamente proporcional à labilidade dos compostos presentes nos restos culturais (ACOSTA et al., 2014), ou seja, ela diminui à medida que a quantidade de moléculas mais simples como aminoácidos, proteínas e carboidratos aumenta. Desse modo, ocorre variação na relação C/N entre as partes da planta, sendo menor nas folhas em relação ao caule e às raízes, fato que pode ter contribuído para o milho resultar em valores de COxP altos, já que essa cultura produz grande quantidade de folhas.*

*Os valores significativos obtidos com crotalária e milho em relação aos outros tratamentos na camada de 20-40 cm, provavelmente se devem a maior profundidade do sistema radicular e maior renovação de raízes, com possibilidade de excreção de maior quantidade de exsudatos de baixo peso molecular como aminoácidos e açúcares (WALANDINO et al., 2005) nessa camada.*

## CONCLUSÃO

*A mucuna-cinza aumenta o teor de carbono oxidável na camada de 0 a 20 cm de profundidade.*

*O milho e a crotalária favorecem o aumento do carbono oxidável de 20 a 40 cm de profundidade.*

## REFERÊNCIAS

- ACOSTA, José Alan de Almeida et al. *Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto*. 2014. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014005000002>
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR, W. *AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos*. Jaboticabal, FCAV/UNESP. 396p, 2015.
- BAYER, Cimélio et al. *Armazenamento de matéria orgânica em um Acrissolo franco-arenoso afetado por sistemas de preparo do solo e cultivo no sul do Brasil*. *Pesquisa de solo e cultivo*, v. 54, n. 1-2, pág. 101-109, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00090-8](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00090-8)
- CULMAN, Steven W. et al. *O carbono oxidável do permanganato reflete uma fração processada do solo que é sensível ao manejo*. *Soil Science Society of America Journal*, v. 76, n. 2, pág. 494-504, 2012. <https://doi.org/10.2136/sssaj2011.0286>
- DUMKE, Gabriel Elias et al. **CRESCIMENTO DE PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO DE CICLO HIBERNAIS**. *ENCICLOPEDIA BIOSFERA*, v. 20, n. 44, p. 97-109, 2023.
- MAINI, Asima; SHARMA, Vivek; SHARMA, Sandeep. *Avaliação do carbono do solo e indicadores bioquímicos da qualidade do solo sob sistemas de uso da terra de sequeiro na região nordeste de Punjab, Índia*. *Gestão de Carbono*, v. 11, n. 2, pág. 169-182, 2020. <https://doi.org/10.1080/17583004.2020.1721976>
- MANDAL, Uttam Kumar et al. *Estimativa de carbono ativo oxidável por permanganato como indicador rápido para avaliar a qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso da terra em Argissolos de Sequeiro*. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, v. 81, n. 10, pág. 927-931, 2011. <https://www.researchgate.net/publication/287463659>
- WANG, Fang; WEIL, Ray R.; NAN, Xiongxiang. *Carbono orgânico total e oxidável por permanganato na zona de enraizamento do milho nos solos da Planície Costeira dos EUA, afetados por culturas de cobertura de rabanete forrageiro e fertilizante de N*. *Soil and Tillage Research*, v. 165, p. 247-257, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.08.022>
- WEIL, Ray R. et al. *Significado da matéria orgânica do solo para a qualidade e saúde do solo*. *Matéria orgânica do solo na agricultura sustentável*, p. 1-43, 2004.
- WILLADINO, Lilia et al. *Sistema vascular e exsudatos radiculares*. Michereff SJ, Andrade GT, Menezes M. *Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais*. Recife: Imprensa Universitária, p. 19-40, 2005.

*15. Teses de Doutorado e  
Dissertações de Mestrado em  
Agrometeorologia*

# PRODUÇÃO DE BIOMASSA E SUAS ANOMALIAS NOS BIOMAS DO SEALBA DETECTADAS POR SENSORIAMENTO REMOTO

Ana Flávia Maria Santos Azevedo <sup>1</sup>; Antônio Heriberto de Castro Teixeira <sup>2</sup>; Inajá Francisco de Souza <sup>2</sup>; Janice Freitas Leivas <sup>3</sup>; Celina Maki Takemura <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Discente, Mestrado PRORH. São Cristóvão, Sergipe. Universidade Federal de Sergipe; <sup>2</sup>Professor. São Cristóvão, Sergipe. Universidade Federal de Sergipe; <sup>3</sup>Presquisador. Campinas, São Paulo. Embrapa Territorial

## RESUMO

Parâmetros obtidos por sensoriamento remoto foram usados em conjunto com dados climáticos para caracterização das condições médias e detecção de anomalias na produção de biomassa (BIO), através de índices padronizados, considerando os anos 2018, 2019, 2020 e 2021 e os períodos históricos de 2007 até cada um desses anos, classificando-se os biomas Floresta Atlântica (FA) e Caatinga (CT), dentro da zona de crescimento agrícola na costa do Nordeste do Brasil, limitada pelos estados de Sergipe (SE), Alagoas (AL) e Bahia (BA), chamada SEALBA. Foram usados o algoritmo SAFER (Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving) e o modelo da RUE (Radiation Use Efficiency) de Monteith com imagens MODIS no período de 2007 a 2021. Com relação aos valores máximos da BIO, acima de  $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , tanto para FA como para CT, estes ocorrem no mês de agosto, logo após o período chuvoso, indicando as melhores condições de vigor da vegetação. As menores taxas da BIO ocorrem de janeiro a fevereiro, durante o período mais seco, com os valores médios abaixo de  $50$  e  $25 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  nos biomas FA e CT, respectivamente, indicando piores condições de umidade na zona das raízes. Das análises das anomalias, entre os anos de 2018 e 2021, os desvios das condições ótimas da BIO puderam ser identificados quando comparados com aquelas para os períodos históricos, com potencial para suporte, tanto na indicação de épocas de plantio para a agricultura de sequeiro, como na recomendação de irrigação suplementar para agricultura irrigada

**PALAVRAS-CHAVE:** SAFER; Floresta Atlântica; Caatinga,;

## INTRODUÇÃO

Nos cenários de mudanças climáticas e de uso da terra, o uso conjunto de sensoriamento remoto por satélites e dados climáticos são alternativas adequadas para o monitoramento das condições hídricas e da vegetação, dando suporte às políticas públicas para o manejo racional dos recursos naturais (Teixeira et al., 2020, 2021a, b). A compreensão dessas condições é crítica para restaurações ecológicas (Zhang e Zhang, 2019), demandando estudos em larga escala que orientem explorações sustentáveis desses recursos (Santos et al., 2020). Aplicações de imagens de satélites, com diferentes escalas temporais e espaciais, permitem a detecção de anomalias nas condições da produção de biomassa (BIO) para períodos específicos (Beguería et al. 2014; Bento et al. 2018; Gouveia et al. 2017; Zhang et al. 2019).

Índices padronizados para detecção de anomalias em larga escala têm sido geralmente baseados medições da evapotranspiração (ET) para estudos dos recursos hídricos (Kim e Rhee 2016; Vicente-Serrano et al. 2018). Por outro lado, o Índice da Diferença de Vegetação Normalizado (NDVI) vem sendo largamente usado para indicação dos níveis de umidade e cobertura do solo pela vegetação (Bento et al. 2018), o qual foi desenvolvido por Peters et al. (2002), para descrever a probabilidade de variação de um valor normal sobre um longo período de dados. Entretanto, para refletir o estresse hídrico na vegetação, os valores de NDVI apresentam atrasos nas respostas (Zhang et al. 2019). Além do NDVI, outros parâmetros, derivados de sensoriamento remoto são importantes, como a BIO, que é um indicador das condições da vegetação mais robusto (Teixeira et al. 2021a, b).

*Nos biomas costeiros da região Nordeste do Brasil, existem várias espécies vegetais que estão sofrendo impactos ambientais que afetam a BIO, como desflorestamentos; aquecimentos; poluições da água, do solo e do ar; e ainda da intensiva mudança de uso da terra (Lewinsohn e Prado, 2005), como é o caso do SEALBA, região de crescimento agrícola envolvendo os estados de Sergipe (SE), Alagoas (AL) e Bahia (BA). Essa região possui diferentes tipos de vegetação dos biomas Caatinga (CT) e Floresta Atlântica (FA) que estão sendo substituída por culturas agrícolas, demandando estudos em larga-escala para dar suporte aos consumos incrementais dos recursos naturais (RIBEIRO et al., 2009; Santos et al., 2014; Silva et al., 2017).*

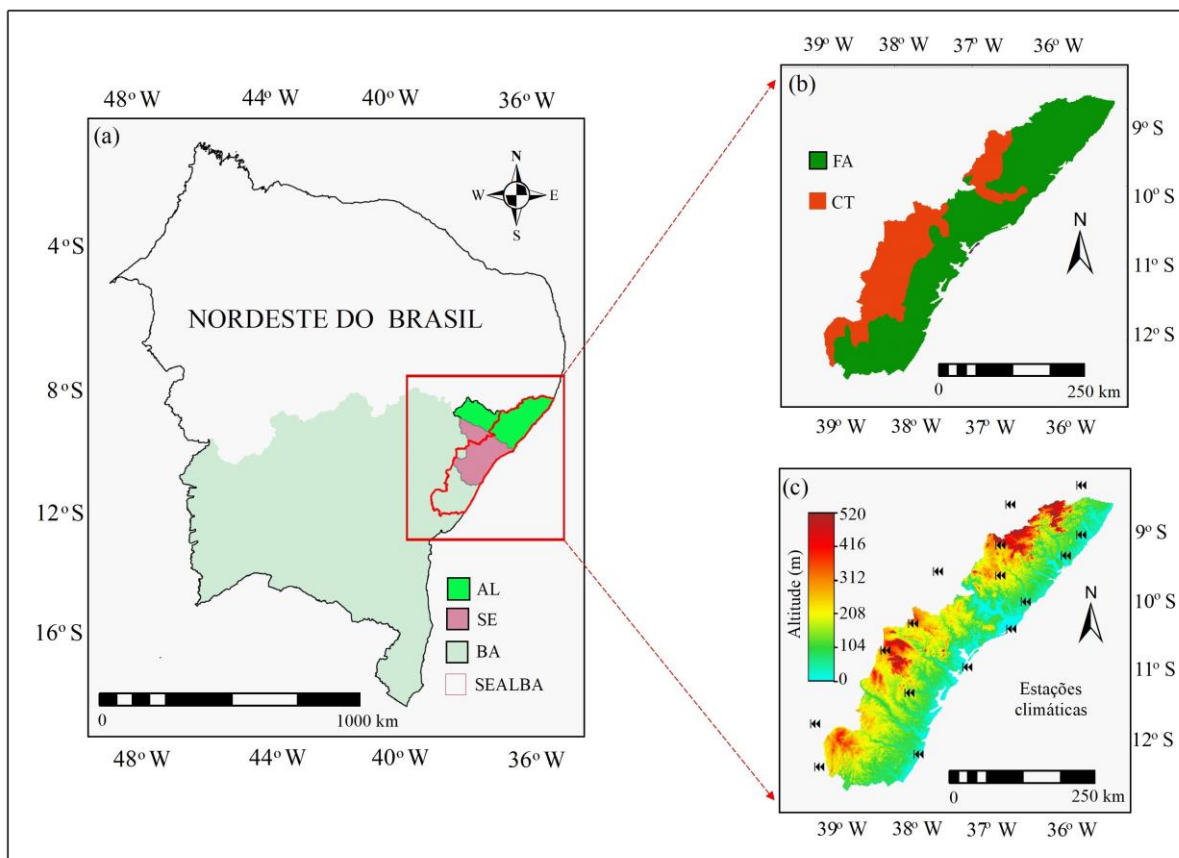
## **OBJETIVOS**

*Objetivando a implementação de um sistema de monitoramento para monitoramento da BIO em biomas com instabilidade climática e mudanças de uso da terra, tomando SEALBA como referência, testamos o uso de imagens de sensoriamento remoto com aplicação do algoritmo SAFER (Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving), desenvolvido por Teixeira (2010), com o RUE (Radiation Use Efficiency) de Monteith (1977) em conjunto com dados climáticos de 2007 a 2021, para determinação das condições médias e ao longo dos anos da vegetação. Além de caracterizações das condições médias da BIO, análises de suas anomalias para períodos específicos do ano foram realizadas e o sucesso dessas aplicações pode encorajar replicações dos métodos em outras condições ambientais usando simples calibrações nas equações de modelagem*

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### *Área de estudo*

*A Figura 1 mostra a localização do SEALBA no Nordeste do Brasil com seus limites nos estados de Sergipe - SE, Alagoas - AL e Bahia - BA (Fig. 1a); seus biomas Floresta Atlântica - FA e Caatinga - CT (Fig. 1b); e estações climáticas destacando-se as altitudes (Fig. 1c).*



**Figura 1:** Localização da região do SEALBA no Nordeste do Brasil envolvendo os estados de Sergipe - SE, Alagoas - AL e Bahia - BA (Fig. 1a); seus biomas Floresta Atlântica - FA e Caatinga - CT (Fig. 1b); e estações climáticas juntamente destacando-se as altitudes (Fig. 1c).

O bioma FA, com clima tropical úmido, é composto por florestas e ecossistemas associados às planícies costeiras (Ribeiro et al., 2009). As condições ambientais são influenciadas por massas de ar úmidas vindo do Oceano Atlântico, as quais elevam a temperatura e a umidade do ar, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano (Francisquini et al., 2020). O bioma CT compõe-se de árvores e arbustos com estruturas para resistência às condições ambientais inóspitas (Almagro et al. 2017), e as plantas apresentando resiliência quando em situações de estresse hídrico (Beuchle et al. 2015). A vegetação natural de ambos os biomas dentro do SEALBA vem sendo substituída por culturas agrícolas, como grãos, fruteiras, cana-de-açúcar, silvicultura e pastagem (Procópio et al. 2019).

Os dados climáticos de entrada para a modelagem da BIO foram provenientes de 16 estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), sendo a radiação solar global incidente ( $R_G$ ) e a temperatura do ar ( $T_a$ ), cobrindo toda a região do SEALBA, possibilitando a interpolação pelo método "movimento da média", no que resultou em pixels com a resolução das imagens de satélite. Esses dados foram usados em conjunto com o produto reflectância MOD13Q1, com resoluções temporal de 16 dias e espacial de 250 m, fornecendo 23 imagens compostas livres de nuvens ao longo do ano (Teixeira et al. 2020, 2021a).

#### Modelagem da produção de biomassa e suas anomalias

A Figura 2 apresenta o fluxograma para a modelagem da BIO e suas anomalias com aplicação do algoritmo SAFER e o modelo RUE. Obtiveram-se primeiramente os parâmetros de entrada por sensoriamento remoto, os quais são o Índice da Diferença de Vegetação Normalizado (NDVI), o

albedo da superfície ( $\alpha_0$ ) e a temperatura da superfície ( $T_0$ ), combinando-os com as grades de  $R_G$  e  $T_a$ .

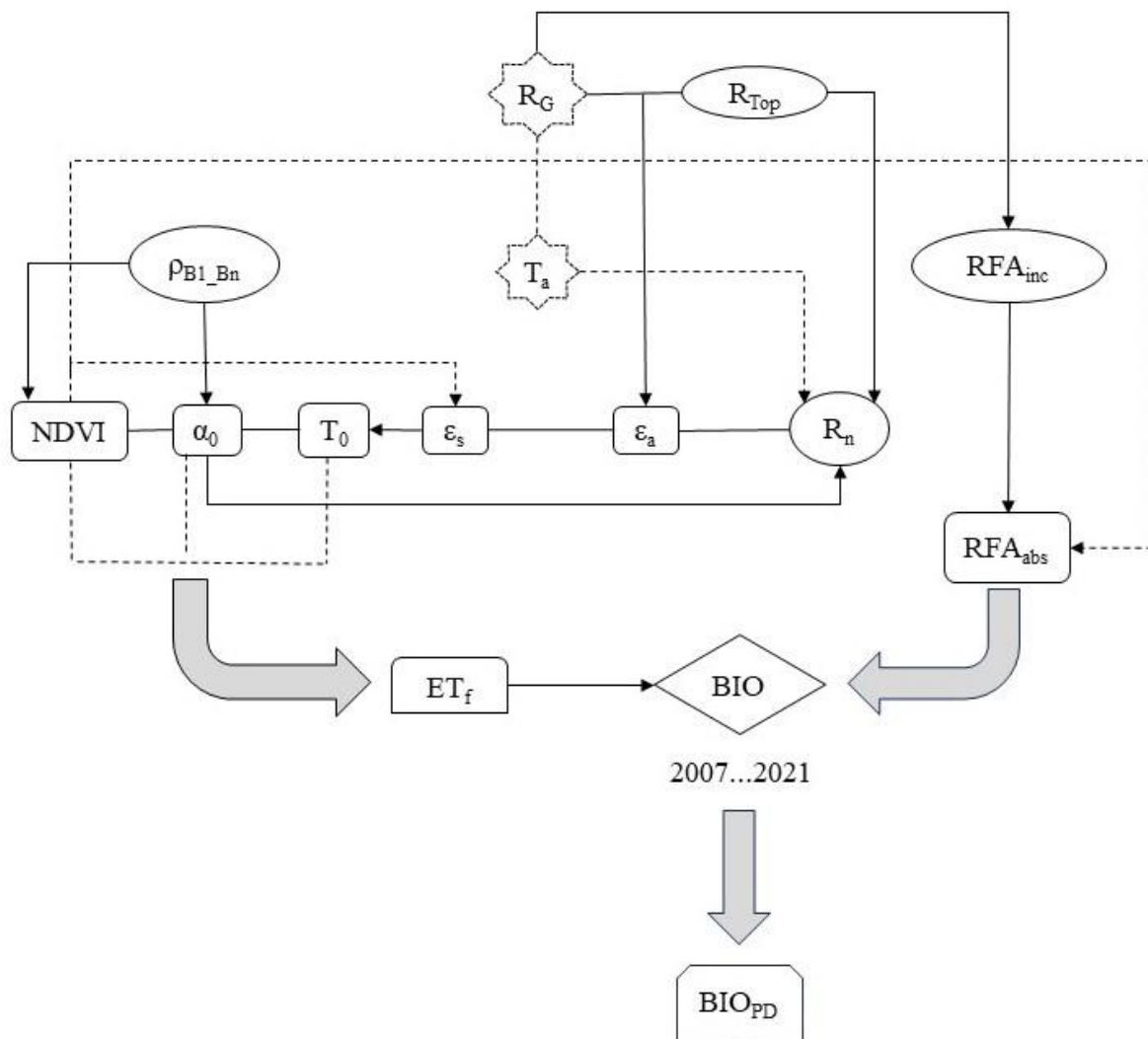


Figura 2: Fluxograma para obtenção da produção de biomassa (BIO) com aplicação conjunta do algoritmo SAFER e do modelo RUE com imagens MODIS com grades de radiação solar global incidente ( $R_G$ ) e temperatura média do ar ( $T_a$ ).

