

Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Biológicas
Programa de Pós Graduação em Ecologia

Variação espacial e temporal da biomassa vegetal em áreas de Cerrado

Sabrina do Couto de Miranda

Brasília
Agosto de 2012

Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Biológicas
Programa de Pós Graduação em Ecologia

**Variação espacial e temporal da biomassa vegetal em áreas de
Cerrado**

Sabrina do Couto de Miranda

Orientadora: Mercedes Maria da Cunha Bustamante

Tese apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Ecologia como requisito
parcial para a obtenção do título de
Doutor em Ecologia.

Brasília

Agosto de 2012



Tese de Doutorado

SABRINA DO COUTO DE MIRANDA

Título:

“Variação espacial e temporal da biomassa vegetal em áreas de Cerrado”.

Banca Examinadora:

Prof. Dra. Mercedes Maria C. Bustamante
Presidente / Orientador
ECL/UnB

Prof. Dr. John Du Vall Hay
Membro Titular
ECL/UnB

Prof. Dr. Manoel Cláudio da Silva Júnior
Membro Titular
EFL/UnB

Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Júnior
Membro Titular
UFG

Prof. Dr. Jean Pierre Henry Balbaud Ometto
Membro Titular
INPE

Prof. Dr. Edson Eyji Sano
Suplente
Embrapa

Brasília, 27 de agosto de 2012.

*“Aos que acreditam na beleza do
Cerrado”...*

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus, ser supremo de Luz que me deu forças para superar todas as dificuldades. Aos meus pais e irmãos, que mesmo sem “entender muito bem” o que eu faço, torcem por mim e desejam o meu sucesso. Ao Plauto Simão de Carvalho, meu companheiro para toda a vida e sem o qual eu não estaria aqui!

Quero agradecer às agências de fomento Capes e CNPq pela concessão de bolsas de estudo durante o doutorado, incluindo doutorado sanduíche na *University of New Hampshire*. À NASA pelo financiamento do projeto de pesquisa ao qual esta tese está vinculada (NNH07ZDA001N-CARBON). Ao Programa de Pós Graduação em Ecologia pelo suporte durante estes quatro anos de estudo.

Aproveito a oportunidade para agradecer ao Manoel Cláudio da Silva Júnior, querido amigo, conselheiro e companheiro de todas as horas. À Mercedes Bustamante pela orientação e oportunidades de crescimento profissional. À Jeanine Felfili (*in memoriam*) pela ajuda nas etapas iniciais desta tese. Ao Michael Palace (*University of New Hampshire*) e Steven Hagen (*Applied GeoSolutions*) pela colaboração no desenvolvimento deste trabalho e apoio durante a realização do doutorado sanduíche. À Joice Ferreira e José Roberto Rodrigues Pinto por terem colaborado com esta tese autorizando a utilização dos dados biométricos coletados nas áreas de cerrado e florestas de transição. Ao Alexandre de Siqueira Pinto pela amizade, conselhos, sugestões na tese e apoio. À Danielle Teodoro, Jimmy Hernandez, José Salomão Silva, Edson Cardoso e Gilberto Banho pelo apoio em campo e conversas agradáveis. Ao Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (Lapig) da UFG, em especial ao professor Laerte Guimarães Ferreira, Marlon, Arielle e Janete pela ajuda com o ArcGIS e dados da base TRMM. Aos colegas do Laboratório de Ecossistemas da UnB pela convivência durante os últimos quatro anos. E por fim, a todos os amigos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização desta tese.

Muito obrigada a todos!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
ANEXOS.....	xiii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUÇÃO GERAL.....	15
Capítulo I: VARIAÇÃO REGIONAL NA DISTRIBUIÇÃO DE BIOMASSA DO CERRADO.....	31
Introdução.....	31
Material e Métodos.....	32
Resultados e Discussão	34
Equações Alométricas.....	34
Densidade da Madeira.....	35
Biomassa aérea.....	37
Biomassa subterrânea.....	41
Razão biomassa subterrânea: biomassa aérea.....	42
Savanas arbóreas – semelhanças e lacunas no conhecimento.....	43
Bibliografia.....	52
Capítulo II: BIOMASSA SUBTERRÂNEA DE CERRADO SENTIDO RESTRITO SOBRE NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS.....	59
Introdução.....	59
Material e Métodos.....	60
Áreas de Estudo e Amostragem da biomassa radicular.....	60
Análises de Nutrientes.....	64
Solos.....	64
Resultados.....	65
Biomassa subterrânea.....	65
Teores e Estoques de Nutrientes.....	69
Solos.....	72
Discussão.....	72
Bibliografia.....	77
Capítulo III: ARQUITETURA DE COPAS DA VEGETAÇÃO NATIVA DE	82

CERRADO E FLORESTA DE TRANSIÇÃO.....	
Introdução.....	82
Material e Métodos.....	83
Resultados.....	86
Discussão.....	99
Bibliografia.....	101
Capítulo IV: VARIAÇÃO MULTI TEMPORAL NA BIOMASSA AÉREA DA VEGETAÇÃO LENHOSA DE CERRADO SENTIDO RESTRITO.....	104
Introdução.....	104
Material e Métodos.....	105
Áreas de estudo.....	105
Amostragem da vegetação lenhosa.....	106
Análises dos dados.....	107
Resultados.....	109
Florística.....	109
Estrutura.....	111
Biomassa.....	117
Discussão.....	125
Bibliografia.....	129
CONCLUSÕES FINAIS.....	140

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Equações alométricas utilizadas para estimar biomassa e estoque de carbono no Cerrado. Onde: D=diâmetro (cm); Db=diâmetro da base (cm); DAP=diâmetro à altura do peito; H, Ht, h=altura (m); B, BA=biomassa aérea (kg.ind ⁻¹); dg=DAP equivalente; DM=densidade da madeira.....	35
Tabela 2. Valores médios de densidade da madeira para o Cerrado e Florestas tropicais úmidas.....	36
Tabela 3. Valores médios (Mg.ha ⁻¹) dos compartimentos de biomassa do Cerrado. Coeficiente de variação (%) entre parênteses. Onde: NT=necromassa total, BAT=biomassa aérea total, BAVL=biomassa aérea da vegetação lenhosa, BRG e BRF=biomassa de raízes grossas e finas, BTR=biomassa total de raízes.....	38
Tabela 4. Metodologia de amostragem da vegetação aérea com base nos dados encontrados na literatura. Onde: C=circunferência; D=diâmetro, DAP=diâmetro a altura do peito; H=altura, D=direto, I=indireto.....	39
Tabela 5. Metodologias para classificação e amostragem da biomassa subterrânea encontradas em diferentes trabalhos realizados no Cerrado.....	41
Tabela 6. Biomassa aérea (BA) e subterrânea (BS) para as três formações vegetacionais do Cerrado. Média (Coeficiente de Variação %)......	42
Tabela 7. Estoques de carbono (Mg.ha ⁻¹) no Cerrado e Miombo.....	43

CAPÍTULO II

Tabela 1: Biomassa subterrânea (Mg.ha ⁻¹) de cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos amostradas a 0-30 cm do solo. Onde: P=parcela; CR=Correntina; SD=São Desidério; BTR=biomassa total de raízes.....	66
Tabela 2: Biomassa subterrânea de cerrado sentido restrito com base em dados levantados na literatura. Onde: BRG=biomassa de raízes grossas, BRF=biomassa de raízes finas e BTR=biomassa total de raízes.....	67
Tabela 3: Metodologia para classificação e amostragem da biomassa subterrânea com base em levantamento bibliográfico.....	68
Tabela 4: Concentração de nutrientes em raízes (g.kg ⁻¹) de cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos. Média e (Desvio padrão). Onde: CR= Correntina e SD= São Desidério.....	70
Tabela 5: Estoque de nutrientes por classes de raízes amostradas em cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos.....	71