As equações e coeficientes de regressão das equações envolvidas na Figura 2 foram previamente obtidos na região Nordeste do Brasil com medições simultâneas em campo e por satélite, com a metodologia descrita detalhadamente em Teixeira (2010).

O NDVI foi calculado como:

$$NDVI = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

onde  $\rho_1$  e  $\rho_2$  são as reflectâncias nas bandas 1 (vermelho) e 2 (infravermelho próximo) provenientes do sensor MODIS.

O  $\alpha_0$  foi calculado como:



$$\alpha_0 = a + b\rho_1 + c\rho_2$$

onde  $a$ ,  $b$  e  $c$  são coeficientes de regressão 0,08, 0,41, e 0,14.

O saldo de radiação ( $R_n$ ) foi estimado pela equação de Slob:

$$R_n = (1 - \alpha_0) R_G - a_L \tau_{sw}$$

onde  $\tau_{sw}$  é a transmissividade atmosférica para comprimento de ondas curtas considerada como a razão entre  $R_G$  e a radiação incidente no topo da atmosfera ( $R_{TOP}$ ) sendo  $a_L$  um coeficiente de regressão em função de  $T_a$ .

A emissividade atmosférica ( $\varepsilon_A$ ) foi calculada por:

$$\varepsilon_A = a_A (\ln \tau_{sw})^{b_A}$$

onde  $a_A$  e  $b_A$  são os coeficientes de regressão 0,94 e 0,11, respectivamente.

A emissividade da superfície foi estimada como:

$$\varepsilon_0 = a_0 \ln NDVI + b_0$$

onde  $a_0$  e  $b_0$  são os coeficientes de regressão 0,06 e 1,00, respectivamente.

Pelo método residual  $T_0$  foi estimada pela lei de Stefan-Boltzmann:

$$T_0 = \frac{\sqrt[4]{R_G (1 - \alpha_0) + \sigma \varepsilon_A T_a^4 - R_n}}{\sigma \varepsilon_0}$$

onde é  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$  é a constante de Stefan-Boltzmann.

Para inserção das condições de umidade na zona das raízes no cálculo da BIO, a fração evapotranspirativa ( $ET_f$ ), i.e., a razão da evapotranspiração atual ( $ET$ ) para a de referência ( $ET_0$ ), foi modelada:

$$ET_f = \exp \left[ a_{sf} + b_{sf} \left( \frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] \left( \frac{ET_{ano}}{5} \right)$$

onde  $a_{sf}$  e  $b_{sf}$  são os coeficientes de regressão 1,80 e -0,008, respectivamente.

Para estimativa da radiação fotossinteticamente ativa incidente ( $RFA_{inc}$ ), esta foi considerada como uma fração de  $R_G$ :

$$RFA_{inc} = a_R R_G$$

onde o coeficiente de regressão  $a_R$  usado foi de 0,44.

Os valores da radiação fotossinteticamente ativa absorvida ( $RFA_{abs}$ ) foram calculados como:

$$NDVI = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

em que o fator  $f_{RAF}$  foi estimado do NDVI:

$$\alpha_0 = a + b\rho_1 + c\rho_2$$

onde  $a_F$  e  $b_F$  são coeficientes de regressão considerados como 1,257 e -0,161, respectivamente (Bastiaanssen e Ali, 2003).

A BIO foi então quantificada como:

$$R_n = (1 - \alpha_0) R_G - a_L \tau_{sw}$$

onde  $\varepsilon_{max}$  é eficiência máxima de uso da luz, a qual para a maioria das plantas C3 no SEALBA foi assumida como  $2,45 \text{ g MJ}^{-1}$ , e 0,864 é um fator de conversão.

Para determinação das anomalias na BIO, considerando os períodos anuais e de 16 dias do produto MODIS MOD13Q1, a equação do índice padronizado abaixo foi usada (Leivas et al., 2014; Teixeira et al., 2021a):

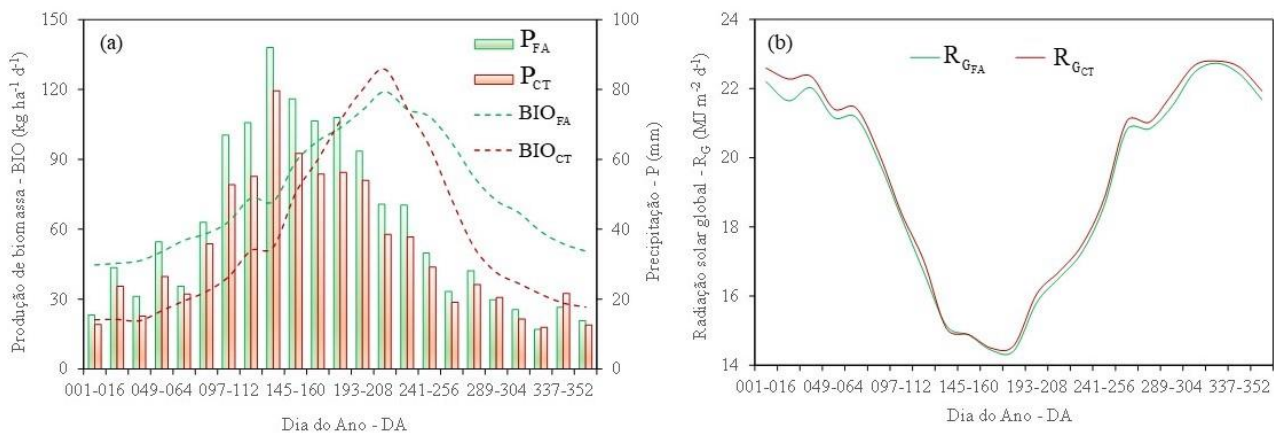
$$\varepsilon_A = a_A (\ln \tau_{sw})^{b_A}$$

onde  $BIO_{PD}$  é o índice padronizado,  $BIO_{med}$  é a média histórica (15 anos) e  $BIO_{DP}$  é o desvio padrão pixel a pixel.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Condições médias da produção de biomassa

Como para a BIO os parâmetros climáticos mais atuantes são a precipitação ( $P$ ) e a radiação solar global incidente ( $R_G$ ), a Figura 3 apresenta os valores médios desses três parâmetros nos biomas Floresta Atlântica (FA) e Caatinga (CT) dentro do SEALBA, na escala de 16 dias das imagens MODIS, para o período de 2007 a 2021, em termos de Dia do Ano (DA).



**Figura 3: Média dos pixels para produção de biomassa - BIO e precipitação - P (Fig. 2a) e radiação solar global - R<sub>G</sub> (Fig. 2b) nos biomas Floresta Atlântica (FA) e Caatinga (CT) dentro do SEALBA, na escala temporal de 16 dias das imagens MODIS para o período de 2007 a 2021, em termos de Dia do Ano (DA).**

Da Figura 3a, observa-se que as chuvas se concentram no meio do ano tanto para o bioma FA como para o bioma CT. Os maiores valores de P ocorrem de abril a julho (DA 097-208), quando os totais médios para 16 dias ficam acima de 60 mm em FA e maior que 50 mm em CT. Os valores inferiores de P, inferiores a 15 mm em ambos os biomas, são de novembro a janeiro (DA 305-016). Na escala anual, o total médio em CT, com 780 mm ano<sup>-1</sup>, é 83% daquele para FA (936 mm ano<sup>-1</sup>).

A R<sub>G</sub> apresenta uma tendência inversa à de P ao longo do ano (Fig. 3b). Seus limites superiores são no início (janeiro a março, DA 001-064) e no final do ano (novembro a dezembro, DA 305-336), com valores médios para 16 dias acima de 22,5 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> em ambos os biomas. Os inferiores acontecem no meio do ano de maio a julho (DA 145-192), quando estas são abaixo de 15,5 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. Entretanto, poucas diferenças existem nos valores de R<sub>G</sub> entre os biomas quando comparadas com P, sendo a média em FA 99% daquela para CT.

Pela Figura 3a, percebe-se que os maiores valores da BIO acontecem de junho (DA 177) a agosto (DA 240), com valores médios para 16 dias acima de 100 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> em ambos os biomas, após o período chuvoso. As menores taxas ocorrem no início do ano, de janeiro a fevereiro (DA 001-048), durante o período mais seco, quando ficam abaixo de 50 e 25 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> nos biomas FA e CT, respectivamente. Na escala anual, a BIO média em FA, com 75 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, é 32% superior à de CT, com o valor de 57 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> para este último bioma. Mesmo com taxas inferiores em CT, há um curto período de tempo, no final da estação chuvosa, de junho a agosto (DA 177-224), que os valores da BIO neste bioma superam aqueles para FA, mostrando uma maior resposta à disponibilidade de água das chuvas.

Comparando-se as Figuras 3a e 3b, percebe-se que a BIO, nos biomas FA e CT dentro do SEALBA, é mais influenciada pelas variações na quantidade de chuvas do que pelos níveis de radiação solar e que há um atraso em torno de dois meses nos valores máximos da BIO com relação a P, isto devido ao tempo que a umidade na zona das raízes leva para atingir os níveis ótimos para as plantas. Os maiores valores da BIO para o bioma FA são explicados pelo volume superior de chuvas, mas quando as condições hídricas não são limitantes, os valores mais elevados em CT se devem a uma maior energia disponível (Seneviratne et al., 2010).

Através de medições em campo de 2014 a 2015 no bioma CT, Silva et al. (2017) reportaram que as espécies naturais do bioma CT agem como fontes de carbono para a atmosfera durante os períodos mais secos, resultando em valores mais baixos da BIO, e como consumidoras de carbono na

estação chuvosa, resultando em valores maiores. Pereira et al. (2020) confirmam que em CT, as taxas da BIO decrescem sob condições de estresse hídrico, resultando em rápidas mudanças na dinâmica do carbono, pois essas condições afetam a fenologia, sazonalidade da condutância dos estômatos e fotossíntese. Rebello et al. (2020), usando imagens MODIS de 2012 a 2015, reportaram que o estresse hídrico impacta significativamente as taxas da BIO no bioma FA, seguido de uma forte recuperação com o início da estação chuvosa. Teixeira et al. (2020), aplicando o algoritmo SAFER em imagens MODIS, encontraram valores anuais da BIO de 47 a 93 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, para FA dentro da bacia do Rio São Francisco. Esses estudos prévios corroboram com os resultados apresentados na Figura 3a.

#### Anomalias na produção de biomassa

A Figura 4 apresenta as distribuições espaciais, médias e desvios padrões (DP) dos valores anuais da produção de biomassa - BIO (Fig. 3a) e para seu índice padronizado - PD (Fig. 3b), considerando as condições médias para os períodos de 2007 a 2018, 2007 a 2019, 2007 a 2020 e 2007 a 2021, nos biomas Floresta Atlântica (FA) e Caatinga (CT), dentro do SEALBA.

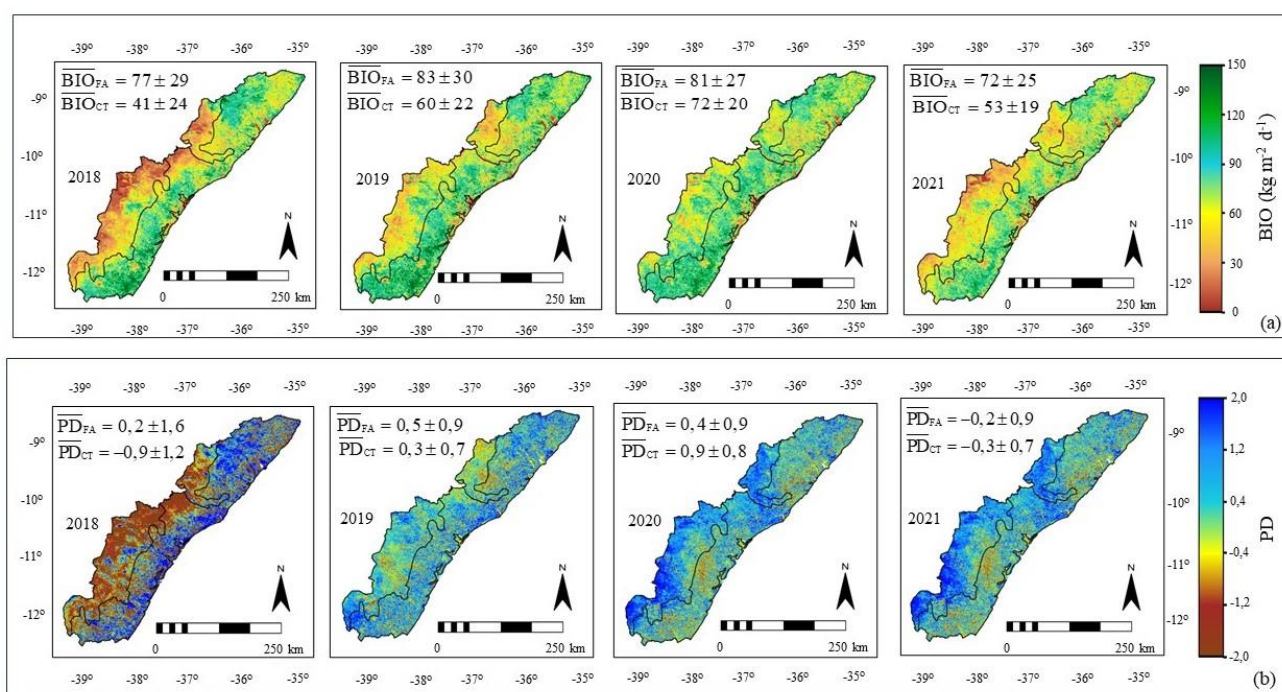


Figura 4. Distribuições espaciais, médias e desvios padrões dos valores anuais da produção de biomassa - BIO (Fig. 3a) e para seu índice padronizado - PD (Fig. 3b), considerando as condições médias para os períodos de 2007 a 2018, 2007 a 2019, 2007 a 2020 e 2007 a 2021, nos biomas Floresta Atlântica (FA) e Caatinga (CT), dentro do SEALBA.

De acordo com a Figura 4a, para todos os anos analisados (2018 a 2021), os valores da BIO para o bioma FA foram em torno de 13 a 88% maiores que aqueles para CT, sendo os mais elevados em 2020, quando a média para o SEALBA foi de 77 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. As menores taxas da BIO aconteceram em 2018, quando a média para a região foi de 59 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, enquanto as maiores, acima de 70 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> foram em 2019 e 2020, indicando que, em geral, com exceção do ano de 2018, a região apresentou boas condições para as culturas agrícolas sob dependência de chuvas, com valores médios anuais da BIO acima de 80 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> no bioma FA e maior que 70 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> no bioma CT, para o ano de 2020.

Os valores de PD para BIO apresentados na Figura 4b, permitem a identificação de quanto, durante os anos de 2018 a 2021, as condições da vegetação diferem das condições médias até cada

ano analisado (2007-2018, 2007-2019, 2007-2020 e 2007-2021), na escala anual (Leivas et al. 2014; Teixeira et al., 2021a). Valores elevados da PD indicam melhores condições de umidade na zona das raízes, enquanto baixos valores traduzem condições de estresse hídrico (Teixeira et al., 2021a). Os valores mais negativos aconteceram no ano de 2018 em CT, com a média de -0,9 indicando condições de vigor da vegetação abaixo da média histórica (2007-2018). Entretanto os valores positivos maiores foram também para CT, mas em 2020, quando a média de 0,9 indicou situações mais frequentes de condições da BIO acima das médias. Valores anuais positivos de PD, em ambos os biomas nos anos de 2019 e 2020, indicaram bons níveis de umidade na zona das raízes e de energia disponível, na região do SEALBA, com melhores condições para agricultura de sequeiro, quando comparadas com as condições históricas (Teixeira et al., 2021a).

De acordo com as médias dos pixels e desvios padrões, a Figura 5 mostra os valores máximos ( $max$ ), médios ( $med$ ) e mínimos ( $min$ ) do índice padronizado da produção de biomassa ( $BIO_{PD}$ ) para os biomas FA e CT dentro do SEALBA, na escala temporal de 16 dias das imagens MODIS, em termos de Dia do Ano (DA), considerando os períodos históricos de 2007-2018 (Fig. 5a), 2007-2019 (Fig. 5b), 2007-2020 (Fig. 5c) e 2007-2021 (Fig. 5d).