CAPÍTULO III

Tabela 1: Características gerais das localidades amostradas na área <i>core</i> do Cerrado e em áreas de transição Cerrado/Floresta Amazônica. Onde: PMA=precipitação média acumulada; JBB=Jardim Botânico de Brasília; PARNA=Parque Nacional.....	84
--	----

Tabela 2: Parâmetros biométricos da vegetação lenhosa amostrada em três tipos de vegetação: cerrado <i>core</i> , cerrado transição e floresta de transição. Média e (desvio padrão). Onde: PARNA=Parque Nacional; JBB=Jardim Botânico; CV=Centro de Visitação.....	87
Tabela 3: Relações alométricas entre os parâmetros biométricos amostrados em três tipos de vegetação. Onde: 1-Cerrado <i>core</i> ; 2-Cerrado transição; 3-Floresta de transição; D=dependente; I=independente; NS=não significativo. Valores de R ² entre parênteses.....	92
CAPÍTULO IV	
Tabela 1: Variação temporal nos valores de diversidade (H'), equitabilidade (J') e riqueza (S) nas áreas de cerrado sentido restrito. * Diferenças significativas entre os períodos de amostragem ($p < 0,05$).....	110
Tabela 2: Distribuição em classes de diâmetro dos parâmetros estruturais da vegetação lenhosa de cerrado sentido restrito. Onde: Ti= 1 ^a amostragem; Tf= 2 ^a amostragem. Onde: Classes de diâmetro (cm) 1=5,5-9,9; 2=10,0-14,9; 3=15,0-19,9; 4=20,0-24,9; 5=25,0-29,9 e 6=>30.....	119
Tabela 3: Espécies com contribuição percentual $\geq 10\%$ dos valores de biomassa total em cada localidade. Entre parênteses estão os valores de densidade relativa. Onde: PNCV=Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros.....	121

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. Distribuição geográfica das localidades onde há estudos sobre biomassa aérea e subterrânea no Cerrado..... 33

Figura 2. Distribuição geográfica das 116 localidades onde a biomassa aérea da vegetação lenhosa em cerrado sentido restrito foi amostrada. Os tamanhos dos círculos representam as magnitudes relativas dos valores..... 47

Figura 3. A – Relação entre precipitação acumulada no período (2000-2010) e biomassa aérea da vegetação lenhosa (BAVL) em cerrado típico; B – Relação entre precipitação acumulada na estação chuvosa (2000-2010) e BAVL em cerrado típico; C – Relação entre precipitação acumulada na estação seca (2000-2010) e BAVL em cerrado típico; D – Relação entre precipitação acumulada na estação seca em áreas com seca severa (2000-2010) e BAVL em cerrado típico. A zona marcada em cinza compreende os picos de biomassa..... 48

CAPÍTULO II

Figura 1: Dados mensais para precipitação e temperatura média compensada (\pm desvio padrão) para o período de 1986-2009 coletados nas estações meteorológicas de Correntina (A) e Barreiras (B), localidade mais próxima a São Desidério. (Fonte: INMET)..... 61

Figura 2: Distribuição geográfica e visão geral da matriz ambiental onde foram instaladas parcelas para amostragem em (A) Correntina (imagem a direita mostra o detalhe da distribuição das 10 parcelas) e (B) São Desidério, Bahia. (Fonte: Google Earth)..... 62

Figura 3: Detalhe da estrutura da vegetação associada aos Neossolos Quartzarênicos encontrada em (A) Correntina e em (B) São Desidério..... 63

Figura 4: Detalhe da quadrícula onde foi retirada amostra da biomassa subterrânea da vegetação de cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos..... 63

Figura 5: Biomassa subterrânea total por classe de raízes encontrada nas áreas de cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos. Onde: CR=Correntina e SD=São Desidério..... 66

Figura 6: Biomassa subterrânea por classe de raízes amostrada em Correntina (CR) e São Desidério (SD) sobre Neossolos Quartzarênicos e RECOR-IBGE (IBGE) sobre Latossolos (dados compilados de Castro-Neves 2007, Castro & Kauffman 1998, Oliveira 1999, Rodin 2004). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas entre áreas (SNK; $p < 0,05$)..... 69

Figura 7: Estoque total de nutrientes encontrado na biomassa subterrânea de cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos..... 71

Figura 8: Análise de Componentes Principais das variáveis físicas e químicas dos solos (0-10 cm) coletados em Correntina e São Desidério. Onde: COR=Correntina; SD=São Desidério; MO=Matéria Orgânica..... 72

CAPÍTULO III

Figura 1: Distribuição geográfica das localidades amostradas em três tipos de ambientes (cerrado <i>core</i> , cerrado transição e floresta de transição) ao longo do bioma Cerrado.....	83
Figura 2: Análise comparativa dos parâmetros biométricos amostrados em três tipos de vegetação, a saber: cerrado <i>core</i> (Cerrado); cerrado transição (Cer/Flo) e floresta de transição (Floresta). Média e desvio padrão. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).....	90
Figura 3: Análise de componentes principais das variáveis bióticas coletadas em 86 parcelas amostradas em três tipos de vegetação: cerrado sentido restrito na área <i>core</i> , cerrado transição e floresta de transição. Onde: BIO=biomassa; D=diâmetro; Ht=altura total; HC=altura da copa; LC=largura da copa; C=cerrado <i>core</i> ; T=cerrado transição e F=floresta.....	91
Figura 4: Relação entre diâmetro e área da copa da vegetação lenhosa de Cerrado coletada em três ambientes: cerrado <i>core</i> (A), cerrado transição (B) e floresta de transição (C). Valores estatisticamente significativos ($p < 0,0001$).....	93
Figura 5: Relação entre altura e área da copa da vegetação lenhosa de Cerrado coletada em três ambientes: cerrado <i>core</i> (A), cerrado transição (B) e floresta de transição (C). Valores estatisticamente significativos ($p < 0,0001$).....	94
Figura 6: Relação entre diâmetro e volume da copa da vegetação lenhosa de Cerrado coletada em três ambientes: cerrado <i>core</i> (A), cerrado transição (B) e floresta de transição (C). Valores estatisticamente significativos ($p < 0,0001$).....	95
Figura 7: Relação entre altura e volume da copa da vegetação lenhosa de Cerrado coletada em três ambientes: cerrado <i>core</i> (A), cerrado transição (B) e floresta de transição (C). Valores estatisticamente significativos ($p < 0,0001$).....	96
Figura 8: Relação entre área da copa e biomassa da vegetação lenhosa de Cerrado coletada em três ambientes: cerrado <i>core</i> (A), cerrado transição (B) e floresta de transição (C). Valores estatisticamente significativos ($p < 0,0001$).....	97
Figura 9: Relação entre volume da copa e biomassa da vegetação lenhosa de Cerrado coletada em três ambientes: cerrado <i>core</i> (A), cerrado transição (B) e floresta de transição (C). Para A e B valores estatisticamente significativos ($p < 0,0001$) e para C não significativo ($\alpha=0,05$).....	98
CAPÍTULO IV	
Figura 1: Distribuição geográfica das áreas de cerrado sentido restrito estudadas.....	106
Figura 2: Dendrograma de classificação da vegetação lenhosa de cerrado sentido restrito produzido a partir do índice de Sørensen.....	111
Figura 3: Parâmetros biométricos da vegetação lenhosa de cerrado sentido restrito ao longo do tempo. Média e (Desvio padrão). *Valores estatisticamente diferentes. Onde: Ti=1ª amostragem; Tf=2ª amostragem; 1=Alto Paraíso de Goiás; 2=PARNA da Chapada dos Veadeiros; 3=Silvânia; 4=JBB-Interflúvio; 5=JBB-Vale; 6=FAL; 7=Correntina; 8=São Desidério.....	112

Figura 4: Distribuição diamétrica comparativa dos indivíduos lenhosos de cerrado sentido restrito.....	114
Figura 5: Dendrogramas de classificação da vegetação lenhosa de cerrado sentido restrito produzidos a partir do índice de Czekanowski. Classificação baseada nos dados de densidade (A) e dominância (B). Onde: SIL=Silvânia; VAL=JBB-Vale; INT=JBB-Interflúvio; FAL=Fazenda Água Limpa; SD=São Desidério; COR=Correntina; PN=PARNA da Chapada dos Veadeiros; ALT=Alto Paraíso de Goiás.....	116
Figura 6: Classificação da vegetação lenhosa de cerrado sentido restrito pelo método TWINSpan. Onde: 85, 89, 97, 09, 10 são os anos de amostragem; SIL=Silvânia; VAL=JBB-Vale; INT=JBB-Interflúvio; FAL=Fazenda Água Limpa; SD=São Desidério; COR=Correntina; PN=PARNA da Chapada dos Veadeiros; ALT=Alto Paraíso de Goiás.....	117
Figura 7: Variação temporal na biomassa aérea da vegetação lenhosa em cerrado sentido restrito. * Valores estatisticamente diferentes ($p < 0,05$). Onde: Ti=1ª amostragem; Tf=2ª amostragem.....	118
Figura 8: Diagrama de ordenação das áreas de cerrado sentido restrito por Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS). Onde: 85, 89, 97, 09, 10 são os anos de amostragem; ALTO=Alto Paraíso de Goiás; PN=PARNA da Chapada dos Veadeiros; SIL=Silvânia; INT=JBB-Interflúvio; VAL=JBB-Vale; FAL=Fazenda Água Limpa; COR=Correntina; SD=São Desidério.....	123
Figura 9: Diagrama de ordenação das áreas de cerrado sentido restrito por Análise de Correspondência Canônica (CCA). As letras representam as parcelas amostradas em A=Alto Paraíso, C=Correntina, I=JBB-Interflúvio, P=PARNA da Chapada dos Veadeiros, S=Silvânia, SD=São Desidério, V=JBB-Vale.....	124

ANEXOS

Capítulo II

Anexo 1: Variáveis químicas e físicas de 19 amostras de solo superficial (0-10 cm) coletadas em duas áreas de cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos na Bahia. Onde: COR=Correntina; SD=São Desidério; SB=Soma de Bases Trocáveis; t=Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; V=Índice de Saturação de Bases; m=Índice de Saturação de Alumínio; MO=Matéria Orgânica..... 80

Capítulo IV

Anexo 1: Lista florística das espécies amostradas em áreas de cerrado sentido restrito..... 134

Anexo 2: Variáveis químicas e físicas de 68 amostras de solo superficial (0-10 cm) coletadas em áreas de cerrado sentido restrito. Onde: INTER=JBB-Interflúvio; VALE=JBB-Vale; SIL=Silvânia; ALTO=Alto Paraíso de Goiás; PNCV=PARNA da Chapada dos Veadeiros; COR=Correntina; SD=São Desidério; MO=Matéria Orgânica..... 138

RESUMO

Os ecossistemas savânicos abrigam grande parcela da população humana mundial e apresentam coexistência histórica com o fogo, assim o manejo inadequado das savanas pode influenciar os balanços de energia, água e carbono em escalas regional e global. Dentre as savanas mundiais, o Cerrado se destaca por ocupar significativa porção da América do Sul, possuir alta biodiversidade e experimentar intensa pressão antrópica de mudança de uso da terra. Diante da atual demanda por estudos que visem diminuir as incertezas sobre o papel da vegetação no ciclo global do carbono, este trabalho objetivou analisar a variação espacial e temporal da biomassa vegetal no Cerrado. Assim, esta tese foi dividida em duas etapas: levantamento bibliográfico e coletas de dados em campo. O levantamento bibliográfico mostrou que as formações savânicas e florestais do Cerrado abrigam importantes reservatórios de carbono na porção aérea da vegetação. Já as formações campestres estocam mais carbono na porção subterrânea com razão biomassa subterrânea: biomassa aérea de 3,3. A análise da relação entre precipitação e biomassa aérea da vegetação lenhosa em áreas de cerrado típico destacou a importância da sazonalidade nas localidades onde a seca é severa (cinco ou seis meses de seca). Assim, alterações nos regimes anuais de chuvas previstas pelos modelos climáticos podem influenciar os estoques de carbono nestas áreas. O levantamento na literatura revelou que os estudos sobre biomassa subterrânea foram realizados apenas em cerrado sentido restrito sobre Latossolos, e ressaltou a necessidade deste tipo de estudo em cerrado sobre outros tipos de solos. Com base nesta demanda amostrou-se raízes nos cerrados sobre Neossolos Quartzarênicos em Correntina e São Desidério, Bahia. Verificou-se que a vegetação de cerrado sobre Neossolos Quartzarênicos abriga estoques de carbono, tanto na porção aérea quanto subterrânea, menores em comparação ao cerrado sobre Latossolos. Também foi constatada carência de estudos na porção nordeste do Cerrado. Para suprir esta demanda foram amostrados os parâmetros biométricos da vegetação em três ambientes: cerrado sentido restrito na área *core* do bioma, cerrado sentido restrito em áreas de transição, e floresta de transição no ecótono Cerrado/Floresta Amazônica. Os resultados ressaltaram a importância das florestas de transição para a manutenção dos estoques de carbono na porção aérea da vegetação. Além disso, verificou-se que nos ambientes savânicos a biomassa aérea da vegetação lenhosa foi fortemente relacionada com a área e o volume das copas. Estes resultados são promissores e poderão ser utilizados para calibrar algoritmos automáticos para detecção de copas em imagens de satélites. O aprimoramento desta técnica é etapa importante para o monitoramento remoto do Cerrado em larga escala. A análise da variação temporal da biomassa aérea da vegetação lenhosa mostrou que o cerrado sentido restrito pode armazenar ou liberar carbono dependendo, principalmente, da frequência de queimadas. De acordo com os resultados observados, concluímos que a ocorrência de queimadas em intervalos de cinco anos não compromete a manutenção dos estoques de carbono na vegetação nativa. A continuidade de estudos desta natureza, aliados a monitoramentos em longo prazo, podem fornecer dados mais precisos quanto à duração e robustez dos drenos de carbono.

Palavras-chave: savana; estoque de carbono; dinâmica da vegetação; fatores abióticos.