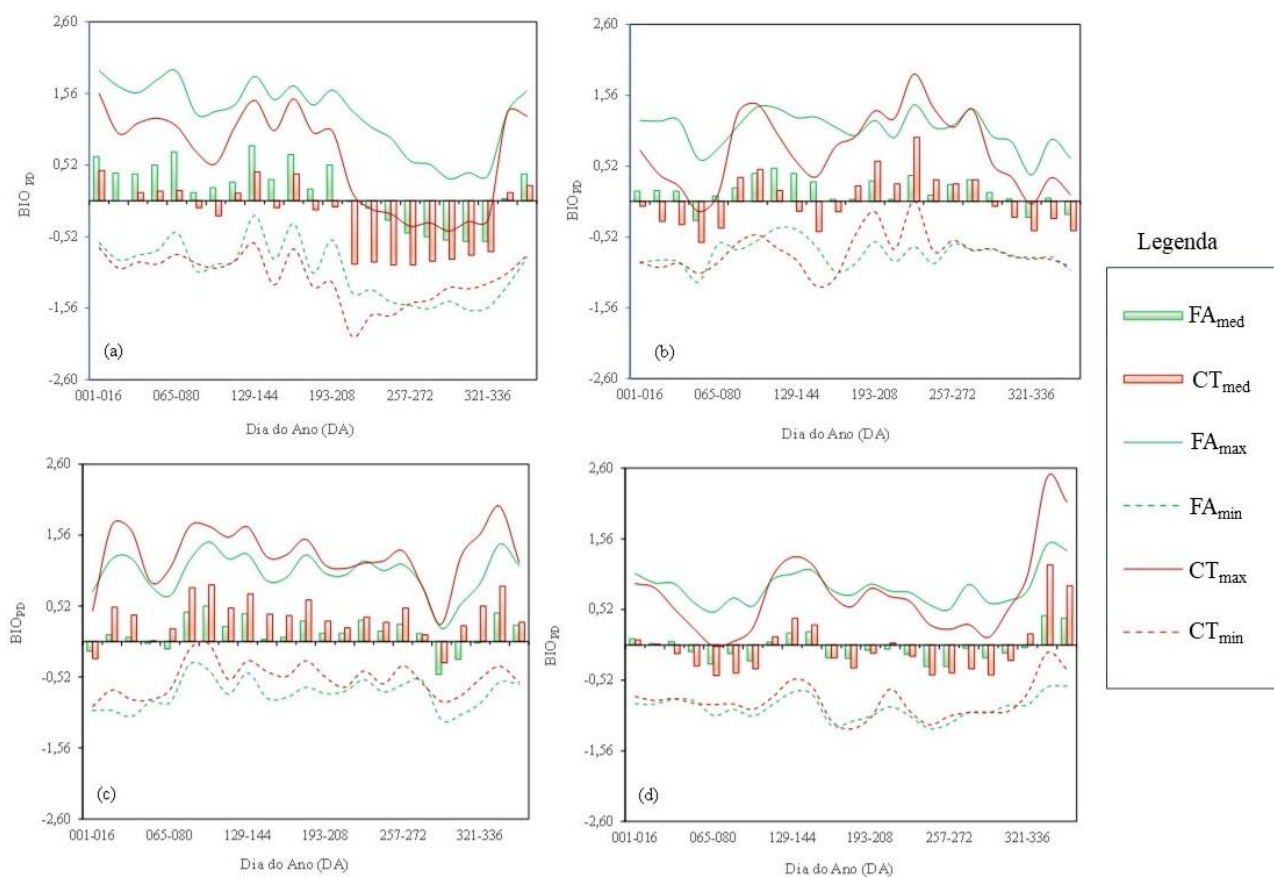


Figura 5. Valores máximos ( $max$ ), médios ( $med$ ) e mínimos ( $min$ ), para os índices padronizados da produção de biomassa ( $BIO_{PD}$ ), na escala temporal de 16 dias das imagens MODIS em termos de Dias do Ano (DA), para os biomas Floresta Atlântica (FA) e Caatinga (CT) dentro do SEALBA, considerando os períodos de 2007 a 2018 (Fig. 5a), 2007 a 2019 (Fig. 5b), 2007 a 2020 (Fig. 5c) e 2007 a 2021 (Fig. 5d).

Para o período 2007-2018 (Fig. 5a), os valores médios positivos de  $BIO_{PD}$  se concentraram de janeiro a junho (DA 001-176) e em dezembro (DA 337-365) em ambos os biomas ( $FA_{med}$  e  $CT_{med}$ ), significando elevados níveis de umidade na zona das raízes e de energia disponível neste período do ano de 2018, com relação às condições médias (2007 a 2018). Os valores máximos de  $BIO_{PD}$  para FA ( $FA_{max} = 0,80$ ) aconteceram em maio (DA 129-144), mas para CT estes foram no início

de janeiro (DJ 001-016), quando chegou ao limite superior de 0,44. Os valores mínimos de  $BIO_{PD}$  em FA aconteceram em novembro ( $FA_{min} = -0,59$ , DA 305-320), enquanto para CT estes foram de agosto para setembro ( $CT_{min} = -0,93$ , DA 241-272), indicando níveis da BIO abaixo das condições médias de 2007 a 2018.

Considerando o período de 2007 a 2019 (Fig. 5b), ocorreram valores positivos de  $BIO_{PD}$  para o bioma FA praticamente durante o ano todo de 2019, enquanto para CT estes se concentraram mais no segundo semestre. Os valores máximos para o bioma FA foram de abril a maio ( $FA_{max} = 0,49$ , DA 113-128), enquanto para CT estes aconteceram em agosto ( $CT_{max} = 1,78$ , DA 225-240), indicando melhores taxas da BIO quando comparadas com as condições médias de 2007 a 2019. Os valores inferiores de  $BIO_{PD}$  foram de fevereiro a março (DJ 049-064) em ambos os biomas, sendo  $FA_{min}$  de -0,28 e  $CT_{min}$  de -0,60. Estes últimos valores de  $BIO_{PD}$  evidenciaram taxas da BIO para 2019 bem inferiores às condições médias, o que pode ter impactado negativamente a agricultura de sequeiro nesse período do ano.

Analisando os valores de  $BIO_{PD}$  para 2020 (Fig. 5c), percebem-se poucas situações com valores negativos em ambos os biomas, FA e CT, significando melhores condições da BIO, quando comparados com os outros anos analisados, traduzindo melhores condições para a agricultura. Os valores máximos de PD em ambos os biomas foi em abril (DA 097-112) com  $FA_{max}$  e  $CT_{max}$  de 0,52 e 0,83, respectivamente. Com relação aos valores mínimos, estes aconteceram em ambos os biomas no mês de outubro (DA 289-304), com  $FA_{MIN}$  de -0,48 e  $CT_{MIN}$  de -0,31, retratando piores condições da BIO nesse período com relação às condições médias de 2007 a 2020, com potencial de impacto negativo para a agricultura de sequeiro.

Para o período 2007-2021 (Fig. 5d), a maioria dos valores de  $BIO_{PD}$  foram negativos, tanto para FA como para CT, mas com poucas ocasiões que foram positivos ao longo do ano de 2021, o que se traduz em condições ruins para a agricultura quando comparadas com as dos anos anteriores analisados. Os valores máximos de 0,43 e 1,18 para FA e CT, respectivamente, ocorreram em dezembro (DJ 337-352), indicando condições ótimas de vigor das plantas, com relação às condições médias de 2007 a 2021. Os valores mínimos para FA aconteceram de agosto a setembro (DA 241-272), com  $FA_{min}$  de -0,32, enquanto para CT estes foram em março (DA 065-080), períodos evidenciando condições de baixo vigor vegetativo com relação às condições médias.

## CONCLUSÃO

Foi confirmada a viabilidade da aplicação conjunta do algoritmo SAFER e do modelo RUE com imagens MODIS e dados climáticos na determinação da dinâmica da produção de biomassa (BIO) e de suas anomalias em larga escala com uma longa série de dados, na região de crescimento agrícola do SEALBA.

A BIO, nos biomas Floresta Atlântica e Caatinga é mais influenciada pelas variações na quantidade de chuvas do que pelos níveis de radiação solar, havendo um atraso em torno de dois meses nos seus valores máximos com relação as precipitações, devido ao tempo que a umidade na zona das raízes leva para atingir os níveis ótimos para as plantas. Os maiores valores da BIO para a Floresta Atlântica com relação à Caatinga são explicados pelo volume superior de chuvas, mas quando as condições hídricas não são limitantes, os valores mais elevados na Caatinga se devem a uma maior energia disponível.

Das análises das anomalias, entre os anos de 2008 e 2021, os desvios das condições ótimas da BIO puderam ser identificados quando comparados com aquelas para os períodos históricos, com potencial para suporte, tanto na indicação de épocas de plantio para a agricultura de sequeiro, como na recomendação de irrigação suplementar para agricultura irrigada. Tomou-se como

*referência a região do SEALBA, mas o sucesso das aplicações incentiva aplicações em outras condições ambientais.*

#### **AGRADECIMENTOS**

*À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo à mestranda, M. S. A. Ana Flávia e ao CNPq, pelo suporte financeiro ao projeto "Monitoramento dos balanços de energia, de água e de carbono com geotecnologias na região do SEALBA", Processo 311532/2021-7.*

#### **REFERÊNCIAS**

*Almagro, A.; Oliveira, P.T.S.; Nearing, M.A. Projected climate change impacts in rainfall erosivity over Brazil. Scientific Reports, v. 7, p. 8130, 2017.*

*Bastiaanssen, W.G.M.; Ali, S. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 94, p. 321-340, 2003.*

*Beguiría, S.; Vicente-Serrano, S.M.; Reig, F.; Latorre, B. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets, and drought monitoring. International Journal of Climatology, v. 34, p. 3001-3023, 2014.*

*Bento, V.A.; Gouveia, C.M.; DaCamara, C.C.; Trigo, I.F. A climatological assessment of drought impact on vegetation health index. Agricultural and Forest Meteorology, v. 259, p. 286-295, 2018.*

*Beuchle, R.; Grecchi R.C.; Shimabukuro, Y.E.; Seliger, R.; Eva, H.D.; Sano, E.; Achard, F. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. Applied Geography, v. 58, p. 116-127, 2015.*

*Francisquini, M.I.; Lorente, F.L.; Pessenda, L.C.R.; Junior, A.A.B.; Mayle F.E.; Cohen, M.C.L.; França, M.C.; Bendassolli, J.A.; Giannini, P.C.F.; Schiavo, J.A.; Macario, K. Cold and humid Atlantic Rainforest during the last glacial maximum, northern Espírito Santo state, southeastern Brazil. Quarterly Science Review, v. 244, p. 106489, 2020.*

*Gouveia, C.; Trigo, R.M.; Beguiría, S.; Vicente-Serrano, S.M. Drought impacts on vegetation activity in the Mediterranean region: an assessment using remote sensing data and multi-scale drought indicators. Global Planetary Change, v. 151, pp. 15-27, 2017.*

*Kim, D.; Rhee, J. A drought index based on actual evapotranspiration from the Bouchet hypothesis. Geophysical Research Letters, v. 43, p. 10277-10285, 2016.*

*Leivas, J.F.; Andrade, R.G.; Victoria, D. de C.; Torresan, F.E., Bolfe, E.L. Monitoramento da seca 2011/2012 no Nordeste Brasileiro a partir do satélite SPOT-Veg e Ta TiOn e TRMM. Engenharia na Agricultura, v. 22, p. 211-221, 2014.*

*Lewinsohn, T.M.; Prado, P.I. How many species are there in Brazil? Conservation Biology, v. 19, p. 619-624, 2005.*

*Monteith, J.L. Climate and efficiency of crop production in Britain. Philosophical Transactions of the Royal Society B, v. 281, p. 277-294, 1977.*

- Pereira, M.P. S.; Mendes, K.R.; Justino, F.J.; Couto, F.; Silva, A.S. da, Silva, D.F. da, Malhado, A.C.M. Brazilian dry forest (Caatinga) response to multiple ENSO: the role of Atlantic and Pacific Ocean. Science of the Total Environment, v. 705, 135717, 2020.*
- Peters, A.J.; Walter-Shea, E.A.; Ji, L.; Vina, A.; Hayes, M.; Svoboda, M.D. Drought monitoring with NDVI-based standardized vegetation index. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 68, p. 71-75, 2002.*
- Procopio, S. de O.; Cruz, M.A.S.; Almeida, M.R.M. de; Jesus Junior, L.A. de; Nogueira Junior, L.R.; Carvalho, H.W.L. de. Sealba: região de alto potencial agrícola no Nordeste brasileiro. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2019. (Embrapa Tabuleiros Costeiros, Documentos, 221).*
- Rebello, V.P.A., Getirana, A., Filho, O.C.R., Lakshmi, V. Spatiotemporal vegetation response to extreme droughts in eastern Brazil. Remote Sensing Applications: Society and Environment, v. 18, 100294, 2020.*
- Ribeiro, M.C.; Metzger, J.P.; Martensen, A.C.; Ponzoni, F.J.; Hirota, M.M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. Biological Conservation, v. 142, p. 1141-1153, 2009.*
- Santos, J.E.O.; Cunha, F.F.; Filgueiras, R.; Silva, G.H.; Teixeira, A.H. de C.; Silva, F.C.S.; Sedyama, G.C. Performance of SAFER evapotranspiration using missing meteorological data. Agricultural Water Management, v. 233, p. 1-8, 2020.*
- Santos, M.G.; Oliveira, M.T.; Figueiredo, K.V. Caatinga, the Brazilian dry tropical forest: can it tolerate climate changes? Theoretical and Experimental Plant Physiology, v. 26, p. 83-99, 2014.*
- SENEVIRATNE, S.I.; CORTI, T.; DAVIN, E.L.; HIRSCHI, M.; JAEGER, E.B.; LEHNER, I.; ORLOWSKY, B.; TEULING, A.J. Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. Earth Science Review, v. 99, p. 125-161, 2010.*
- Silva, P.F. da; Lima, J.R. de S.; Antonino, A.C.D.; Souza, R.; Souza, E.S. de; Silva, J.R.I.; Alves, E.M. Seasonal patterns of carbon dioxide, water, and energy fluxes over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. Journal of Arid Environments, v. 147, p. 71-82, 2017.*
- Teixeira, A.H. de C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated and natural vegetation in the São Francisco River basin (Brazil) using remote sensing and Penman-Monteith equation. Remote Sensing, v. 2, p. 1287-1319, 2010.*
- Teixeira, A.H. de C; Takemura, C.M.; Leivas J.F.; Pacheco, E.P.; Silva, G.B.; Garçon, E.A.M. Water productivity monitoring by using geotechnological tools in contrasting social and environmental conditions: Applications in the São Francisco River basin, Brazil. Remote Sensing Applications: Society and Environment, v. 18 p. 1- 9, 2020.*
- Teixeira, A.H. de C; Leivas J.F.; Pacheco, E.P.; Garçon, E.A.M.; Takemura, C.M. Biophysical characterization and monitoring large-Scale water and vegetation anomalies by remote sensing in the agricultural growing areas of the Brazilian semi-arid region. In: Pandey, P.C. e Sharma, L.K. (eds). Advances in remote sensing for natural resource monitoring. New Jersey: Wiley Online Library, 2021a, p. 94-109.*
- Teixeira, A.H. de C.; Pacheco, E.P.; Silva, C.O.F.; Dampieri, M.G.; Leivas, J.F. SAFER applications for water productivity assessments with aerial camera onboard a remotely piloted*



*aircraft (RPA). A rainfed corn study in Northeast Brazil. Remote Sensing Applications: Society and Environment, v. 22, p. 105514, 2021b.*

*Vicente-Serrano, S.M.; Miralles, D.G.; Domínguez-Castrom, F.; Azorin-Molina, C.; Kenawy, A.E.; McVicar, T.R.; Tomás-Burguera, M.; Beguería, S.; Maneta, M., Peña-Gallardo, M. Global assessment of the standardized evapotranspiration deficit index (SEDI) for drought analysis and monitoring. Journal of Climate, v. 31, p. 5371-5393, 2018.*

*ZHANG, L; QIAO, N.; HUANG, C.; WANG, S. Monitoring drought effects on vegetation productivity using satellite solar-induced chlorophyll fluorescence. Remote Sensing, v. 11, p. 1-18, 2019.*

*Zhang, X.; Zhang, B. The responses of natural vegetation dynamics to drought during the growing season across China. Journal of Hydrology, v. 574, p. 706-714, 2019.*

## **Avaliação do desempenho do modelo AquaCrop em sequeiro para o cultivo de leucena em ambiente semiárido**

**Sílvia Maria Dantas**<sup>1</sup>; **Vicente de Paulo da Silva Rodrigues**<sup>2</sup>; **Wendy Kaori Matsunaga**<sup>3</sup>; **Euclides Miranda da Silva**<sup>4</sup>; **Eliton Sancler Gomes Sales**<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Bolsista. Bloco CL - R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, 58429-900. Universidade Federal de Campina Grande; <sup>2</sup>Docente. Bloco CL - R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, 58429-900. Universidade Federal de Campina Grande; <sup>3</sup>bolsista. Bloco CL - R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, 58429-900. Universidade Federal de Campina Grande; <sup>4</sup>bolsista. Bloco CL - R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, 58429-900. Universidade Federal de Campina Grande; <sup>5</sup>bolsista. Bloco CL - R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, 58429-900. Universidade Federal de Campina Grande