ABSTRACT

A large portion of human population lives in savanna ecosystems around the world, and there is an historic coexistence with fire. The inadequate management of this kind of vegetation may have an influence on the energy, water and carbon balance at regional and global scales. Among the savannas worldwide, the Cerrado stands out by occupying a significant portion in South America holding high biodiversity, and because it is under strong anthropic pressure due to changes in land use. Given the current demand for studies that aim to reduce uncertainty about the role of vegetation in the global carbon cycle, this study aimed to analyze the spatial and temporal variation of plant biomass in the Cerrado. To do so, this thesis focused on a literature review and new data from fieldwork. The literature review showed that the shrubland and forestland formations from Cerrado hold significant stocks of carbon in the aboveground vegetation. On the other hand, grassland formations present a belowground/aboveground ratio of 3.3. The analysis of the relationship between precipitation and aboveground woody biomass for typical cerrado, highlighted the importance of seasonality in the localities where drought is severe (season length of five or six months). Therefore, changes in annual rainfall regimes predicted by the climate models can influence carbon stocks in these areas. As the literature survey revealed the lack of studies on belowground biomass in cerrado *sensu stricto* on Quartzipsamments field sampling was conducted in two sites on Quartzipsamments (Correntina and São Desidério). Carbon stocks (above and belowground) in these two sites were lower than in cerrado sites on Oxisols. The analysis of biometric parameters of the vegetation in cerrado *sensu stricto* in the *core* area of the biome, cerrado *sensu stricto* in areas of transition with tropical forest, and transition forest in the ecotone Cerrado/Amazon Rainforest highlighted the importance of transition forest in terms of carbon stocks. Furthermore, biomass of savanna formations is strongly correlated with the crown area and volume. These are promising results that can be used to calibrate automatic algorithms that detect canopy with satellite images. The improvement of this technique is an important step for the remote monitoring of the Cerrado at larger scales. The temporal variation analysis of aboveground wood biomass showed that the cerrado *sensu stricto* may stock or release carbon mainly depending on fire frequency. According to the observed results, we concluded that the occurrence of fires at intervals of five years does not compromise the maintenance of carbon stocks in vegetation. The continuation of such studies and long term monitoring can provide more precise results to evaluate the dynamics of the carbon sinks in the Neotropical savannas.

Key words: Savanna; carbon stock; vegetation dynamics; abiotic factors.

INTRODUÇÃO GERAL

O Cerrado, considerado savana sazonal úmida (Felfili & Silva Júnior 1993), ocorre principalmente na região do Planalto Central, sua vegetação pode ser encontrada em altitudes próximas ao nível do mar até 1.800 m, geralmente em solos profundos, bem drenados e distróficos (Furley 1999, Felfili & Silva Júnior 2005). Trata-se de complexo vegetacional cuja estrutura e fisionomia variam de acordo com os fatores abióticos locais (Furley & Ratter 1988, Ribeiro & Walter 2008).

O Cerrado é um dos ecossistemas savânicos mais ricos e diversos do mundo (Lewinsohn & Prado 2002, Felfili *et al.* 2004). Mendonça *et al.* (2008) catalogaram 11.627 espécies de plantas vasculares e de acordo com recente publicação, o Cerrado abriga 35,9% da riqueza de plantas vasculares do Brasil (Forzza *et al.* 2010). Apesar da elevada biodiversidade, o Cerrado passou, ao longo das últimas décadas, por rápido processo de degradação ambiental e figura entre os 34 *hotspots* mundiais de biodiversidade (Mittermeier *et al.* 2005, Ribeiro *et al.* 2005).

A paisagem do Cerrado apresenta formações campestres, savânicas e florestais dependendo da coexistência e proporções de densidade dos estratos arbóreo e herbáceo. O cerrado sentido restrito é a fitofisionomia que melhor caracteriza o aspecto savânico do Cerrado e originalmente ocupava cerca de 70% do bioma (Felfili & Silva Júnior 1993, 2005). Caracteriza-se por árvores e arbustos tortuosos, de pequeno porte, irregularmente ramificados e com adaptações morfofisiológicas para sobrevivência à seca e ao fogo (Furley 1999, Ribeiro & Walter 2008). Trata-se de comunidade vegetal rica, com elevada diversidade alfa, onde poucas espécies constituem as maiores populações e a distribuição de indivíduos por espécies é desigual ao longo do bioma (Felfili *et al.* 2004, Felfili & Silva Júnior 2005).

Diante desta heterogeneidade ambiental, o Cerrado, da mesma forma que a Floresta Amazônica, fornece importantes serviços ambientais ao Brasil e ao mundo. Tais serviços são agrupados em manutenção de biodiversidade, ciclo hidrológico e armazenamento de carbono. O armazenamento de carbono reduz o efeito estufa, tema atual de discussões mundiais (Fearnside 2008).

Apesar dos dados sobre estoque de carbono, produtividade e ciclagem serem considerados ainda incertos, evidências indicam que os ecossistemas savânicos são drenos de 0,4 Pg (10^{15} g) de carbono por ano (Robinson 2007). Para reduzir incertezas sobre o papel da vegetação no ciclo do carbono é importante estimativa acurada da biomassa

vegetal e também o entendimento de seu padrão de mudança no tempo (Sedjo 1992, Brown *et al.* 1999).

Com o intuito de diminuir incertezas sobre as estimativas de biomassa e estoque de carbono no Cerrado, maior bioma savânico da América do Sul, esta tese teve como objetivo geral analisar a variação espacial e temporal da biomassa vegetal em áreas de Cerrado. Para tanto, apresentamos na seção “*Revisão Bibliográfica*” a compilação de trabalhos que caracteriza e evidencia o papel das savanas no ciclo global do carbono, destacando a importância do Cerrado neste contexto. Posteriormente, apresentamos o conteúdo da tese em quatro capítulos.

No **Capítulo I**, “*Variação Regional na Distribuição de Biomassa do Cerrado*”, realizamos extenso levantamento de dados na literatura com o intuito de atender aos seguintes objetivos específicos: destacar as principais equações alométricas e os valores de densidade da madeira disponíveis para o Cerrado; descrever a variação regional de biomassa aérea e subterrânea em diferentes fitofisionomias do Cerrado e; destacar a relevância do Cerrado e Miombo no contexto do ciclo global de carbono.

No **Capítulo II**, “*Biomassa subterrânea de cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos*”, avaliamos a biomassa subterrânea e o estoque de nutrientes em raízes de cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos e apresentamos resultados inéditos coletados em duas localidades do oeste da Bahia, Correntina e São Desidério.

No **Capítulo III**, “*Arquitetura de copas da vegetação nativa de Cerrado e Floresta de transição*”, apresentamos as análises dos dados de copas de árvores coletados em três ambientes distintos: cerrado sentido restrito na área *core* do Bioma, cerrado sentido restrito em áreas de transição (ecótono Cerrado/Floresta Amazônica) e florestas de transição no ecótono Cerrado/Floresta Amazônica.

No **Capítulo IV**, “*Variação multi temporal na biomassa aérea da vegetação lenhosa de cerrado sentido restrito*”, analisamos a variação, ao longo do tempo, na biomassa aérea e estoque de carbono do cerrado sentido restrito e apresentamos dados coletados em oito localidades inseridas na área *core* do bioma. Estas localidades foram selecionadas por representarem a variação florístico-estrutural inerente ao cerrado sentido restrito, permitindo o entendimento da dinâmica da biomassa vegetal nesta fitofisionomia.

Justificativa

O Cerrado foi selecionado para este estudo porque é o segundo maior bioma brasileiro em extensão geográfica (Klink & Machado 2005), faz contato com a Floresta Amazônica, Caatinga, Pantanal e Floresta Atlântica e é considerado o “berço das águas”, pois abriga as nascentes das três maiores bacias hidrográficas sul americanas (Felfili & Silva Júnior 2005).

Apesar da expressiva importância do Cerrado, principalmente no que diz respeito à regulação da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea, estimativas indicam significativa perda de área coberta por vegetação nativa. Em 2002 os remanescentes de vegetação de Cerrado foram estimados em 55,7% da área do bioma e em 2008 este valor caiu para 51,5%. Assim, a taxa de desmatamento foi estimada em 14.200 km²/ano (MMA/IBAMA/PNUD 2009). As principais formas de uso da terra são pastagens cultivadas, encontradas principalmente nos estados de Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, e culturas comerciais que ocupam significativas áreas de Goiás, Mato Grosso e São Paulo (Sano *et al.* 2010).

Dada a grande extensão do Cerrado em área, perturbações humanas podem alterar a dinâmica global de carbono e, conseqüentemente, de outros gases de efeito estufa (Castro & Kauffman 1998). Assim, são fundamentais estudos que visem quantificar o estoque de carbono no Cerrado, pois estes ajudarão a reduzir as incertezas sobre o papel da vegetação no ciclo deste elemento em escala global.

Revisão Bibliográfica

Papel das Savanas no Ciclo do Carbono

As savanas tropicais ocupam vasta área da superfície terrestre entre as florestas equatoriais chuvosas e a latitude média dos desertos e semidesertos (Cole 1986). São encontradas na África, Austrália, América do Sul, Índia e sudeste da Ásia. Este tipo de ecossistema ocorre em áreas onde o clima é marcado por forte sazonalidade, os verões são úmidos e os invernos secos (Cole 1986, Walker 1987).

A vegetação das savanas se caracteriza por contínua camada herbácea entremeada por árvores e/ou arbustos esparsos (Knoop & Walker 1985, Cole 1986, Goedert *et al.* 2008). O carbono do componente lenhoso é fixado principalmente via fotossíntese C₃ e a via C₄ é mais comum na camada graminosa. O balanço entre os componentes arbóreo e herbáceo é dinâmico e deve-se às variações na disponibilidade de umidade e nutrientes no solo, luz, além de temperatura e mudanças atmosféricas na concentração de gás carbônico (CO₂) (Cole 1986, Beringer *et al.* 2007).

É de suma importância entender o funcionamento das savanas tropicais, pois elas cobrem cerca de 40% da superfície dos trópicos (23 milhões de km²) e abrigam 1/5 da população humana mundial, fato que implica em elevado impacto humano sobre estes ecossistemas (Grace *et al.* 2006, Goedert *et al.* 2008). Além disso, pelo fato de serem frequentemente queimadas, seu manejo pode influenciar os balanços de energia, água e carbono, tanto na escala regional quanto global, e os produtos da combustão podem significativamente alterar a química atmosférica (Grace *et al.* 2006).

A quantificação do carbono nos ambientes tropicais tem recebido mais atenção (Kauffman *et al.* 1994). O conhecimento do carbono fixado nos ecossistemas naturais será de grande relevância uma vez que a vegetação contribui para a estabilidade ambiental, por exemplo, com a mitigação das temperaturas extremas, aumento das precipitações regionais, prevenção da erosão e deterioração do solo e exerce papel fundamental no ciclo do carbono (Fearnside 2008).

Nos sistemas terrestres a vegetação e os solos são os principais drenos globais de carbono com, respectivamente, 640 e 1.358 Gt.C.ano⁻¹ (Gt=10⁹ Mg) (Hessen *et al.* 2004). Nas savanas tropicais, cerca de 80% do carbono orgânico total está no solo. Contudo, a distribuição deste ocorre em manchas, com altos níveis sob as árvores. A retirada da cobertura arbórea pode levar ao declínio de carbono no solo por vários anos; por outro lado, o crescimento e adensamento arbóreo podem estocar mais carbono, tanto na biomassa quanto no solo (Scurlock & Hall 1998).

Biomassa e carbono contidos em diferentes componentes da vegetação são parâmetros chave para o cálculo da emissão de partículas e gases de efeito estufa resultantes da queima em savanas, além de serem utilizados em planos sustentáveis de recursos florestais (Zianis *et al.* 2005). Estes parâmetros têm sido determinados para diferentes tipos de savanas em várias partes do mundo.

Em Orinoco, Venezuela, San José *et al.* (1998) avaliaram as mudanças no estoque de carbono em uma savana protegida. Ao longo de 25 anos ocorreram mudanças significativas na estrutura da vegetação de áreas protegidas de distúrbios como o fogo e pastejo por gado, culminando com formação semelhante à floresta semidecídua. Assim, o estoque de carbono na parte aérea da vegetação aumentou de 0,21 Mg.ha⁻¹ na savana queimada para 80,06 Mg.ha⁻¹ na floresta semidecídua. Com relação ao estoque de carbono total na vegetação este valor aumentou de 0,36 Mg.ha⁻¹ na savana queimada para 92,15 Mg.ha⁻¹ na floresta semidecídua. Estes resultados mostraram que as savanas protegidas podem acumular carbono após décadas. Mas, segundo os autores, as mudanças foram resultantes não apenas das modificações nos estoques de carbono nos componentes arbóreo e herbáceo, mas também do *feed back* entre propriedades atmosféricas, variações no albedo e recursos hidrológicos, afetando os balanços de água e energia na escala local.

Na savana de Minnesota, meio oeste dos Estados Unidos, Tilman *et al.* (2000) analisaram por 35 anos os efeitos de diferentes frequências de queimadas na vegetação. A maior quantidade de carbono total do ecossistema foi encontrada no tratamento com supressão do fogo que propiciou o incremento na massa de lenhosas. Ao longo do tempo, as diferentes frequências de fogo levaram às mudanças na estrutura da vegetação. Assim, nos tratamentos com frequência moderada de fogo houve substituição da fisionomia savânica para savana arborizada e nas áreas com a supressão total do fogo presença de floresta de carvalhos com dossel mais fechado. Este trabalho corroborou a proposta que a supressão do fogo e/ou diminuição de queimadas antropogênicas na vegetação pode significativamente influenciar a dinâmica global do carbono.

No norte da Austrália, savana dominada por *Eucalyptus* apresentou estoque total de carbono de 204 Mg.ha⁻¹, com aproximadamente 84% na camada subterrânea e 16% na camada aérea, com produção líquida do ecossistema de 3,8 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹. Com relação à biomassa vegetal, foi encontrado 53 Mg.ha⁻¹ de carbono dos quais 39% foram encontrados nas raízes e 61% na biomassa aérea das árvores, arbustos e gramíneas. Segundo os autores, a savana estudada é dreno de carbono durante a estação úmida e fraca fonte durante a estação seca (Chen *et al.* 2003).

Em Moçambique, Ryan *et al.* (2011) avaliaram os estoques de carbono associados ao Miombo. Os autores realizaram amostragem destrutiva de 29 árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) variando entre 5 cm e 73 cm, a partir desta amostragem foi desenvolvida equação alométrica que relaciona diâmetro do tronco de árvores com biomassa radicular. O estoque de carbono total do ecossistema foi estimado em 110 Mg.C/ha, destes 76,3 Mg.C/ha (70%) foram encontrados no solo (profundidade até 50 cm), as árvores estocaram 21,2 Mg.C/ha no tronco e 8,5 Mg.C/ha nas raízes grossas, já as mudas contribuíram com 3,6 Mg.C/ha. Com base na equação alométrica desenvolvida os autores encontraram, em nível de parcela, razão raiz: tronco variando entre 0,27 e 0,58 (média 0,42).

No contexto de mudança global há interesse em fontes e drenos de gases de efeito estufa, pois estes são importantes para se entender a magnitude e os determinantes dos fluxos causados por fogo manejado e natural em ecossistemas savânicos (Lal 2008). O entendimento dos parâmetros regulatórios do sequestro e balanço líquido de carbono no ecossistema é imprescindível (Hessen *et al.* 2004).

Beringer *et al.* (2007) encontraram para as savanas do norte da Austrália taxa de sequestro de carbono ($-2,0 \text{ Mg.C.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) maior que a encontrada por Grace *et al.* (2006) para as savanas em nível global ($-0,14 \text{ Mg.C.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), fato devido à maior precipitação média local, ausência de herbívoros e vegetação dominada por Eucaliptos, espécies bem adaptadas à variação sazonal. A alta taxa de sequestro de carbono ocorre independente do regime anual de fogo, pois as espécies dominantes apresentam casca grossa para proteção contra o fogo e sistema radicular com raízes superficiais e profundas que mantêm a disponibilidade de umidade e permite a absorção de CO_2 o ano todo. Porém, segundo os autores, não se sabe a duração e a robustez deste dreno de carbono, pois a redução na frequência do fogo pode propiciar o crescimento de lenhosas, mas possivelmente a limitação por nutrientes irá saturar este dreno.