### **RESUMO**

*A modelagem agrometeorológica é de suma importância nas projeções produtivas para definição de áreas e períodos de semeadura mais apropriados para as culturas, proporcionando ações mitigadoras em regiões com baixa precipitação pluviométrica. A presente pesquisa foi desenvolvida na Estação Experimental Professor Ignácio Salcedo, pertencente ao Instituto Nacional do Semiárido- INSA, localizada na zona rural de Campina Grande, estado da Paraíba, situado na mesorregião do Agreste Paraibano. Objetivou-se por meio desta pesquisa realizada com a cultura leucaena leucephala (Lam.) de Wit. a determinação da produtividade de biomassa (B) aplicando a modelagem com o software livre AquaCrop 6.1 desenvolvido pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), a calibração do software foi realizada por meio da entrada dos parâmetros conservativos e não conservativos para a região de estudo e a validação do desempenho do modelo para a densidade e produtividade da biomassa foi determinada utilizando indicadores estatísticos: Índice de concordância de Willmott (d); raiz do erro médio; raiz do erro quadrático médio normalizado; coeficiente de eficiência do modelo Nash-Sutcliffe e o erro de predição, utilizou-se os tratamentos com relação aos espaçamentos T1 (1,0 m x 1,0 m), T2 (1,0 m x 0,50 m) e T3 (1,5 m x 1,5 m) e a análise da média e do desvio padrão das medidas da análise morfométrica e para os períodos chuvoso e o seco*

**PALAVRAS-CHAVE:** Forragens; Agrometeorologia; Modelagem;;

### **INTRODUÇÃO**

*Ações mitigadoras em diferentes regiões do mundo utilizam-se da modelagem agrometeorológica principalmente no desenvolvimento da produção agrícola, como auxílio nas tomadas de decisões mediante interpretação dos resultados experimentais quando aplicados a modelos de culturas que podem ser úteis para diferentes finalidades (MONTEIRO, 2009).*

*A produção de forragens no Semiárido do Nordeste brasileiro destaca-se por apresentam qualidade e alto teor proteico. Nesse contexto, existem várias espécies de plantas forrageiras adaptadas às suas condições edafoclimáticas da região.*

*De acordo com Pompeu et al. (2015), a utilização de plantas leguminosas nativas, exóticas ou forrageiras adaptadas em bancos de proteína no Semiárido tem por finalidade a complementação alimentar na dieta do animal.*

*Segundo Jobim et al. (2007), para ocorrer a eficiência na produção da ração, a matéria prima utilizada precisa ser de boa qualidade. A influência estrutural dos vegetais está diretamente relacionada com a qualidade das forragens, pois é onde está contida a celulose e a lignina, assim como os nutrientes minerais (SILVA et al., 2005).*

*Contudo, tem que se levar em consideração a influência das características nas condições do solo, da luz, da temperatura e da água que estão diretamente ligadas aos processos de transferências no sistema solo-planta-atmosfera (MARIN, 2023).*

*A *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit pertencente à família Fabaceae, conhecida popularmente no Brasil como leucena, originária das Américas, encontrada em toda a região tropical com características próprias de resistência, foi introduzida nas ilhas do Caribe, no Havaí, na Austrália e em outros países do sudoeste da Ásia, em países da África e no Brasil (DRUMOND & RIBASKI, 2010).*

*Sendo a leucena uma das forrageiras mais promissoras implantadas na região do Semiárido, principalmente devido à alta capacidade de rebrota durante o período seco, pela adaptação às condições climáticas da região e pela excelente aceitação por parte dos animais (POMPEU et al., 2015).*

*A agricultura de sequeiro é definida como o cultivo sem irrigação em regiões onde a precipitação anual é inferior a 500 mm, requerendo para sua prática cultural a aplicação de técnicas de cultivo específicas para o uso eficaz e eficiente das condições edafoclimáticas da região (QUARATANA, 1999).*

*O clima da região do Semiárido tem como características: curta estação chuvosa no verão, com concentração das precipitações pluviais nos meses de dezembro e janeiro, e uma curta estação chuvosa no outono-inverno com concentração das precipitações pluviais nos meses de maio e junho com baixos índices pluviométricos variando em torno de 500 a 700 mm anuais (MOURA, 2007; GANEM, 2017).*

*Os fatores climáticos determinam a utilização de um modelo de simulação possibilita priorizar os investimentos adequados em regiões com maiores potenciais produtivos (SENTELHAS et al., 2017). Assim, a modelagem é definida como um plano, um padrão, uma representação ou descrição, composto por sistemas, elementos e processos.*

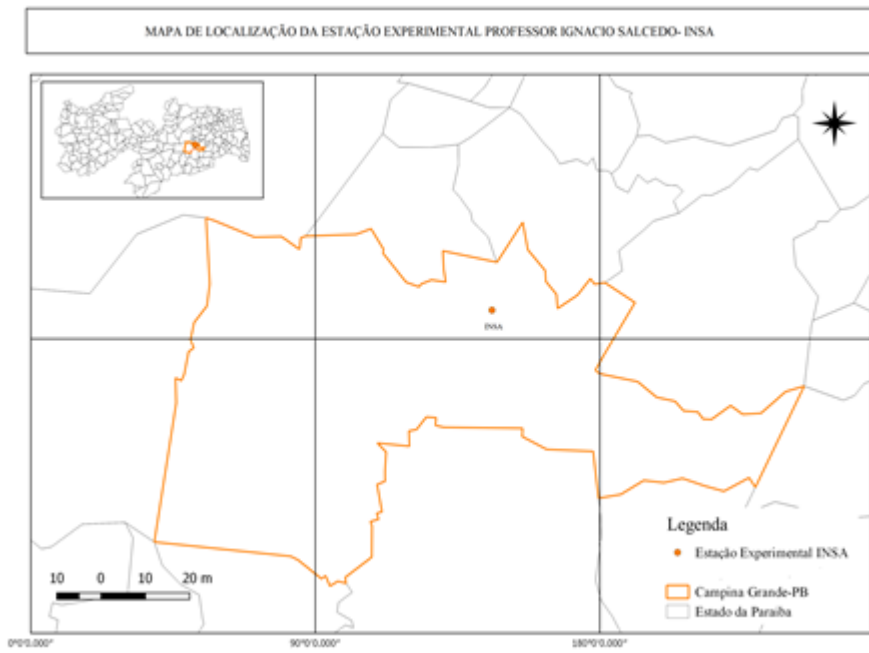
*A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) desenvolveu o modelo AquaCrop (FAO, 2009; Raes et al., 2009; Steduto et al., 2009) com o objetivo em obter uma previsão da produtividade mediante a necessidade e o uso de água na produtividade das culturas, sob condições limitantes de déficit hídrico e irrigação.*

## **OBJETIVOS**

*Objetivou-se por meio desta pesquisa realizar e analisar a viabilidade agrônômica por meio da calibração e validação do modelo AquaCrop para a cultura da Leucena (*Leucaena Leucocephala* (Lam.) de Wit) cultivada na região de clima Semiárido.*

## **MATERIAL E MÉTODOS**

*A pesquisa foi realizada na Estação Experimental Professor Ignácio Salcedo, pertencente ao Instituto Nacional do Semiárido- INSA, localizada na zona rural de Campina Grande, estado da Paraíba, situado na mesorregião do Agreste Paraibano, com latitude de 07°16'31" S e longitude de 35°58'07" O e 477 m de altitude (Figura 1).*



*Mapa de localização da estação experimental INSA*

*Figura1. Mapa de localização da estação experimental INSA*

*O procedimento para a coleta do solo foi realizado seguindo a metodologia descrita por Teixeira et al., (2017), Realizou-se três coletas e posteriormente reduzindo-se a uma amostra homogênea, a coleta das amostras solo foi a 0-30 cm de profundidade com auxílio de um trado, posteriormente acomodou-se as amostras em sacos plásticos onde foram homogeneizadas. As análises do solo realizadas foram química e de fertilidade que estão descritas na Tabela 1 e a análise física descrita na Tabela 2 realizadas no Laboratório de Ciência do Solo - UFPB, em Areia-PB.*

*Tabela 1. Análise química e de fertilidade do solo da estação experimental do INSA*

pH H <sub>2</sub>	5,1
P	5,42
S-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> mg/dm <sup>3</sup>	-
K <sup>+</sup>	98,02
Na <sup>+</sup>	0,12
H <sup>+</sup> +Al <sup>+3</sup>	3,22
Mg <sup>+2</sup>	1,87
SB	4,10
M.O. g/kg	8,00

*Tabela 2: Análise física da estação experimental do INSA*

Areia 2-0,05 Mm g/kg	778
----------------------	-----

Silte 0,005-0,002 Mn g/kg	118
Argila<0,002 mm	104
Argila Dispersa g/kg	-
Grau de flocculação Kg/dm <sup>3</sup>	-
Densidade de partículas g/cm <sup>3</sup>	-
Porosidade total m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	-
Umidade 0,01 0,03 1,5 Mpa g/kg	85 60 44
Classe Textural	Franco Arenosa

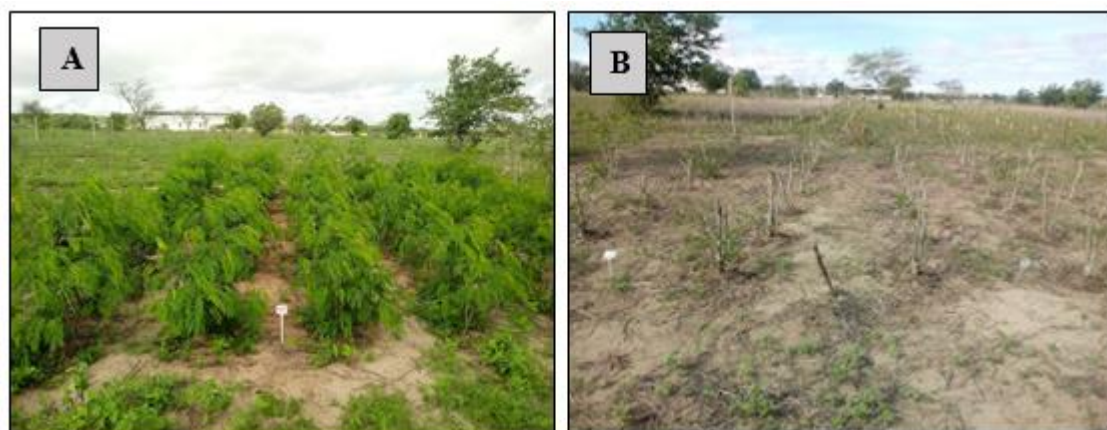
*A composição do solo indicou as reservas reais química, física e de fertilidade, onde o experimento foi conduzido sendo de extrema relevância. Os tratamentos culturais de manejo realizados foram o coroamento das covas, adubação utilizando o esterco bovino curtido entre os períodos chuvoso e seco.*

*O experimento foi instalado em três parcelas com dimensões de largura e comprimento 5 m x 5 m totalizando 25 m<sup>2</sup> a quantidade total de indivíduos para cada parcela e a descrição dos tratamentos T1, T2 e T3 estão descritos na Tabela 3.*

**Tabela 3. Dados descritivos do experimento**

Parcela	Bloco	Tratamento	Total de indivíduos
P1	Bloco I	T1 (1,0 m x 1,0 m)	37
P2	Bloco II	T2 (1,0 m x 0,50 m)	74
P3	Bloco III	T3 (1,5 m x 1,5 m)	28

*Para a obtenção dos dados utilizou-se uma área útil de 2 m<sup>2</sup> dentro de cada parcela, ocorrendo uma variação distinta no número de indivíduos, sendo o material coletado em campo através do corte a uma altura de 50 cm a superfície do solo (Figura 1A; B)*



**Figura 1: A parcela com leucena: (A) antes do corte; (B) parcela após o corte.**

A primeira avaliação foi realizada no mês de abril de 2019, dando início as observações do desenvolvimento das plantas e a segunda avaliação realizada no mês de dezembro de 2019. Para a obtenção dos dados utilizou-se uma área útil de 2 m<sup>2</sup> dentro de cada parcela, ocorrendo uma variação distinta no número de indivíduos, sendo o material coletado em campo obtido por meio de dois cortes (Figura 2), em ambos os cortes se mensurou as variáveis morfométricas. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade através do procedimento GLM (General Linear Model) e correlação através do programa PROC CORR do SAS® (2001) e a biomassa vegetal para a modelagem com o AquaCrop, através das seguintes variáveis coletadas:

- *Diâmetro (D) de caule à altura de corte: será determinado utilizando-se um paquímetro digital (0,50 cm);*
- *Dimensão da área foliar (DAF): medida de uma extremidade a outra, utilizando uma régua graduada;*
- *Altura de plantas (ALT): determinada através de medições utilizando-se régua graduada até o ápice.*



Figura 2: Coleta do material em campo

Foram realizadas as análises do solo química, fertilidade e física. Para a calibração do modelo AquaCrop inicialmente obtemos os dados climáticos de temperatura máxima e mínima (C°), umidade relativa máxima e mínima do ar (%), velocidade do vento (m/s) e radiação solar (W/m<sup>2</sup>) e a precipitação pluvial (mm) que foram utilizados para a determinação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>).

A evapotranspiração de referência foi calculada com base no software ETo calculator (versão 3.2, FAO), que utiliza o método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), como segue na equação 1:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Os dados de entrada para o cálculo de ETo foram disponibilizados pelo INMET, coletados na Estação Meteorológica Automática de Campina Grande, localizada na Embrapa Algodão. A versão utilizada para a realização das simulações do modelo AquaCrop foi a 6.1, por meio da calibração para a leucena foi simulado a produção da biomassa com relação aos espaçamentos entre as plantas (m<sup>2</sup>) e o desenvolvimento dos

estágios fenológicos da cultura, a cobertura do dossel, a produção da biomassa, o manejo do solo e as suas características.

A validação do modelo AquaCrop foi realizada mediante valores da produção de biomassa seca total em kg/ha através dos cortes realizados em campo, realizando um comparativo com o obtido em campo e o simulado pelo modelo AquaCrop. Os índices estatísticos que foram utilizados para avaliar a eficiência do modelo na produção de biomassa foram os seguintes:

O índice de concordância de Willmott (d) (1982):

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}{\sum \left( |S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}| \right)}$$

O índice de concordância de Willmott (d)

A raiz quadrada do erro médio (RMSE) (JACOVIDES & KONTOYIANNIS, 1995):

$$RMSE = \frac{1}{O} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}{N}} \times 100$$

A raiz quadrada do erro médio (RMSE)

A raiz do erro quadrático médio normalizado (NRMSE):

$$NRMSE = \frac{1}{O} \sqrt{\frac{\sum (S_i - O_i)^2}{n}} \times 100$$

A raiz do erro quadrático médio normalizado (NRMSE):

O coeficiente de eficiência do modelo Nash-Sutcliffe (NASH & SUTCLIFFE, 1970):

$$EF = 10 \frac{\sum (S_i - O_i)^2}{\sum (O_i - \bar{O})^2}$$

O Erro de predição:

$$PE = \sum (S_i - O_i) \times 100 / (\sum O_i)$$

Em que:

Pi: Valores simulados pelo AquaCrop;

Oi: Valores observados em campo;

O?: Média dos valores observados;

*Si e Oi: são valores simulados e observados;*

*?i : valor médio de O;*

*n<sub>o</sub>: Número de observações.*

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

*As variáveis climáticas, a calibração e validação do modelo AquaCrop para a leucena e as análises morfológicas estão apresentados a seguir:*

*A realização da mensuração dos dados de precipitação e de temperatura média para o período de estudo possibilitaram analisar a dinâmica de desenvolvimento da leucena, visto que o experimento é conduzido em sistema de sequeiro. Para o período referente ao primeiro ciclo no mês de abril de 2019 observou-se que a precipitação total de 85,6 mm e com temperatura média 24,8 °C.*

*Para o segundo ciclo realizado em dezembro de 2019 observou-se a precipitação total de 0,3 mm e a temperatura média 25,2 °C, de acordo com o NOAA (2023), caracterizado por baixas precipitações pluviométricas devido o as ações do El niño que ocorreu de 2018 a 2019.*

*Análise da média e do desvio padrão das medidas da morfometria estão demonstrados na (Tabela 4), a altura da planta (cm) no período chuvoso foi menor quando comparado ao período seco, sendo significativo ( $p < 0,05$ ), Segundo Drumond e Ribask (2010), trata-se de uma espécie de rápido crescimento, chegando a crescer até três metros de altura no primeiro ano, e com grande capacidade de regeneração (2001).*

*Para a área da copa a largura da planta não apresentou significância ( $p > 0,05$ ) para ambos os períodos. Para a análise relativa ao diâmetro do caule (cm) no período chuvoso variou e no período seco quando equiparada foi significativo ( $p < 0,05$ ), já com relação ao peso total da planta (g) para o período chuvoso e para o período seco apresentou significância ( $p < 0,05$ ) para ambos, de acordo com Sentelhas et al. (2016), afirmam que "a cultura cria seu próprio microclima, que resulta da interação das plantas com o macroclima. Mesma cultivar plantada em espaçamentos diferentes cria microclimas diferentes, que resultarão em problemas e manejos diferentes".*

**Tabela 4: Análise da média e do desvio padrão das medidas**

Tratamento	Altura da planta	Largura / planta	Diâmetro do Caule	Peso total da planta (g)
T1	1948,89 ±274,67a	0,93 ± 0,22a	21,15±4,8a	370,94±244,70a
T2	1681,33±338,62b	0,41±0,24b	13,64±3,66b	233,93±211,90a
T3	2088,33±387,20a	0,99±0,29a	19,40±6,21a	484,17±126,79a

*\*Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade*

*\*\* T1 (1,0 x1,0 m); T2(1,0x0,50 m); T3(1,5x1,0 m)*

*A calibração do modelo foi realizada para estimativa dos valores de biomassa (B) para os tratamentos T1 (1,0 x1,0 m), T2(1,0 x 0,50 m) e T3(1,5 x 1,0 m). Os resultados foram obtidos em campo e comparado com aqueles estimados através do AquaCrop.*

*A parametrização da modelagem foi realizada com os dados obtidos em campo durante o período experimental. A aproximação entre os valores observados e os estimados foram excelentes. Para o*



tratamento T1 (1,0 x1,0 m) o observado foi 4,0875 ton/ha<sup>-1</sup> e o simulado 4,046 ton/ha<sup>-1</sup>, o tratamento T2(1,0 x 0,5 0m) o observado foi 8,882 ton/ha<sup>-1</sup> e o simulado 8,810 ton/ha<sup>-1</sup> e o tratamento T3(1,5 x 1,0 m) o observado foi 6,124 ton/ha<sup>-1</sup> e o simulado 6,215 ton/ha<sup>-1</sup>.

A calibração para a leucena no AquaCrop foi realizada para cada tratamento com parâmetros conservativos e não conservativos do modelo conforme apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5. Parâmetros conservativos e não conservativos do AquaCrop**

Parâmetros conservativos	T1	T2	T3
Temperatura mínima basal °C	10	10	10
Temperatura máxima basal °C	30	30	30
Densidade de plantas (planta ha <sup>-1</sup> )	10.000	20.000	6.000
Recuperação do transplantio (dias)	7	7	7
Tempo do transplantio-senescência	239	239	239
Parâmetros não conservativos	T1	T2	T3
Cobertura máxima do dossel (CCx) (%)	14	11	15
Profundidade efetiva máxima das raízes (m)	4	4	4
Índice de colheita (%)	61	70	65

\* T1 (1,0 x1,0 m); T2(1,0x0,50 m); T3(1,5x1,0 m)

A validação do modelo para a leucena foi realizada comparando-se a biomassa total (ton/ha<sup>-1</sup>) e os valores observados em condições de campo e os simulados pelo AquaCrop para os tratamentos T1 (1,0 m x1,0 m), T2(1,0 m x 0,50 m) e T3(1,5 m x 1,0 m). O modelo apresentou valores com diferenças mínimas diante das condições em campo conforme é exibido na Tabela 6.

**Tabela 6. Valores observados e simulados de biomassa**

Tratamentos	Valores observados	Valores simulados	Diferença (%)
T1	4,088	4,046	4%
T2	8,882	8,810	7%
T3	6,124	6,215	9%

\*T1 (1,0 x1,0 m); T2(1,0x0,50 m); T3(1,5x1,0 m)

O desempenho do modelo é atestado através da aplicação da estatística para os tratamentos T1 (1,0 x1,0 m), T2(1,0 x 0,50 m) e T3(1,5 x 1,0 m) através dados analisando a biomassa total, constatou-se que a raiz do erro quadrado médio (RMSE) foi de 0,02618 e o erro de previsibilidade (Pe) 0,2845 sendo considerado bom, pois se aproxima de zero. A raiz do erro quadrado médio normalizado (NRMSE%) apresentou o seguinte resultado 0,42495 para a biomassa total, em uma simulação é considerada excelente quando apresenta (<10%) (FREITAS, 2018). O resultado para o coeficiente de eficiência do modelo de Nash-Sutcliffe (EF) resultou em 0,99975 sendo considerado um bom

*resultado com relação a biomassa. O valor encontrado na validação de acordo com o índice de Willmott (d) foi de 0,99994 próximo de 1, sendo considerado uma excelente concordância de ajuste entre os dados observados e os dados simulados para a leucena.*

*Em pesquisas realizadas com o AquaCrop para a cebola (MATSUNAGA, 2019) e para o tomate (FREITAS, 2018), na mesma região de estudo da pesquisa para a leucena, esses autores encontraram resultados que comprovam a eficiência do modelo através do uso das estatísticas apropriadas, ou seja, os resultados indicaram ótimo desempenho, com erros próximos a zero e índices de concordância em torno de um.*

## **CONCLUSÃO**

*A pesquisa concluiu que a calibração e validação do modelo AquaCrop para condições semiáridas foram satisfatórios sendo recomendado para implantação em bancos de proteínas o tratamento T2 (1,0 x 0,50 m) em que resultou a maior produção de biomassa entre o observado 8,882 ton/ha<sup>-1</sup> e o simulado 8,810 ton/ha<sup>-1</sup>.*

*Diante dos resultados agronomicamente a leucena é uma cultura com excelente desenvolvimento produtivo para a utilização na alimentação animal, porém recomenda-se a realização de podas constantes para evitar super população.*

## **AGRADECIMENTOS**

*O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).*

## **REFERÊNCIAS**

*ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56) 1998.*

*DRUMOND, M. A.; RIBASKI, J.. Leucena (Leucaena leucocephala): leguminosa de uso múltiplo para o semiárido brasileiro. 2010.*

*Food And Agriculture organization of the United Nations- FAO. 31ª sessão regional da reaf destacará impacto do acordo entre Mercosul e União Europeia sobre os pequenos produtores rurais. Disponível em:< <http://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1250671/>>: Acesso em: 25 de julho de 2023.*

*FREITAS, J. C. Calibração do modelo aquacrop e necessidades hídricas da cultura do tomateiro cultivada em condições tropicais. 119 f. Tese (Doutorado em Meteorologia), Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2017.*

*GANEM, R. S. Caatinga: Estratégias de Conservação. Estudo Técnico. Consultoria Legislativa, 2017.*

*JOBIM, C. C., NUSSIO, L. G., REIS, R. A., & SCHMIDT, P. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. Revista Brasileira de Zootecnia, 101-119, 2007.*

*MATSUNAGA, W. K., Evapotranspiração, coeficiente de cultivo e modelagem agrometeorológica da cebola cultivada no semiárido nordestino-Campina Grande, (dissertação*

*em Meteorologia), Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba 2019.*

**MOURA, M. S. B., GALVINCIO, J., BRITO, L. D. L., SOUZA, L. D., SÁ, I., SILVA, T. G. F.** *Clima e água de chuva no Semiárido. Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico, 2007.*

*National Centers for Environmental Information,NOOA. 2019. Disponível em:<  
<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthlyport/global/201913/supplemental/page-2>>Acesso em: 7 jan. 2023.*

**POMPEU, R., DE SOUZA, H. A., GUEDES, F. L.** *Opções e estabelecimento de plantas forrageiras cultivadas para o Semiárido Brasileiro. Sobral, Brazil: EMBRAPA Caprinos e Ovinos, 2015.*

**QUARANTA, G.** *Agricultura de sequeiro. Lucinda: Land Care in Desertification Affected Areas. 1999.*

**RAES, D., STEDUTO, P., HSIAO, T. C., & FERERES, E.** *AquaCrop - The FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description. Agronomy Journal, 101 (3), 438-447, 2009.*

*Sas Institute. SAS system for Windows. Cary: SAS Institute inc. 2001*

**SENTELHAS, A., Angelocci, L. R. (2016).** *Introdução à Meteorologia Agrícola. Universidade de São Paulo.*

**SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; SAKO, H.; ZENI, R.; RODRIGUES, L.A..** *Clima e produtividade da soja: variabilidade climática como fator controlador da produtividade. Boletim de Pesquisa Fundação MT, v. 1, p. 25-41, 2017.*

**SILVA, L. M., ALQUINI, Y., CAVALLET, V. J.** *Inter-relações entre a anatomia vegetal e a produção vegetal. Acta Botanica Brasilica, 19(1), 183-194, 2005.*

**STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; RAES, D.; FERERES, E.** *AquaCrop - The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. Agronomy Journal, v. 101, n. 3, p. 426-437, 2009.*

# INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA DE MODELOS agrícolas BASEADOS em Processos NO DESEMPENHO DA ASSIMILAÇÃO DE DADOS PARA A CANA DE AÇÚCAR

Izrael Martins Fattori Junior <sup>1</sup>; Fabio Ricardo Marin <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doutorando . Piracicaba/SP. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"; <sup>2</sup>Professor. Piracicaba/SP. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

## RESUMO

Os modelos agrícolas baseados em processo (MBP) são ferramentas importantes para descrever como o sistema agrícola responde às condições ambientais. A cana-de-açúcar representa uma importante fonte mundial de açúcar e etanol, os MBPs apresentam diferentes níveis de complexidade em termos de estrutura, ou seja, quão detalhados seus processos foram descritos. Além disso, a literatura tem demonstrado amplamente que as técnicas de assimilação de dados (DA) representam uma opção valiosa para reduzir a incerteza do modelo, entretanto, a inconsistência entre o MBP e a variável assimilada pode afetar significativamente o desempenho do DA. Tal limitação pode estar estritamente ligada à estrutura do modelo, e uma hipótese que surge da literatura é que o uso de modelos mais complexos reduziria a incerteza do modelo após a DA. Portanto, foi analisado o desempenho do uso de dois MBPs diferentes, um mais detalhado (DSSAT/SAMUCA, DS) e outro mais geral (WOFOST, WO), assimilando o índice de área foliar (IAF) obtido do Landsat 7 ETM+ e 8/OLI, usando o Ensemble Kalman Filter (EnKF). Ambos os MBPs foram calibrados e avaliados com um banco de dados robusto de 13 experimentos e testados em um banco de dados de usinas de açúcar para avaliar o desempenho do EnKF, comparado com simulações sem DA (Open-loop, OP). Além disso, os processos envolvidos nas simulações do IAF foram analisados para avaliar o desempenho do EnKF. O DS teve desempenho superior na etapa de calibração e avaliação com EF = 0,907, 0,878, 0,458 para massa seca de colmo, rendimento de colmo fresco (CF) e LAI, enquanto WO apresentou EF = 0,622, 0,610, 0,417 para as mesmas variáveis, respectivamente. A etapa de calibração afetou a simulação da parcela OP, com DS apresentando maior exatidão (RMSE = 31,678 Mg ha<sup>-1</sup>) e precisão (R<sup>2</sup> = 0,509), em comparação com WO (RMSE = 39,593 Mg ha<sup>-1</sup>; R<sup>2</sup> = 0,458). No entanto, após DA, ambos os MBP apresentaram inconsistência de erro com EnKF, apesar da queda no RMSE (-44,73% e -29,58%) e aumento no R<sup>2</sup> (22,15% e 36,50%) de DS e WO, respectivamente. A inconsistência de erro divergiu de cada PBM: a simulação OP de DS superestimou o Landsat LAI; após DA, IAF simulado diminuiu, resultando em subestimação do CF (viés = -11,469 Mg ha<sup>-1</sup>); WO mostrou simulações de OP para LAI mais próximas dos valores de LAI do Landsat, apesar do viés positivo na estimativa do CF, e assim EnKF reduziu ligeiramente a superestimação do CF (Bias = 22,944 Mg ha<sup>-1</sup>). Assim, as melhores descrições do SD em termos de estrutura não inibiram a inconsistência do erro. Sugerimos que novos estudos sejam necessários para entender como as variáveis assimiladas impactam nas demais variáveis de estado do MBP.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ensemble Kalman filter; DSSAT/SAMUCA; WOFOST; Landsat; Remote sensing

## INTRODUÇÃO

Process-based crop models (PBM) have been largely used for decision making and planning in agriculture, because of the capability of describing how the agricultural system responds to environmental conditions (Morell et al., 2016). The PBMs are capable of a variety of tasks, including yield forecasts in response to weather variables and the impacts of management changes. For that, the PBMs works mechanistically and attempts to explain the genotype × environment × management interactions (Wang et al., 2019). These models consist of organized algorithms that describe physical and biological processes that occur in crop growth and development, and so mimic the interactions among soil, plant, and atmosphere components (Jones et al., 2017). Studies with PBMs are important for advancing the scientific knowledge on crop ecophysiology and

*management and, when applied as a decision tool, might be able to support government and private agencies, food security policies, and planning (Curnel et al., 2011).*

*Sugarcane is a key crop because it represents a major world source of sugar and ethanol. Brazil has ca. 8.6 million ha planted with sugarcane, producing ca. 654 million metric tons (Mt) of harvested stalk fresh yield (CONAB 2022). Brazil is the world largest producing country, accounting for ca. 38% of global sugarcane production and 50% of global sugar exports (Marin et al. 2019a).*

*Different PBMs have been developed and evaluated for sugarcane across the world, and these models present different levels of complexity in terms of biophysical process representation in their code (Marin et al., 2015). For example, SAMUCA model (Marin and Jones, 2014; Marin et al., 2017) considers physiological processes such as biomass partitioning at phytomer level, canopy carbon assimilation using leaf assimilation rates, and carboxylation efficiency, and can simulate specific sugarcane traits like plant height, tiller population, sucrose accumulation, and stalk moisture. Furthermore, SAMUCA was recently updated and evaluated considering the effect of the green cane trash blanket effect, arising from management practice in Brazil (Vianna et al., 2020). On the other hand, the WOFOST (WO) (World Food Studies, de Wit et al. 2019) is a more generalist PBM, that can simulate different crops, with a reasonable description of photosynthesis, respiration, biomass partitioning, and soil water balance. The WO was adapted for sugarcane simulation (Hu et al., 2019; Scarpore, 2011; van Heemst, 1988), but without simulating specific traits of sugarcane growth and development.*

*Nevertheless, the mechanist principles of PBMs are only approximations of reality and require a substantial amount of input data and parameters to characterize the soil-plant-atmosphere and the management system, which are sometimes difficult to provide and may vary within the spatial and temporal domains (Manivasagam and Rozenstein, 2020; Marin et al., 2017). One way to reduce the uncertainty of PBM simulations is to insert real-time information by using a data assimilation algorithm (DA) (Huang et al., 2019). These DA methods can be classified into two groups: 1) the variational algorithms, which use all observations of a timestamp to update the model trajectory; 2) the sequential algorithms, which use only the corresponding time observation to estimate the new model state (Huang et al., 2019; Kang and Özdoğan, 2019). One sequential algorithm that has been widely used is the Ensemble Kalman Filter (EnKF) for crop yield estimation (Evensen, 2003; Ines et al., 2013; Pan et al., 2019). The EnKF was tested and outperformed other DA methods for sugarcane simulations using DSSAT/SAMUCA and WOFOST (Fattori Junior et al., 2022; Hu et al., 2019). Because EnKF is capable of counting with both model and observation error, due to the Bayesian approach and a Monte-Carlo realization of the PBM to estimate model error covariance (Wu et al., 2021). Thus, EnKF method assumes the model and observation errors had random white noise, with zero means (Ines et al., 2013).*

*However, due to the difficulties in model mechanists and the PBM parameterization, the application of PBM frequently includes the Bias (Yo - Ye) (Kang and Özdoğan, 2019), which neglects the assumptions of EnKF that can lead to systematic errors. One example of this is the error inconsistency between leaf area index (LAI) and yield, which happens when PBM simulates LAI values higher than the assimilated, and the open-loop (OP) simulated yield has negative Bias for yield. In these cases, after DA, it is likely that simulations would result in even higher yield underestimation due to the further LAI reduction (Kang and Özdoğan, 2019). That was partly demonstrated by Nearing et al. (2012), who showed that EnKF did not improve wheat yield estimation because of the low correlation between assimilated LAI and crop yield. The absence of prior PBM calibration can also result in error inconsistency, because the use of a set of cultivar-specific parameters cannot describe specific traits of other cultivars, such as higher potential yield and canopy properties (Fattori Junior et al., 2022; Kang and Özdoğan, 2019; Huang et al., 2021). Moreover, model errors related to crop phenology generally resulted in lower accuracy for yield*

*estimation with EnKF, because PBM with more general structures usually account for phenology phase to calculate crop development (e.g. biomass partitioning). In this regard, considering the LAI assimilation, the error in phenology might lead to inconsistency in the magnitude and the peak of the simulated and observed LAI (Curnel et al., 2011; Kang and Özdoğan, 2019).*

*In contrast, several studies showed improvements in yield estimation after DA. For instance, Yu et al. (2020) used a variant of the EnKF, the Ensemble Smoother, to assimilate sugarcane plant height with an adapted version of WO, finding an expressive improvement for both LAI and yield estimations. Moreover, Fattori Junior et al. (2022) used the EnKF to assimilate LAI with DSSAT/SAMUCA (DS), finding a reasonable improvement in yield estimation compared to the OP simulation. Part of the improvement was due to a more detailed description of plant physiology and soil water process within the model, which can benefit the simulation with the EnKF (Ines et al., 2013). Yet, such benefit was also related to the accuracy of the model without DA, demonstrating that models with high accuracy before DA usually improves the performance gain due to EnKF (Fattori Junior et al., 2022; Kang and Özdoğan, 2019). Moreover, due to a more detailed description of the plant development and growth, it is possible to update variables related to the assimilated variable (e.g. LAI, leaf weight and specific leaf area), and this might reduce the sensitivity of EnKF to model Bias (Ines et al., 2013; Kang and Özdoğan, 2019).*

*In this regard, Silvestro et al. (2017) compared two different PBMs [Aquacrop and Simple Algorithm for Yield (SAFY)] by assimilating LAI and canopy cover fraction for estimating wheat yield. They found the Aquacrop showing lower accuracy after DA due to a more detailed description of the crop physiology related to water stress. This, in turn, increased the difficulty of the model calibration, due to the larger number of parameters compared to SAFY. However, for each PBM, a different DA method was used, and so the results were not exclusively influenced by the different PBM structures. Therefore, it is still not clear how a more detailed description of the crop development could improve PBM simulation with DA methods and reduce the error inconsistency with EnKF.*