Ciais *et al.* (2009) encontraram que o ecossistema africano foi fonte de $0,14 \text{ Pg.C.ano}^{-1}$ em 1980 e passou a ser dreno de $0,15 \text{ Pg.C.ano}^{-1}$ em 1990, dado que demonstrou que as mudanças climáticas podem alterar a condição do continente africano. Esta alteração foi possível porque a fotossíntese aumentou e excedeu a respiração e as emissões de CO_2 por fogo durante as últimas décadas. O dreno de carbono para a savana foi $0,05 \text{ Pg.C.ano}^{-1}$, e a taxa fotossintética das savanas foi fortemente relacionada com mudanças nos regimes de chuvas.

Os fluxos de carbono nas savanas são altamente sazonais e caracterizados pela variabilidade interanual causada pelo fogo (Grace *et al.* 2006). A queima de biomassa é a principal fonte de emissão de gases de efeito estufa. O fogo afeta o clima, muda o albedo, a umidade do solo, altera a cobertura vegetal, regimes de temperatura e a ciclagem de alguns elementos e da água (Lal 2008). Simulações realizadas por Hoffmann & Jackson (2000) nas savanas da América do Sul, África e Austrália indicaram que os padrões humanos de uso da terra têm o potencial de alterar o clima das savanas tropicais, principalmente por reduzir a precipitação e aumentar a temperatura. A simulação de diminuição de 10% na precipitação levou à conversão de savana para vegetação campestre em quatro das cinco áreas estudadas. Em ambientes com disponibilidade sazonal de água, a redução na precipitação pode ter consequências ecológicas e econômicas consideráveis.

É importante ressaltar que o manejo inadequado das savanas pode resultar em degradação da vegetação e solo, e levar a perdas líquidas de carbono para a atmosfera (Grace *et al.* 2006). O impacto humano sobre as savanas tropicais tem liberado grandes quantidades de CO₂ devido às mudanças no carbono do solo associada com retirada da vegetação lenhosa e aumento de áreas cultivadas (San José *et al.* 1998).

A contribuição de savanas no ciclo global de carbono tem sido negligenciada, com inventários de carbono em geral reportados somente para sistemas florestais (Grace *et al.* 2006). Assim, é necessário reconsiderar a premissa de que os drenos terrestres de carbono estão localizados primariamente em florestas do hemisfério norte (Scurlock & Hall 1998).

Cerrado Brasileiro

O Cerrado figura entre as savanas tropicais mais ricas e diversas do mundo (Klink & Machado 2005) e se destaca em extensão geográfica ocupando significativa porção da América do Sul. Originalmente ocupava cerca de 20% do território nacional, além de pequenas áreas do leste boliviano e noroeste paraguaio (Oliveira-Filho & Ratter 2002). Sua distribuição é altamente coincidente com a região do Planalto Central (Felfili & Silva Júnior 2005) e apresenta 22,4° de variação em latitude, com altitudes que variam de próximas ao nível do mar até 1.800 m (Sano *et al.* 2010).

A localização do Cerrado confere importância estratégica ao Brasil, pois compõe parte do “corredor de vegetação xérica” que inclui a Caatinga no nordeste brasileiro e o Chaco no Paraguai-Bolívia-Argentina e liga as duas principais áreas de floresta tropical úmida sul americanas: Floresta Amazônica e Floresta Atlântica (Cole 1986). O Cerrado apresenta em sua paisagem mosaico de fitofisionomias que variam de formas campestres,

savânicas com variação na cobertura lenhosa, até florestais, com diferentes graus de deciduidade e umidade (Ribeiro & Walter 2008).

Dentre as fitofisionomias do Cerrado, o cerrado sentido restrito é a que melhor caracteriza o aspecto savânico do bioma (Felfili & Silva Júnior 2005, Ribeiro & Walter 2008). Este tipo de vegetação apresenta grande complexidade de fatores condicionantes e é subdividido em denso, típico, ralo e rupestre (Felfili *et al.* 2004, Ribeiro & Walter 2008). Os subtipos variam de predominantemente arbóreo, cobertura arbórea entre 50% e 70% e altura média de 5 m a 8 m, até vegetação arbóreo-arbustiva com cobertura arbórea de 5% a 20% e altura média de 2 m a 3 m. E no caso do cerrado rupestre a vegetação ocorre associada aos ambientes rochosos (Ribeiro & Walter 2008).

De acordo com Castro (1994), no cerrado há três grandes supercentros de biodiversidade: cerrado do Sudeste Meridional, cerrado do planalto Central e cerrado do Nordeste. A discriminação desses supercentros ocorreria devido a, principalmente, duas barreiras climáticas: o polígono das secas e das geadas e as cotas altimétricas de 400 m–500 m e 900 m–1.000 m de altitude média. Ou seja, o padrão de distribuição das espécies vegetais é determinado por variações na altitude e latitude.

Diante da alta complexidade em apenas uma fitofisionomia, somado à extensão geográfica e proximidade com outros biomas tropicais, o Cerrado apresenta alta biodiversidade até recentemente desconhecida (Silva *et al.* 2006). Dados atuais mostraram que sua flora vascular é constituída por mais de 11.000 espécies (Mendonça *et al.* 2008), além disso, o Cerrado apresenta o segundo maior número de endemismos em espécies de plantas com sementes (4.151 espécies), atrás apenas da Floresta Atlântica (Forzza *et al.* 2010).

Apesar da elevada biodiversidade, no Brasil desde 1970 há crescente pressão econômica e política para povoar e “desenvolver” a região do Cerrado (Alho & Martins 1995, Sano *et al.* 2010). O avanço de culturas comerciais levou à fragmentação da paisagem, perda de biodiversidade, invasão biológica, erosão do solo, poluição das águas e mudanças nos regimes de fogo (Klink & Moreira 2002). Em apenas 40 anos mais de 40% do Cerrado foram completamente desmatados e convertidos para usos antrópicos intensivos (Dias 2008). Devido a este cenário de degradação e à alta biodiversidade que abriga, o Cerrado é considerado um *hotspot* mundial de biodiversidade (Mittermeier *et al.* 2005).

Diante do exposto, para o Cerrado são necessários estudos sobre produtividade, análise de energia e contribuições para práticas de manejo e ciclagem global do carbono

(Abdala *et al.* 1998). Estudos que visem quantificar os principais estoques de carbono no Cerrado são relevantes, pois é ecossistema que apresenta longa história de fogo, fator que exerce importante papel ecológico nas savanas, estruturando a vegetação por seleção de espécies ao longo de milhares de anos (Coutinho 1990, Bond *et al.* 2005). O fogo, em escala local, altera a cobertura vegetal, muda o albedo e a umidade do solo, mas em escala maior afeta o clima, regimes de temperatura e a ciclagem de alguns elementos (Lal 2008).

Apesar da vegetação de Cerrado apresentar certa resiliência às queimadas, os ciclos biogeoquímicos são alterados pela mineralização dos nutrientes contidos na biomassa queimada (Bustamante & Oliveira 2008). Pivello & Coutinho (1992) realizaram experimento para quantificar as transferências de macronutrientes da vegetação herbáceo-subarbusciva para a atmosfera em área de campo cerrado no estado de São Paulo e encontraram que, em média, 95% do nitrogênio e entre 42% e 59% do fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, inicialmente contidos na fitomassa, são liberados para a atmosfera. Além disso, as estimativas desses autores mostraram que seria necessário e adequado intervalo de três anos entre queimadas sucessivas para promover a ciclagem sem afetar negativamente o balanço nutricional do ecossistema.

Espera-se que os regimes de fogo sejam alterados ao longo deste século, principalmente devido às mudanças no uso da terra e aquecimento global (Hoffmann 1999). Estas alterações podem ocasionar perdas nos estoques de carbono e nitrogênio na biomassa viva e morta e no transporte de nutrientes através da atmosfera (Bustamante & Oliveira 2008). O fogo tende a favorecer plantas herbáceas devido à subsequente redução no recrutamento de árvores (Mistry 1998, Moreira 2000), além disso, o aumento na sua frequência reduz a densidade e tamanho de plantas lenhosas (Hoffmann 1999). Estudar áreas com diferentes regimes de fogo é importante, pois distúrbios naturais ou antropogênicos podem causar profundos efeitos sobre a estrutura de comunidades de plantas (McGinley & Tilman 1993).

A manutenção da vegetação está associada à manutenção de biodiversidade, ciclo hidrológico e armazenamento de carbono (Fearnside 2008). As árvores estocam carbono tanto na biomassa acima quanto abaixo do solo (Houghton 1994, Bustamante & Oliveira 2008). No caso do Cerrado, o gradiente de tipos vegetacionais corresponde ao gradiente de biomassa e de capacidade de fixação de carbono, com significativa partição de biomassa entre sistema radicular e parte aérea (Durigan 2004). Segundo Castro & Kauffman (1998), a proporção raiz/parte aérea viva da vegetação varia de 2,6 no cerrado aberto a 7,7 no

campo sujo e os tecidos subterrâneos representam entre 65% e 76% da biomassa total do ecossistema.

No Cerrado do Brasil Central, autores como Castro & Kauffman (1998) estudaram o gradiente vegetacional e encontraram valores de biomassa aérea que variou de 5,5 Mg.ha⁻¹ a 24,9 Mg.ha⁻¹, com a biomassa arbórea significativamente maior no cerrado denso. Já a biomassa subterrânea variou de 16,3 Mg.ha⁻¹ em campo limpo a 52,9 Mg.ha⁻¹ em cerrado denso. A biomassa total do ecossistema variou de 21,9 Mg.ha⁻¹ no campo limpo a 77,9 Mg.ha⁻¹ no cerrado denso. Abdala *et al.* (1998) estimaram a biomassa aérea para o componente lenhoso de cerrado típico em 26 Mg.ha⁻¹. Ottmar *et al.* (2001), utilizando fotografias e estéreo-fotografias, estudaram várias fitofisionomias em diferentes localidades. No cerrado ralo a biomassa total variou de 12,55 Mg.ha⁻¹ a 39,05 Mg.ha⁻¹, no cerrado *sensu stricto* a biomassa total mínima foi 20,9 Mg.ha⁻¹ e a máxima 58,01 Mg.ha⁻¹, já nas áreas de cerrado denso, a biomassa total variou entre 29,9 Mg.ha⁻¹ e 71,89 Mg.ha⁻¹. Rezende *et al.* (2006) estimaram para o cerrado sentido restrito os valores de volume, biomassa verde e seca, e estoque de carbono da vegetação lenhosa em, respectivamente, 25,10 m³.ha⁻¹, 20,05 Mg.ha⁻¹, 9,85 Mg.ha⁻¹ e 4,93 Mg.ha⁻¹. Paiva *et al.* (2011) estimaram estoque de carbono total para troncos e galhos da vegetação de cerrado *sensu stricto* em 8,60 Mg.ha⁻¹, sendo que a distribuição deste tende à diminuir das menores para as maiores classes de diâmetro, fato relacionado à redução na densidade de indivíduos com o aumento das classes de diâmetro. Na serapilheira os autores encontraram estoque de carbono médio 3,62 Mg.ha⁻¹, as raízes estocaram 15,89 Mg.ha⁻¹ de carbono e o solo foi o compartimento mais representativo com estoque de carbono de 271,23 Mg.ha⁻¹ (até 200 cm de profundidade).

Para o estado de São Paulo, o gradiente de biomassa dos diferentes tipos de vegetação variou desde 30 Mg.ha⁻¹ nos campos cerrados de Itirapina, passando por cerca de 50 Mg.ha⁻¹ nos cerrados típicos, 100 Mg.ha⁻¹ nos cerradões do oeste do estado, 200 Mg.ha⁻¹ nas florestas da Serra do Mar e ao redor de 250 Mg.ha⁻¹ em alguns poucos remanescentes de floresta estacional semidecidual (Durigan 2004). Especificamente para a Estação Ecológica de Assis, Pinheiro (2008) encontrou valores médios para o cerrado sentido restrito semelhantes aos encontrados para os cerrados no Brasil Central, com fitomassa aérea de 23,22 Mg.ha⁻¹ e total de 28,88 Mg.ha⁻¹. Para a fitofisionomia de cerradão os valores médios de fitomassa aérea foi de 98,18 Mg.ha⁻¹ e total de 118,36 Mg.ha⁻¹.

Fearnside *et al.* (2009) compararam dados de biomassa de floresta e cerrado na região do “arco do desmatamento” no Mato Grosso. As estimativas mostraram que a biomassa aérea da floresta foi 269,3 Mg.ha⁻¹ e de cerrado 23 Mg.ha⁻¹, enquanto a biomassa subterrânea na floresta foi 53,8 Mg.ha⁻¹ e no cerrado 36 Mg.ha⁻¹. As perdas líquidas de estoque de carbono na floresta e cerrado foram, respectivamente, 29 x 10⁶ Mg.C.ano⁻¹ e 0,5 x 10⁶ Mg.C.ano⁻¹. Nos estados do Mato Grosso e Goiás, Potter *et al.* (2009) analisaram com o modelo NASA-CASA zonas com fisionomia lenhosa de Cerrado. As análises mostraram que a vegetação lenhosa de Cerrado, como a Floresta Amazônica, também foi impactada pelos eventos de *El Niño*. Para as zonas de Cerrado a produtividade líquida anual oscilou de dreno líquido na ordem de +30 g.C.m⁻².ano⁻¹ durante 2001 e 2003, para fonte líquida na ordem de -25 g.C.m⁻².ano⁻¹ durante 2002. As zonas de Cerrado estudadas mostraram comportamento de produtividade anual líquida do ecossistema similar à parte sul da Amazônia, mas os fluxos foram aproximadamente 1/3 dos mensurados na região Amazônica.

Com relação aos enclaves de “vegetação savânica” em Roraima, norte da Floresta Amazônica brasileira, Barbosa & Fearnside (2005) encontraram valores de biomassa aérea total que variou de 1,6 a 3,3 Mg.ha⁻¹ para a savana gramínea, 3,2 a 4,0 Mg.ha⁻¹ para savana gramínea com árvores esparsas, 6,1 a 8,0 Mg.ha⁻¹ para savana parque e 10,2 a 11,7 Mg.ha⁻¹ savana arborizada.

Análise da vegetação lenhosa de cerrado sentido restrito em 25 localidades na Bahia, Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso e Minas Gerais (Felfili 2008) mostrou que a distribuição da riqueza se concentra nas classes de diâmetro entre 5 e 11 cm, que abrigaram cerca de 90% das espécies lenhosas amostradas. Quanto à densidade, o intervalo de 1.000 a 1.400 ind.ha⁻¹ pode ser considerado representativo para o cerrado em Latossolos e de 400 a 1.000 ind.ha⁻¹ para os cerrados sobre outros tipos de solos. Os valores de área basal concentraram-se entre 6 e 12 m².ha⁻¹ e o volume da parte aérea variou entre 20 e 58 m³.ha⁻¹. O estoque de carbono da parte aérea por localidade variou de 3,71 Mg.C.ha⁻¹ a 13,27 Mg.C.ha⁻¹ e o estoque de carbono total variou de 14,66 Mg.C.ha⁻¹ a 50 Mg.C.ha⁻¹. A análise integrada dos dados mostrou que o limite máximo de 29 cm de diâmetro incluiu mais de 85% da riqueza, densidade, produção em área basal, volume e estoque de carbono do cerrado.