## **OBJETIVOS**

*To our knowledge, this is the first study to investigate how the PBM structure affected the performance of EnKF. We then aimed to assimilate sugarcane LAI data in two types of PBMs with structures highly different in terms of crop processes descriptions for estimating stalk fresh yield (SFY) and to analyze how those processes and the prior calibration level affected the DA methods performance. To fill this knowledge gap, we calibrated both models with a robust experimental database collected across several producing regions of Brazil and developed a framework to assimilate LAI retrieved from Landsat 7 ETM+ and 8/OLI into DS and WO models. We then used the EnKF and tested this framework using a large on-farm sugarmill dataset collected in the most important sugarcane producing region of Brazil. Moreover, we compared the PBMs in terms of their structures involved in the LAI calculation to understand the impact on DA performance.*

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### *Data for calibration & evaluation of OP simulations in controlled field experiments*

*In total, we used a dataset of 13 experiments conducted in a diversity of environments and used the cultivar RB867515, for calibrating (experiments 1-7) and evaluating (experiments 8-13) the PBMs (Tab. 1). All the experiments received adequate N, P, and K fertilization and regular weed and pest control and were planted using healthy cuttings with 13-15 buds m<sup>-2</sup>. Row spacing varied from 1.4 m to 1.5 m. Experiments 1-7 had tiller population (TILL), stalk height (SH), LAI, SFY, stalk dry mass (SDM), and sucrose content on a fresh cane basis (POL) obtained by regular sampling.*

*Experiments 8-13, had at last two of these variables sampling during the crop season. A full description of these experiments can be found in Marin et al. (2015) and Vianna et al., (2020).*

*Soil characteristics and management practices such as planting and harvesting dates, row spacing, mulch cover, and irrigation applications (mm d<sup>-1</sup>) on each site were prescribed to the model as input information. Also, for experiments 2, 4, and 6 (Tab. 1) a total of 12 Mg ha<sup>-1</sup> of green cane straw was considered for simulations. All other experiments were conducted under bare soil conditions. Other details of the experimental data can be found in Table 1.*

**Table 1. Description of experimental datasets used for model calibration and evaluation.**

Experiment Number	Location	Planting date	Harvest date	Planting	Weather <sup>?</sup>	Soil <sup>?</sup>	Water treatment	Reference
				Type				
1	Piracicaba/SP 22°41' S, 47°38'W, 560m	12/06/2012	10/15/2013	Plant	21.6 °C, 1230 mm, Cwa	Typic Hapludox Typic	Irrigated	Vianna et al. (2020)
2		10/15/2013	07/15/2014	1 <sup>st</sup> Ratoon*			Irrigated	
3		10/15/2013	07/15/2014	1 <sup>st</sup> Ratoon			Irrigated	
4		07/15/2014	06/08/2015	2 <sup>nd</sup> Ratoon*			Irrigated	
5		07/15/2014	06/08/2015	2 <sup>nd</sup> Ratoon			Irrigated	
6		06/08/2015	06/08/2016	3 <sup>rd</sup> Ratoon*			Irrigated	
7		06/08/2015	06/08/2016	3 <sup>rd</sup> Ratoon			Irrigated	
8	Aparecida do Taboado/MS 20°05S, 51°18'W, 335 m	07/01/2006	09/08/2007	Plant	23.5 °C, 1560 mm, Aw	Typic Hapludox Typic	Rainfed	
9	Colina/SP 20°25'S, 48°19'W, 590 m	02/10/2004	06/15/2005	Plant	22.8 °C, 1363 mm, Cwa	Typic Hapludox Typic	Rainfed	
10	Olimpia/SP 20°26'S, 48°32'W, 500 m	02/10/2004	06/15/2005	Plant	23.3 °C, 1349 mm, Cwa	Typic Hapludox Typic	Rainfed	Marin et al. (2015)
11	Coruripe/AL 10°07'S, 36°10'W, 16 m	08/16/2005	09/15/2006	Plant	21.6 °C, 1401 mm, As	Fragiudult Typic	Rainfed	
12	União/PI, 4°41'S, 42°52'W, 68 m	03/29/2007	06/16/2008	Plant	27 °C, 1500 mm, Aw	Oxisol	Irrigated	
13	União/PI, 4°41'S, 42°52'W, 68 m	03/29/2007	06/16/2008	Plant	27 °C, 1500 mm, Aw	Oxisol	Rainfed	

**? Respectively: mean annual temperature, annual total rainfall, Koepfen Classification.**

## ? U.S. Soil Taxonomy

\* With mulch cover

### Data for data assimilation evaluation

To evaluate the DA with EnKF in our study area, data from 32 plots were collected from a sugarcane mill database located in São Paulo state in Brazil, between the years 2012 to 2015, with an average size of 90,000 m<sup>2</sup>. All the plots were managed following the standard for the region and had only the same cultivar RB867515. Each plot was mechanically planted and harvested as a unit and received uniform management and inputs (e.g., fertilizer, pesticides). Only plots with plant-cane were used in this study to reduce the influence of management practices on the crop yield (Marin et al., 2019b, 2021). In that sugarcane mill, plots next to each other were planted and harvested together and then they are usually grouped in blocks in terms of management. We then followed the same approach and grouped the plot data into 7 blocks as described in Table 2. Therefore, all plots of a block had the same planting and harvest date and observed SFY. In this regard, the SFY was simulated for each plot, and to estimate the SFY for each block, the simulated SFY was weighed by area of each plot. The following data were collected from each plot: localization, size, planting date, harvest date, soil classification, and SFY at harvest. The weather data [maximum and minimum air temperature (°C), rainfall (mm), solar radiation (MJ m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>) and relative humidity (%)] were collected daily from a weather station installed close to the blocks.

Table 2. Description of block datasets used for data assimilation evaluation.

Blocks	Planting date	Harvest date	Soil Classification <sup>‡</sup>	Number of plots
1	07/15/2012	12/05/2013	Argissolo Vermelho (Ultisol)	5
2	08/15/2013	09/13/2014	Latossolo Vermelho (Typic Hapludox)	4
3	08/15/2013	09/07/2014	Latossolo Vermelho (Typic Hapludox)	6
4	08/15/2013	09/13/2014	Latossolo Vermelho (Typic Hapludox)	2
5	08/15/2013	09/18/2014	Latossolo Vermelho (Typic Hapludox)	5
6	09/15/2014	07/24/2015	Argissolo Vermelho (Ultisol)	1
7	09/15/2014	12/05/2015	Latossolo Vermelho (Typic Hapludox)	9

<sup>‡</sup> Soil Classification by Brazilian Soil Classification System (Embrapa, 1999) and their nearest U.S. Soil Taxonomy equivalent (in brackets).

### Satellite image pre-processing

For this study, we used remote sensing data to retrieve LAI as observed data for DA, for real applications with PBM this is the most used source of information. Furthermore, it can provide information during all crop seasons, and reduce the interference of low amounts of data. Thus, the LAI retrieved from Landsat 7 ETM+ and 8/OLI were used as observed data to assimilate into WO and DS models. Both sensors had a spatial resolution of 30m and a revisit frequency of 16-day. The surface reflectance data were obtained by the Google Earth Engine (GEE) (Gorelick et al., 2017). where the images were atmospheric corrected. We used cloud/shadow masks available in eemont, a python package developed by Montero (2021). Also, to eliminate the border effect on plots we applied a buffer on the vector layer to extract pixel values.



*The LAI was obtained based on the normalized difference vegetation index (NDVI), calculated with the surface reflectance of Landsat 7 ETM+ and 8/OLI, following the relationship proposed by Xavier and Vettorazzi (2004). The relationship between LAI and NDVI was based on different surface vegetations, but 68% of the data were from sugarcane vegetated surfaces. Thus, for different months of the year, a different equation was obtained (January, March, August, November), being all significant at 1% level ( $p < 0.01$ ),  $R^2$  ranging between 0.54 and 0.74, and the standard error between 0.38 and 0.67. Therefore, for each plot, during the growing season (plant to harvest), an NDVI time series was obtained. Also, the NDVI time series were filtered by the Saviky-Golay method, to reduce the noise caused by the sensor error and atmospheric perturbation (Kang and Özdo?an, 2019; Zhao et al., 2013), after that, the LAI time series were calculated for each plot. The LAI time series was used to represent the observation for the DA with EnKF. Based on the results of Xavier and Vettorazzi (2004) and Abebe et al., (2022a) for the LAI retrieved from remote sensing we considered an error of 30%, for DA with EnKF.*

#### **Brief description of DSSAT/SAMUCA**

*The SAMUCA model is a PBM firstly developed by Marin and Jones (2014), which is capable to simulate the growth and development of sugarcane crop, implementing an algorithm to describe processes related to phenology, canopy development, tillering, biomass accumulation, root growth, and water stress (Marin et al., 2017). Vianna et al. (2020) improved the SAMUCA model by including recent scientific findings on sugarcane growth at phytomer level, canopy assimilation, and tillering. In this new version, the model was adapted to operate the one-dimensional "tipping bucket" soil water balance and to incorporate the soil temperature to account for the trash blanket effect on sugarcane growth and water use. This presented a superior performance compared with the previous version and was comparable to other widely used PBMs for sugarcane. For this study, we used the SAMUCA model incorporated into the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) platform version 4.8 (Jones et al., 2003; Hoogenboom et al., 2019; Vianna et al., 2020), namely DSSAT/SAMUCA (DS).*

#### **Brief description of WOFOST**

*The WOFOST (WO) model was developed by Wageningen University, the Netherlands, and it was used in this study due to its extensive application and evaluation (Abebe et al., 2022a). The WO model is a mechanistic PBM, which simulates crop growth as a function of solar radiation, temperature and crop properties (Wang et al., 2013). The basis of the simulation is the physiological and ecological progress of crops which includes light interception, CO<sub>2</sub> assimilation, respiration, transpiration, phenological development, dry matter accumulation, and partitioning to various organs (Ma et al., 2013). Recently, the WO model was incorporated within the Python Crop Simulation Environment (PCSE) (de Wit et al., 2019). In this study, we implemented DA with the WO model using PCSE, parametrized for sugarcane. The WO is not a simplistic crop model such as SAFY, but rather a generalist PBM that can be adapted for different crops. Thus, WO version used here was not able to simulate specific traits of sugarcane, such as tiller population, plant height, sucrose content, and stem moisture, which are important to define the sugarcane yield. We used the parameters collected and calibrated by Scarpare (2011), for a few Brazilian sugarcane cultivars, as standard for our study.*

#### **Calibration process**

*The models were calibrated for cultivar RB867515 using the experiments (1-7) present in Tab. 1. The method used for calibration was the Generalized Likelihood Uncertainty Estimation (GLUE). We used the calibration process described by Marin et al. (2011), Li et al. (2018) and Pereira et al. (2021). The measured data, during the crop season, collected between the experiments in Table 1 were SDM, SFY, LAI, SH, TILL, and POL. For DS all variables were used for performing the*

*GLUE*, for the *WO* model, we only used the *SDM*, *SFY* and *LAI* to calibrate the model, because the *WO* cannot simulate the other variables. The parameters result in the calibration step were present in Table S1.

### Description of data assimilation procedure

The sequential DA method, *EnKF*, was used in this study to assimilate *LAI* derived from Landsat 7 *ETM+* and 8/*OLI*. To evaluate the improvements of the *EnKF* in the model's simulations, the results were compared to the simulation without DA, called open-loop (*OP*). The *EnKF* algorithm is described below. To implement the *EnKF* with *DS*, the model was adapted to read an input file with a new estimated vector of state variables at any time. Yet, when new *LAI* values were assimilated by *DS*, the leaf area and dry weight were also updated at phytomer and block level to ensure the consistency of canopy representation. The version of *WFOST* used in this study, inserted in *PCSE*, is more flexible to be adapted with *EnKF*. As follows, the simulations can be paused at any time and update the new state variable. For both models, a Python script was developed to read a control file, with each block description, create the input file for model simulation, run the model and pause any time to perform the *EnKF* and estimate the new *LAI* values, and finally reinitialize the model and read the outputs. The *WO* model cannot simulate the *SFY*, and so we used the relation between *SDM* and *SFY* available in the experiments showed in Table 5 to transform the simulated *SDM* in *SFY* during the crop cycle (Fig. 1).

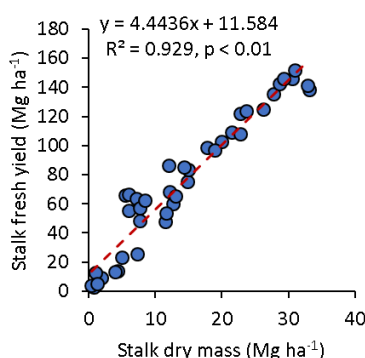


Figure 1. The relationship between sugarcane stalk fresh yield and corresponding stalk dry mass of experiments in Table 1.

### Ensemble Kalman filter method

The *EnKF* employs an analytic solution based on two related sources of information, in this case: *PBM*s outputs and plot observations. These are synthesized to provide a better estimation, with lower variance. In *EnKF*, the observed data were perturbed with the Monte Carlo approach to generate an ensemble, based on the data uncertainty represented by the variance. Because, the observations needed to be treated as random variables and it is commonly assumed that observation errors have a Gaussian distribution (Zhuo et al., 2019). The *PBM* uncertainties are accounted for by the model ensemble. There are two methods to generate the ensemble members (Zhuo et al., 2019): the first method adds a Gaussian perturbation to the *PBM* state variables output. The second, add a Gaussian perturbation to the model input parameters. In this study, we used the second method to generate the ensemble members. Thus, to select the most sensitive parameters to *LAI*, for the *DS* we used the parameters selected by Fattori Junior et al., (2022), which were *MAXGL* (maximum number of green leaves a tiller can hold), *MLA* (maximum leaf area), *PLASTOCHRON* (thermal time required for the appearance of one new phytomer), *INIT\_LF\_AREA* (initial leaf area of first appeared leaf), and *MID\_TT\_LF\_GRO* (thermal time where leaves can achieve half of its maximum biomass). For the *WO* we used the parameters that show higher influence in *LAI*, as reported by Hu et al., (2019) and Scarpare (2011). The

parameters selected were TSUMEA (temperature from emergence to anthesis), RGR\_LAI (maximum relative increase in LAI), TBASE (lower threshold temperature for aging of leaves), EFF (light-use efficiency for real leaf) and CVL (efficiency of conversion into leaves). These parameters were then perturbed to generate an ensemble (40 members), with a gaussian distribution and an uncertainty level of 10% before the simulation started, as recommended by Ines et al. (2013) and Curnel et al. (2011) to optimize the time of the simulation and model accuracy.

### Data analysis

The performance of the calibration step was evaluated using the following statistical indices: root mean squared error (RMSE), determination index (R<sup>2</sup>), Nash-Sutcliff model efficiency (EF), model Bias (Bias) and Willmot accuracy index (d) (Willmot et al., 2012). Secondly, for the evaluation step with sugarmill plots, we only compared the SFY at the end of the cycle, simulated and observed. Thus, we used the RMSE, EF, R<sup>2</sup> and Bias to compare simulations and observations at block level, for the two models and two methods (OP and EnKF).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### RESULTADOS E DISCUSSÃO / RESULTS AND DISCUSSION

#### Calibration results

Considering the experiments used for calibration (Tab. 3), the DS outperformed WO, simulating SDM, SFY, and LAI, with an EF = 0.907, 0.878, and 0.458 for DS and 0.622, 0.610 and 0.417 for WO, respectively (Tab. 3). The accuracy of DS was higher than WO for SDM, SFY, and LAI; Regarding the LAI, WO had RMSE = 0.981 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup> and DS, RMSE = 0.946 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>. For SDM and SFY, WO had RMSE = 6.442 and 24.845 Mg ha<sup>-1</sup> and, for DS, RMSE = 3.198 and 16.964 Mg ha<sup>-1</sup> (Tab. 3). Furthermore, WO had good precision and accuracy for simulating SDM and SFY, with R<sup>2</sup> > 0.87 and d > 0.90; LAI presented a lower precision and accuracy with R<sup>2</sup> = 0.535 and d = 0.850 (Tab. 3). DS had similar performance results, with SDM and SFY showing R<sup>2</sup> > 0.92 and d > 0.96, as well as for LAI, with R<sup>2</sup> = 0.645 and d = 0.867 (Tab. 3). The DS underestimated SDM, SFY, and LAI, with Bias = -1.313 Mg ha<sup>-1</sup>, -9.837 Mg ha<sup>-1</sup>, and -0.456 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>, respectively, while WO had positive Bias for SDM and SFY (5.358 Mg ha<sup>-1</sup>, 24.845 Mg ha<sup>-1</sup>), and negative for LAI (-0.157 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) (Tab. 3).

The sucrose content in the stalk (POL) is a variable only simulated by DS, for which the model had an acceptable precision (R<sup>2</sup> = 0.767; d = 0.920; EF = 0.638) and accuracy (RMSE = 1.262 % [fresh]) (Tab. 3). The SH had a higher precision compared to LAI and TILL (R<sup>2</sup> = 0.925; d = 0.853; EF = 0.618) and had RMSE = 0.530 m (Tab. 3). The TILL had lower performance compared to other variables, except for LAI (R<sup>2</sup> = 0.667; d = 0.829; EF = 0.545; RMSE = 3.392 # m<sup>-2</sup>) (Tab. 3). The SH and TILL presented a negative Bias (-0.331 m; -1.551 # m<sup>-2</sup>) and POL was the only variable in the calibration step that had a positive Bias (0.544 % [fresh]) (Tab. 3).

The WO presented a lower accuracy for the experiments used for evaluation with RMSE = 4.399 Mg ha<sup>-1</sup>, 24.416 Mg ha<sup>-1</sup>, 1.243 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>, respectively for SDM, SFY and LAI when compared to DS (RMSE = 4.304, 22.284 Mg ha<sup>-1</sup>, 0.607 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>). Different from the results on calibration step, WO had a negative Bias for SDM (Bias = -0.034 Mg ha<sup>-1</sup>), and DS positive for SDM and SFY (Bias = 0.657, 2.675 Mg ha<sup>-1</sup>). Yet, both models had negative Bias for LAI, being -0.101 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup> and -0.818 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup> respectively for DS and WO (Tab. 3). The WO showed lower performance for simulating LAI (EF = -0.749, R<sup>2</sup> = 0.252, d = 0.641), but it was satisfactory for SDM and SFY (EF > 0.81, R<sup>2</sup> > 0.87, d > 0.95) (Tab. 3). The DS had good performance for simulating SDM and SFY (EF > 0.84, R<sup>2</sup> > 0.91, d > 0.96), although lower for LAI (EF = 0.458, R<sup>2</sup> = 0.645, d = 0.867) (Tab. 3).

**Table 3. Statistical indexes of performance of the DSSAT/SAMUCA and WOFOST models in simulating sugarcane crop components across experiments.**

Model	Type	Variables	Bias	RMSE	EF	R <sup>2</sup>	d	X	Y
DSSAT/SAMUCA	Calibration	SDM	-1.313	3.198	0.907	0.926	0.974	12.587	11.274
		SFY	-9.837	16.964	0.878	0.932	0.964	69.267	59.43
		LAI	-0.456	0.946	0.458	0.645	0.867	3.214	2.759
		POL	0.544	1.262	0.683	0.761	0.92	8.942	9.485
		SH	-0.331	0.53	0.618	0.925	0.853	1.204	0.873
		TILL	-1.551	3.392	0.545	0.667	0.829	14.544	12.993
	Evaluation	SDM	0.657	4.304	0.903	0.951	0.98	19.443	20.1
		SFY	2.675	22.284	0.843	0.915	0.968	84.907	87.582
		LAI	-0.101	0.607	0.583	0.635	0.887	2.595	2.494
		POL	-0.533	1.144	0.547	0.733	0.901	13.232	12.699
		SH	-1.608	3.585	0.517	0.666	0.812	14.03	12.422
		TILL	0.43	0.495	0.673	0.924	0.925	0.963	1.393
WOFOST	Calibration	SDM	5.358	6.442	0.622	0.887	0.911	12.587	17.944
		SFY	24.845	30.349	0.61	0.872	0.903	69.267	94.112
		LAI	-0.157	0.981	0.417	0.535	0.85	3.214	3.058
	Evaluation	SDM	-0.034	4.399	0.899	0.899	0.972	19.443	19.409
		SFY	12.736	24.416	0.811	0.871	0.953	84.907	97.642
		LAI	-0.818	1.243	-0.749	0.252	0.641	2.595	1.777

**RMSE: Root mean squared error; EF: Modeling efficiency; R<sup>2</sup>: Determination index; d: accuracy index of Wilmot; X: Mean observations; Y: Mean simulations; Bias = Y - X; SDM: Stalk dry mass (Mg ha<sup>-1</sup>); SFY: Stalk fresh yield (Mg ha<sup>-1</sup>); LAI: Leaf area index (m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>); POL: sucrose content on a fresh cane basis (% [fresh]); SH: Stalk height (m); TILL: Tiller population (# m<sup>-2</sup>).**

#### **Data assimilation evaluation**

**The DS OP simulations had a higher accuracy for final SFY (RMSE = 31.678 Mg ha<sup>-1</sup>) compared to WO (RMSE = 39.593 Mg ha<sup>-1</sup>) and higher precision (R<sup>2</sup> = 0.509 and 0.458 for DS and WO, respectively) (Tab. 4). Both models had a positive Bias for OP simulations, 25.406 Mg ha<sup>-1</sup> for DS and 31.282 Mg ha<sup>-1</sup> for WO (Tab. 4).**

**When DA based on EnKF using LAI was performed, the DS had RMSE = 17.508 Mg ha<sup>-1</sup>, which represented a decrease of -44.73 % compared to the OP method (Tab. 4). The WO had lower accuracy compared to DS (RMSE = 27.880 Mg ha<sup>-1</sup>), and it represented a decrease of -29.58% compared with OP methods (Tab. 4). The precision also improved after DA, as DS showed R<sup>2</sup> =**

0.622, an increase of 22.15% compared to OP. The WO had an even higher increase in precision (36.50%), with  $R^2 = 0.625$ , which was higher than DS (Tab. 4). The DS with EnKF had Bias = -11.469 Mg ha<sup>-1</sup>, while WO showed a positive Bias = 22.944 Mg ha<sup>-1</sup> after DA with EnKF (Tab. 4).

**Table 4.** Statistical indexes of performance of DSSAT/SAMUCA and WOFOST without data assimilation, open-loop method (OP), and with data assimilation using the Ensemble Kalman Filter (EnKF).

Model	Method	Bias	RMSE	R <sup>2</sup>	X	Y
DSSAT/SAMUCA	OP	25.406	31.678	0.509*	94.701	120.107
	EnKF	-11.469	17.508	0.622*	94.701	83.232
WOFOST	OP	31.282	39.593	0.458*	94.701	125.983
	EnKF	22.944	27.880	0.625*	94.701	117.645

**RMSE:** Root mean squared error; **R2:** Determination index; **X:** Mean observations; **Y:** Mean simulations; **Bias = Y - X;** \* $p < 0.01$

After DA, DS simulated lower values of SFY, with mean = 83.232 Mg ha<sup>-1</sup>, compared to SFY simulated by WO (mean = 117.645 Mg ha<sup>-1</sup>, Tab. 4). Further, after DA, DS had some blocks with SFY simulated lower than the values observed, different from WO, that had a lower accuracy reduction and any SFY simulated lower than observed ones (Fig. 2). In this regard, the WO improved the simulations of 5 blocks out of 8, while DS improved 4 blocks out of 8. For WO, however, the blocks without improvements in accuracy were those that already had high accuracy before DA. (Fig. 2).

During the crop cycle, the DS showed higher LAI values for OP simulations compared to WOFOST and Landsat LAI, in general for all plots, as shown for two selected plots in Figure 3. Higher differences between DS and Landsat LAI were observed in the early phases of crop development when the LAI increases following a linear relationship (Fig. 3 a and i). The LAI simulated by DS had a peak in the early stage of development and, after that, LAI decreased and stabilized at a lower level. This was different from what Landsat LAI showed, for which the peak period occurred at later stages of development (Fig. 3 a and i). For WO, LAI profiles also had a peak period in an earlier stage compared to Landsat LAI, but the values were closer to the observed ones along the crop season (Fig. 3 c and k).

Therefore, two types of error inconsistency occurred in the simulations, for each PBM. For DS, first, the plots with lower SFY, simulated by OP, (Fig. 3 m) had LAI values higher than the Landsat LAI (Fig. 3 j). However, the OP simulations resulted in SFY lower than the observed (Fig. 3 m). Thus, after DA, the negative Bias for SFY was even increased (Fig. 3 n). Second, a mismatch between the LAI's peak period was observed for all plots (Fig. 3 a and i), which mainly reduced the performance of LAI assimilated in blocks with low SFY (Fig 3 j and n). For WO, the OP simulated LAI was closer to the Landsat LAI (Fig 3 c and k), but SFY had positive Bias mainly for plots with high observed SFY (Fig 3 g). Thus, after DA, the high Bias in SFY was slightly lowered (Fig. 3 h). Moreover, the WO simulations had a mismatch between OP LAI and Landsat LAI, with higher values in the early development phases and lower at the end of the crop cycle, mainly for plots with higher SFY simulations (Fig. 3 c and k).

Nevertheless, WO after DA showed higher accuracy for the plots with lower observed SFY, because the simulated LAI had better agreement with the Landsat LAI, and closer SFY simulated values

with observed ones (Fig. 3 l and p). For DS, the simulations after DA had higher accuracy for block with high SFY (Fig. 3 e and f).

The higher decrease in DS SFY estimation followed a higher decrease in LAI values, after DA, along crop cycle, compared to WO (Fig 3). In summary, the OP simulations of LAI presented a mean value ( $1.347 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ ), which was close to the Landsat LAI ( $1.350 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ ), while DS showed mean LAI =  $2.485 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ , which was 84% higher than mean Landsat LAI (Fig. 4). Thus, despite WO having higher mean SFY OP simulations ( $125.983 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), the simulated LAI values were lower than DS, which present lower average SFY OP simulations ( $120.208 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) (Tab. 4).

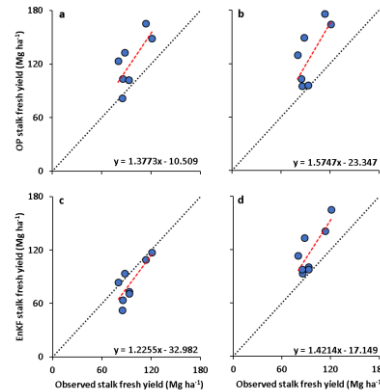


Figure 2. Comparison of observed and simulated stalk fresh yield (SFY) (a, b) with open-loop simulations (OP) and (c, d) with Ensemble Kalman filter (EnKF), using (a, c) DSSAT/SAMUCA and (b, d) WOFOST. The dashed black line represents the 1:1 adjustment, whereas the red dashed line is the regression between observed SFY and simulated SFY. The statistical indexes of the plots can be found in Table 4.

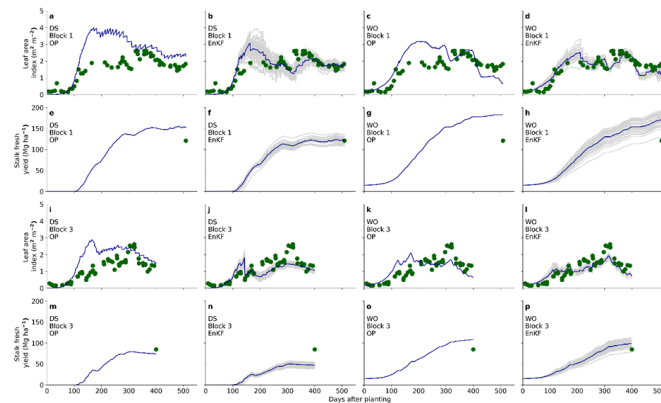
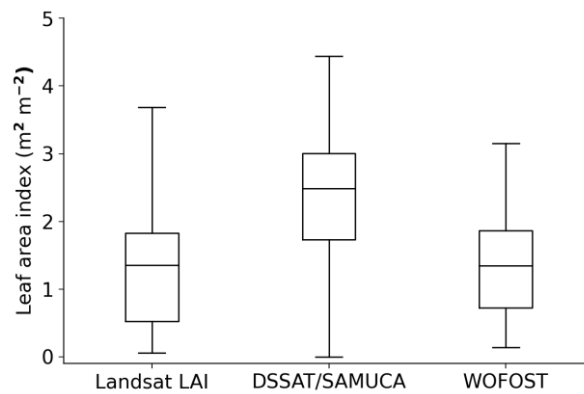


Figure 3. Comparison between simulated (dark blue lines) and observed (green circles) leaf area index (LAI) retrieved from Landsat and stalk fresh yield (SFY) for one of the plot of block 1 and 3, with open-loop (OP) and Ensemble Kalman filter (EnKF) method, using the DSSAT/SAMUCA and WOFOST. Greys lines are the ensemble simulations, blue lines are the ensemble mean.



**Figure 4. Box-plot of sugarcane leaf area index (LAI,  $m^2 m^{-2}$ ) distribution retrieved from Landsat 7 ETM+ and 8 OLI, and open-loop simulations with DSSAT/SAMUCA and WOFOST model.**

### Discussion

*In this study, the models DS and WO were calibrated for cultivar RB867515 and had the SFY simulations, using the EnKF, compared with the same plot database by assimilating LAI retrieved from Landsat 7 ETM+ and 8 OLI. In the calibration step, the DS had better performance for calibration and evaluation, despite the higher number of observed variables used for GLUE. Thus, it seems that simulating different plant variables resulted in a lower uncertainty, despite the higher complexity and interactions. For example, SDM is partly derived from the TILL and SH, and adding these relationships to the model and using this observed variable for calibration, we found better simulations for SDM and SFY. Furthermore, these results may also be due to a more detailed description of the soil-water balance and soil layers of DS, which is different from the WO that considers only one soil layer.*

*One important part of the lower performance of WO came from the ratoon experiments (2-7, Tab. 1), as the model overestimated the SDM, SFY, and LAI for them. This can be related to some parameters of WO, such as initial total crop dry weight (TDWI); degree-days from emergence to anthesis (TSUM1); and initial rooting depth (RDI), that were not retrieved from these experiments. Therefore, the parameters retrieved from Scarpere (2011) might not represent the conditions of these experiments, because they were derived from different environments and genotypes. Moreover, despite both PBMs having the same database for calibration and the same weather database, the uncertainty in PBM structure and the difference in soil and genotype parameters affected the performance of the simulations (Marin et al., 2015).*

*The calibration performance affected the sugarmill plots simulations, with DS showing higher performance for OP simulations than WO (Tab. 3 and 8). However, OP simulations with DS had lower accuracy, compared to the results of Fattori Junior et al. (2022), which use the same PBM for simulating different experiments with EnKF and LAI retrieved from experimental observations. Moreover, comparing the results of WO with other studies, the OP simulations presented lower accuracy, with higher RMSE than studies with the same model (Abebe et al., 2022a; Hu et al., 2019). The lower accuracy of both PBMs can be a result of management adopted in sugarmill plots that were more susceptible to reducing factors (diseases, weeds, pests, soil compaction and failures), which decreased the SFY and were not simulated by the PBMs (Dias and Sentelhas et al., 2017; Gasparotto et al., 2022).*

*Nevertheless, the use of EnKF reduced the RMSE and increased  $R^2$  for both models (Tab. 4), showing the potential of using LAI retrieved from Landsat 7 ETM+ and 8 OLI for reducing model uncertainty (Abebe et al., 2022a; Huang et al., 2015; Kang and Özdoğan, 2019). It showed, also, the potential for using DA methods to correct the model simulation when reduction factors were*

present (Hu et al., 2019). Yet, matters to highlight that despite both models having the same assimilated variable and used the same database for calibration, the results after DA were considerably different, which indicates that the PBM structure highly affected the performance of SFY estimation after DA (Silvestro et al., 2017).

In this regard, the light interception mechanics and the distribution over the canopy are similar between both PBMs. Both account for solar radiation being fractionated between direct and diffuse proportions (Vianna et al., 2020; de Wit et al., 2019), and the leaf area is a result of total living leaves and the specific leaf area. Therefore, the difference between models was the mechanism used to calculate the living leaf biomass and the values used for specific leaf area. For DS, the leaf biomass was calculated by phytomer and the total leaf biomass per area was a result of the number of phytomers with living leaves, leaf biomass of each phytomer, and the number of stalks (Vianna et al., 2020). Moreover, the senescence rate of leaves was related to the process of shading leaves, the maximum number of leaves, leaves age, and tiller age, in conditions without water stress. Further, the specific leaf area was considered a fixed parameter during the crop simulation. The WO, in turn, does not simulate the sugarcane number of tillers and phytomers, and the leaf biomass was calculated by leaves age (de Wit et al., 2019), which also affects the calculus of LAI, leaf area, and leaf senescence. The relation between leaf area and stalk mass was only related to partitioning factors, over the crop development stage. Different from DS, the specific leaf area changes during the crop development stages, following the input values.

Therefore, the DS had a more complex structure for LAI simulations, which was affected by the number of stalks and phytomers, which represent a better approximation of the sugarcane development (Lou et al., 2013; Zhou and Shoko, 2011). This mechanism might explain part of the better accuracy and precision of DS for calibration and evaluation steps (Tab. 3), because enough information (LAI and TIL) was provided for calibration (Vianna et al., 2020). This also may explain part of the better performance of DS in OP simulations, for the sugarmill blocks simulations (Tab. 4).

Furthermore, the ensemble state used to describe the possibility of real states in crop growth simulations also influenced on DA performance. Both models had five parameters perturbed to generate the initial ensemble, however, these parameters diverged from each model, which led to a large difference in the background error, and then influencing the performance of EnKF. The DS parameters perturbed were tightly linked to LAI, differently from WO, which had two of the five parameters more generalist (EFF and TSUMEA). However, background error generated by the DS parameters could not inhibit filter divergences. For block 3, the DS model showed filter divergences after assimilating several low values of remote sensed LAI, between 300 and 400 days after planting (Fig. 3j). Since the model errors became lower, the assimilation higher LAI values made low contribution to the LAI analysis, leading to an LAI and SFY underestimation. For WO in the same period, the DA resulted in LAI values close to the remote sensed LAI (Fig. 3i), showing that background error was higher than DS. Yet, such filter divergence was also influenced by the higher errors in Landsat LAI.

The DA performance had a close relationship with the OP performance (Fattori Junior et al., 2022), and after DA, the DS had also higher accuracy compared to WO. However, the DS underestimated the SFY (Tab. 4), because the changes in LAI values after DA had a direct relationship with SFY simulation. In this regard, when OP simulations had LAI and yield (SFY) both with positive Bias, but the Bias in SFY was slightly lower, after DA the SFY significantly reduced, resulting in large errors (Kang and Özdoğan, 2019). However, when both LAI and SFY had high Bias, after DA, the accuracy was notably improved. For WO, the resulted LAI from OP and the Landsat LAI had close values, thus when the model had high positive Bias for SFY estimation, the SFY after DA was only slightly improved (Kang and Özdoğan, 2019); however, the Bias for LAI was close to zero, the DA was not able to improve the SFY estimations.



*Therefore, our results emphasize that the structure of DS and WO could not reduce the sensitivity of EnKF of both PBM and assimilated variable Bias. This disagrees with the hypothesis that updating state variables related to LAI reduces the sensitivity of EnKF to model Bias (Ines et al., 2013; Kang and Özdoğan, 2019). The target variable to be improved was the SFY, but the variable assimilated was LAI, and between LAI and SFY there are several complex relationships affected by many other factors (Nearing et al., 2012). Also, the LAI of sugarcane has a considerable variation among genotype and environment (Lou et al., 2013; Marin et al., 2011), which reflects in the relationship between LAI and other variables important to define the SFY, such as SH and TILL (Yu et al., 2020; Zhou and Shoko, 2011). Thus, by only assimilating LAI and updating the related variables was not sufficient for inhibiting the error inconsistency. So, the correlation between LAI and variables such as TILL and SH should be better explored and improved when the LAI is assimilated into the PBM. Further, using one or more assimilated variables would reduce the impact of Biased variables (Yu et al., 2022, Pan et al., 2019), and might lower the EnKF sensitivity. Further studies should then explore this considering different model structures.*

*In terms of practicalities, the WO model was easily coupled with EnKF due to object-oriented construction in Python. Thus, multiple simulations can be initialized and paused at any time during the simulation runs, to perform the DA. Different from the DS, the structure of DSSAT platforms did not allow for a pause in the simulations during the model run. Therefore, to perform the DA, the models need to be reinitialized at each observation, increasing the time of simulations, despite the FORTRAN language being faster. One option to overcome this was found by Ines et al. (2013), who used a modified version of CSM-Maize model outside the DSSAT platform, thus allowing EnKF to control the simulation ensemble with independent crop model runs to improve the speed and applicability with EnKF.*

*Although the EnKF techniques employed in this study showed improved performance of SFY simulations for both models, we emphasized some limitations of our study. The LAI time series retrieved from Landsat 7 ETM+ and 8/OLI, used the relationship of Xavier and Vettorazzi (2004), which in turn used data from surface vegetation cover that was partly retrieved from other crops and may not well represent the sugarcane LAI. In this regard, during the DA process, we assumed a relatively high LAI error for generating the ensembles, and this may interfere with DA performance.*

*Therefore, further studies should explore the differences between PBMs with LAI observations retrieved from more sophisticated models such as biophysics models (Pan et al., 2019) and the Gaussian process (Abebe et al., 2022b). Finally, in this study we used the standard version of EnKF, but other studies developed different variations of the EnKF to overcome some limitations of the method (Jamal and Linker, 2022; Wu et al., 2021), and so these can be tested in future researchers to compare the interference in more PBMs.*

## **CONCLUSÃO**

*Both evaluated PBM had satisfactory performance in the calibration and evaluation step, but the DS had better performance, as shown by the OP simulations results in terms of accuracy (RMSE) and precision ( $R^2$ ), compared to WO. The DS had a more detailed process description of the relationship between LAI and other crop related variables in its structure, which improved OP simulations. After DA, both PBMs showed error inconsistency, and both were improved in terms of accuracy and precision. The error inconsistency however diverged from each PBM: the OP simulation of DS overestimated the Landsat LAI; after DA, simulated LAI decreased resulting in SFY underestimation; WO showed OP simulations for LAI closer to Landsat's LAI values, despite the positive Bias in SFY estimation, and so EnKF slightly reduced the SFY overestimation. The EnKF performance was also influenced by the genotype parameters used to generate the ensemble simulations, resulting in different backgrounds error for each model. Thus, the better descriptions*

of DS in terms of structure did not inhibit the error inconsistency, which contradicts the hypothesis initially raised in the literature. This study emphasized that the relations among LAI and other crop variables should be more deeply considered in the DA process, for a more complete benefit of DA in the quality of simulations.

## AGRADECIMENTOS

We thank the São Paulo Research Foundation (FAPESP, grants 2021/00720-0 and 2014/05887-6), Brazilian Research Council (CNPq, 100094/2019-8, 301424/2015-2, 300916/2018-3, 401662/2016-0 and 425174/2018-2).

## REFERÊNCIAS

- Abebe, G., Tadesse, T., Gessesse, B., 2022a. Assimilation of leaf Area Index from multisource earth observation data into the WOFOST model for sugarcane yield estimation. *Int. J. Remote Sens.* 43, 698-720. <https://doi.org/10.1080/01431161.2022.2027547>
- Abebe, G., Tadesse, T., Gessesse, B., 2022b. Estimating Leaf Area Index and biomass of sugarcane based on Gaussian process regression using Landsat 8 and Sentinel 1A observations. *Int. J. Image Data Fusion* 00, 1-31. <https://doi.org/10.1080/19479832.2022.2055157>
- CONAB National Supply Company, 2022 Products and services Available at: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana> (Accessed 07 February 2022)
- Curnel, Y., de Wit, A.J.W., Duveiller, G., Defourny, P., 2011. Potential performances of remotely sensed LAI assimilation in WOFOST model based on an OSS Experiment. *Agric. For. Meteorol.* 151, 1843-1855. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.08.002>
- de Wit, A., Boogaard, H., Fumagalli, D., Janssen, S., Knapen, R., van Kraalingen, D., Supit, I., van der Wijngaart, R., van Diepen, K., 2019. 25 years of the WOFOST cropping systems model. *Agric. Syst.* 168, 154-167. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.06.018>
- Dias, H.B., Sentelhas, P.C., 2017. Evaluation of three sugarcane simulation models and their ensemble for yield estimation in commercially managed fields. *F. Crop. Res.* 213, 174-185. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.07.022>
- Evensen, G., 2003. The Ensemble Kalman Filter: Theoretical formulation and practical implementation. *Ocean Dyn.* 53, 343-367. <https://doi.org/10.1007/s10236-003-0036-9>
- Fattori Junior, I. M., Vianna, M.S., Marin, F. R., 2022. Assimilating leaf area index data into a sugarcane process-based crop model for improving yield estimation. *Eur. J. Agron.* 136, 126501. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126501>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R., 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.* 202, 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Shelia, V., Wilkens, P.W., Singh, U., White, J. W., Asseng, S., Lizaso, J.I., Moreno, L.P., Pavan, W., Ogoshi, R., Hunt, L.A., Tsuji, G. Y., Jones, J.W., 2019. The DSSAT crop modeling ecosystem. In: Boote, K.J. (Ed.), *Advances in Crop Modeling for a Sustainable Agriculture*. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, United Kingdom, pp. 173-216.
- Hu, S., Shi, L., Huang, K., Zha, Y., Hu, X., Ye, H., Yang, Q., 2019. Improvement of sugarcane crop simulation by SWAP-WOFOST model via data assimilation. *F. Crop. Res.* 232, 49-61. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.12.009>

- Huang, J., Gómez-Dans, J.L., Huang, H., Ma, H., Wu, Q., Lewis, P.E., Liang, S., Chen, Z., Xue, J.H., Wu, Y., Zhao, F., Wang, J., Xie, X., 2019. Assimilation of remote sensing into crop growth models: Current status and perspectives. *Agric. For. Meteorol.* 276-277, 107609. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.06.008>
- Huang, J., Tian, L., Liang, S., Ma, H., Becker-Reshef, I., Huang, Y., Su, W., Zhang, X., Zhu, D., Wu, W., 2015. Improving winter wheat yield estimation by assimilation of the leaf area index from Landsat TM and MODIS data into the WOFOST model. *Agric. For. Meteorol.* 204, 106-121. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.02.001>
- Huang, X., Zhao, G., Zorn, C., Tao, F., Ni, S., Zhang, W., Tu, T., Höglind, M., 2021. Grass modelling in data-limited areas by incorporating MODIS data products. *F. Crop. Res.* 271, 108250. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108250>
- Ines, A.V.M., Das, N.N., Hansen, J.W., Njoku, E.G., 2013. Assimilation of remotely sensed soil moisture and vegetation with a crop simulation model for maize yield prediction. *Remote Sens. Environ.* 138, 149-164. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.07.018>
- Jamal, A., Linker, R., 2020. Genetic Operator-Based Particle Filter Combined with Markov Chain Monte Carlo for Data Assimilation in a Crop Growth Model. *Agri.*, 10(12), 606. <https://doi.org/10.3390/agriculture10120606>
- Jones, J.W., Antle, J.M., Basso, B., Boote, K.J., Conant, R.T., Foster, I., Godfray, H.C.J., Herrero, M., Howitt, R.E., Janssen, S., Keating, B.A., Munoz-Carpena, R., Porter, C.H., Rosenzweig, C., Wheeler, T.R., 2017. Brief history of agricultural systems modeling. *Agric. Syst.* 155, 240-254. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2016.05.014>
- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C., Boote, K., Batchelor, W., Hunt, L., Wilkens, P., Singh, U., Gijsman, A., Ritchie, J., 2003. The DSSAT cropping system model. *Eur. J. Agron.* 18, 235-265. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00107-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00107-7)
- Kang, Y., Özdoğan, M., 2019. Field-level crop yield mapping with Landsat using a hierarchical data assimilation approach. *Remote Sens. Environ.* 228, 144-163. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.005>
- Li, Zhenhai, He, J., Xu, X., Jin, X., Huang, W., Clark, B., Yang, G., Li, Zhenhong., 2018. Estimating genetic parameters of DSSAT-CERES model with the GLUE method for winter wheat (*Triticum aestivum* L.) production. *Comput. Electron. Agric.* 154, 213-221. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.009>
- Luo, J., Que, Y., Zhang, H., Xu, L., 2013. Seasonal variation of the canopy structure parameters and its correlation with yield-related traits in sugarcane. *Sci. World J.* 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/801486>
- Ma, H., Huang, J., Zhu, D., Liu, J., Su, W., Zhang, C., Fan, J., 2013. Estimating regional winter wheat yield by assimilation of time series of HJ-1 CCD NDVI into WOFOST-ACRM model with Ensemble Kalman Filter. *Math. Comput. Model.* 58, 759-770. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2012.12.028>
- Manivasagam, V.S., Rozenstein, O., 2020. Practices for upscaling crop simulation models from field scale to large regions. *Comput. Electron. Agric.* 175. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105554>
- Marin, F. R., Jones, J. W., Royce, F., Suguitani, C., Donzeli, J. L., Filho, W. J. P., Nassif, D. S., 2011. Parameterization and evaluation of predictions of DSSAT/CANEGRO for Brazilian sugarcane. *Agronomy Journal*, 103(2), 304-315. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0302>
- Marin, F. R., Vianna, M. S., Nassif, D. S., 2019a. Challenges, Constraints, and Limitations of Cane Biofuels. In *Sugarcane Biofuels* (pp. 389-407). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-18597-8\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-030-18597-8_17)
- Marin, F., Jones, J.W., Boote, K.J., 2017. A stochastic method for crop models: Including uncertainty in a sugarcane model. *Agron. J.* 109, 483-495. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.02.0103>

- Marin, F.R., Jones, J.W., 2014. Process-based simple model for simulating sugarcane growth and production. *Sci. Agric.* 71, 1-16. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0103-90162014000100001>
- Marin, F.R., Rattalino Edreira, J.I., Andrade, J., Grassini, P., 2019b. On-farm sugarcane yield and yield components as influenced by number of harvests. *F. Crop. Res.* 240, 134-142. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.06.011>
- Marin, F.R., Rattalino Edreira, J.I., Andrade, J.F., Grassini, P., 2021. Sugarcane Yield and Yield Components as Affected by Harvest Time. *Sugar Tech.* <https://doi.org/10.1007/s12355-020-00945-5>
- Marin, F.R., Thorburn, P.J., Nassif, D.S.P., Costa, L.G., 2015. Sugarcane model intercomparison: Structural differences and uncertainties under current and potential future climates. *Environ. Model. Softw.* 72, 372-386. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.02.019>
- Montero, D., 2021. eemont: A Python package that extends Google Earth Engine. *J. Open Source Softw.* 6, 3168. <https://doi.org/10.21105/joss.03168>
- Morell, F.J., Yang, H.S., Cassman, K.G., Wart, J. Van, Elmore, R.W., Licht, M., Coulter, J.A., Ciampitti, I.A., Pittelkow, C.M., Brouder, S.M., Thomison, P., Lauer, J., Graham, C., Massey, R., Grassini, P., 2016. Can crop simulation models be used to predict local to regional maize yields and total production in the U.S. Corn Belt? *F. Crop. Res.* 192, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.04.004>
- Nearing, G.S., Crow, W.T., Thorp, K.R., Moran, M.S., Reichle, R.H., Gupta, H. V., 2012. Assimilating remote sensing observations of leaf area index and soil moisture for wheat yield estimates: An observing system simulation experiment. *Water Resour. Res.* 48, 1-13. <https://doi.org/10.1029/2011WR011420>
- Pan, H., Chen, Z., de Allard, W., Ren, J., 2019. Joint assimilation of leaf area index and soil moisture from sentinel-1 and sentinel-2 data into the WOFOST model for winter wheat yield estimation. *Sensors (Switzerland)* 19. <https://doi.org/10.3390/s19143161>
- Pereira, R.A. de A., Vianna, M. dos S., Nassif, D.S.P., Carvalho, K. dos S., Marin, F.R., 2021. Global sensitivity and uncertainty analysis of a sugarcane model considering the trash blanket effect. *Eur. J. Agron.* 130, 126371. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126371>
- Scarpore, F. V., 2011. Simulação do crescimento da cana-de-açúcar pelo modelo agrohidrológico SWAP/WOFOST. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, Brasil [In Portuguese].
- Silvestro, P.C., Pignatti, S., Pascucci, S., Yang, H., Li, Z., Yang, G., Huang, W., Casa, R., 2017. Estimating wheat yield in China at the field and district scale from the assimilation of satellite data into the Aquacrop and simple algorithm for yield (SAFY) models. *Remote Sens.* 9, 1-24. <https://doi.org/10.3390/rs9050509>
- Van Heemst, H. D. J., 1988. Plant data values required for simple crop growth simulation models: review and bibliography.
- Vianna, M. dos S., Nassif, D.S.P., dos Santos Carvalho, K., Marin, F.R., 2020. Modelling the trash blanket effect on sugarcane growth and water use. *Comput. Electron. Agric.* 172, 105361. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105361>
- Wang, E., Brown, H.E., Rebetzke, G.J., Zhao, Z., Zheng, B., Chapman, S.C., 2019. Improving process-based crop models to better capture genotype×environment×management interactions. *J. Exp. Bot.* 70, 2389-2401. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz092>
- Wang, J., Li, X., Lu, L., Fang, F., 2013. Parameter sensitivity analysis of crop growth models based on the extended Fourier Amplitude Sensitivity Test method. *Environ. Model. Softw.* 48, 171-182. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.06.007>

- Willmott, C. J., Robeson, S. M., Matsuura, K., 2012., *A refined index of model performance. International Journal of climatology*, 32(13), 2088-2094. <https://doi.org/10.1002/joc.2419>
- Wu, S., Yang, P., Ren, J., Chen, Z., Li, H., 2021. *Regional winter wheat yield estimation based on the WOFOST model and a novel VW-4DEnSRF assimilation algorithm. Remote Sens. Environ.* 255. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112276>
- Xavier, A.C., Vettorazzi, C.A., 2004. *Mapping leaf area index through spectral vegetation indices in a subtropical watershed. Int. J. Remote Sens.* 25, 1661-1672. <https://doi.org/10.1080/01431160310001620803>
- Yu, D., Zha, Y., Shi, L., Jin, X., Hu, S., Yang, Q., Huang, K., Zeng, W., 2020. *Improvement of sugarcane yield estimation by assimilating UAV-derived plant height observations. Eur. J. Agron.* 121, 126159. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126159>
- Yu, D., Zha, Y., Shi, L., Ye, H., Zhang, Y., 2022. *Improving sugarcane growth simulations by integrating multi-source observations into a crop model. Eur. J. Agron.* 132, 126410. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126410>
- Zhao, Y., Chen, S., Shen, S., 2013. *Assimilating remote sensing information with crop model using Ensemble Kalman Filter for improving LAI monitoring and yield estimation. Ecol. Modell.* 270, 30-42. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.08.016>
- Zhou, M. M., Shoko, M. D., 2011. *Seasonal and varietal effects on tiller population development of sugarcane (Saccharum officinarum L.). South African Journal of Plant and Soil*, 28(1), 11-16. <https://hdl.handle.net/10520/EJC88005>
- Zhuo, W., Huang, J., Li, L., Zhang, X., Ma, H., Gao, X., Huang, H., Xu, B., Xiao, X., 2019. *Assimilating Soil Moisture Retrieved from Sentinel-1 and Sentinel-2 Data into WOFOST Model to Improve Winter Wheat Yield Estimation. Remote Sens.* 11, 1618. <https://doi.org/10.3390/rs11131618>



# CBAGRO 2023

## XXII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

VI ECLIM | X RLA

03 a 06 de Outubro de 2023 | CEMURE, Natal - RN

### Promoção



### Realização



### Apoio