Os dados apresentados mostraram que há variação nas estimativas de biomassa citadas na literatura, e isto se deve à heterogeneidade na estrutura da vegetação de Cerrado, à sazonalidade climática e da vegetação, à frequência de queimadas, ao tempo da última

queimada, bem como, às diferentes metodologias aplicadas (Furley 1999, Bustamante & Oliveira 2008). Contudo, a estimativa acurada da biomassa vegetal e seu padrão de mudança no tempo é fundamental para ajudar a aumentar a precisão sobre a função da vegetação no ciclo do carbono (Sedjo 1992, Brown *et al.* 1999). Além disso, este tipo de informação serve de base para calibração de modelos e monitoramento remoto de grandes biomas como o Cerrado e a Floresta Amazônica (Asner *et al.* 2005, Sano *et al.* 2010).

Há alto grau de incerteza nas estimativas de densidade de carbono para as savanas, particularmente no componente subterrâneo da biomassa (Grace *et al.* 2006). Mas, apesar disso, deve-se tomar cuidado com a atual tendência à estocagem de carbono utilizando plantios florestais de espécies exóticas com crescimento rápido como *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp. (Montero 2008). Dados atuais mostraram que os plantios dessas espécies alteraram o acúmulo de carbono e a ciclagem de nutrientes em áreas originalmente ocupadas por cerradão em São Paulo. Foi demonstrado que estas espécies alteram a qualidade da serapilheira por acidificar o solo (Montero 2008). Além disso, na literatura são reportados impactos negativos destas culturas sobre cursos d'água e capital nutricional do solo (Jackson *et al.* 2005, Tang *et al.* 2007).

Nesta tese abordamos o papel da vegetação no estoque de carbono, porém este é um dos serviços ecossistêmicos ofertados pela vegetação de Cerrado. A manutenção da vegetação nativa proporciona também a manutenção da biodiversidade, ciclo hidrológico e integridade do solo. Estes serviços ratificam a importância de se conservar o Cerrado, ampliar as estratégias de uso sustentável e aumentar o número de unidades de conservação de proteção integral, atualmente apenas 2,91% da área total do bioma está protegido em parques nacionais (MMA/IBAMA/PNUD 2009).

Bibliografia

- ABDALA, G., L. CALDAS, M. HARIDASAN, AND G. EITEN, 1998. Above and belowground organic matter and root:shoot ratio in a cerrado in Central Brazil. *Brazilian Journal of Ecology* 2: 11-23.
- ALHO, C.J.R., AND E.S. MARTINS, 1995. De grão em grão o Cerrado perde espaço. Impactos do processo de ocupação. Brasília: WWF. 65 p (Documento para discussão).
- ASNER, G.P., D.E. KNAPP, E.N. BROADBENT, P.J.C. OLIVEIRA, M. KELLER, AND J.N. SILVA, 2005. Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science* 310: 480-2.
- BARBOSA, R., AND P. FEARNSIDE, 2005. Above-ground biomass and the fate of carbon after burning in the savannas of Roraima, Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 216: 295-316.
- BERINGER, J., L.B. HUTLEY, N.J. TAPPER, AND L.A. CERNUSAK, 2007. Savanna fires and their impact on net ecosystem productivity in North Australia. *Global Change Biology* 13: 990-1004.

- BOND, W.J., F.I. WOODWARD, AND G.F. MIDGLEY, 2005. The Global Distribution of Ecosystems in a World without Fire. *New Phytologist* 165: 525-537.
- BROWN, S.L., P. SCHROEDER, AND J.S. KERN, 1999. Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. *Forest Ecology and Management* 123: 81-90.
- BUSTAMANTE, M.M.C, AND E.L. OLIVEIRA. 2008. Impacto das atividades agrícolas, florestais e pecuárias nos recursos naturais. In FALEIRO, F.G., AND A.L. FARIAS NETO (Eds.). *Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados. p. 303-33.
- CASTRO, A.A.J.F. 1994. Comparação florística de espécies do cerrado. *Silvicultura* 15(58): 8-16.
- CASTRO, E., AND J. KAUFFMAN, 1998. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. *Journal of Tropical Ecology* 14: 263-283.
- CHEN, X., L.B. HUTLEY, AND D. EAMUS, 2003. Carbon balance of a Tropical Savanna of Northern Australia. *Oecologia* 137: 405-416.
- CIAIS, P., S.-L. PIAO, P. CADULE, P. FRIEDLINGSTEIN, AND A. CHÉDIN, 2009. Variability and recent trends in the African terrestrial carbon balance. *Biogeosciences* 6: 1935-1948.
- COLE, M.M. 1986. The savannas: biogeography and geobotany. Academic Press. Pp. 1-58.
- COUTINHO, L.M. 1990. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: GOLDAMMER, J.G. *Fire in the tropical biota: ecosystem processes and global challenges*. Berlin, Springer-Verlag, p: 82-103.
- DIAS, B.F.S. 2008. Conservação da biodiversidade no bioma Cerrado: histórico dos impactos antrópicos no bioma Cerrado. In FALEIRO, F.G., AND A.L. FARIAS NETO (Eds.). *Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados. p. 303-33.
- DURIGAN, G. 2004. Estimativas de estoque de carbono na vegetação natural do estado de São Paulo. In G. DURIGAN (Ed.) *Oportunidades de negócios em segmentos produtivos nacionais*. pp. 1-6. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.
- FEARNSIDE, P. 2008. Quantificação do serviço ambiental do carbono nas florestas amazônicas brasileiras. *Oecologia Brasileira* 12(4): 743-756.
- FEARNSIDE, P.M., C.A. RIGHI, P. GRAÇA, E.W.H. KEIZER, C.C. CERRI, E.M. NOGUEIRA, AND R.I. BARBOSA, 2009. Biomass and greenhouse-gas emissions from land-use change in Brazil 's Amazonian " arc of deforestation "": The states of Mato Grosso and Rondônia. *Forest Ecology and Management* 258: 1968-1978.
- FELFILI, M. 2008. Proposição de critérios florísticos, estruturais e de produção para o manejo do cerrado *sensu stricto* do Brasil Central. Tese de doutorado, Universidade de Brasília, 133p. Brasília, DF.
- FELFILI, J.M., AND M.C. SILVA JÚNIOR, 1993. A comparative study of cerrado (*sensu stricto*) vegetation in Central Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 9: 277-289.
- FELFILI, J.M., AND M.C. SILVA JÚNIOR. 2005. Diversidade alfa e beta no cerrado *sensu stricto*, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Bahia. Pp.143-154. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J.C., AND FELFILI, J.M. *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.
- FELFILI, J.M., M.C. SILVA JÚNIOR, A.C. SEVILHA, C.W. FAGG, B.M.T. WALTER, P.E. NOGUEIRA, AND A.V. REZENDE. 2004. Diversity, floristic and structural patterns of cerrado vegetation in Central Brazil. *Plant Ecology*, 175: 37-46.
- FORZZA, R.C., J.F. BAUMGRATZ, C.E.M. BICUDO, D.A.L CANHOS, A.A. CARVALHO-JÚNIOR, A. COSTA, D. COSTA, M. HOPKINS, P.M. LEITMAN, L.G. LOHMANN, E. NIC-LUGHADHA, L.C. MAIA, G. MARTINELLI, M. MENEZES, M.P. MORIM, M.A.N. COELHO, A.L. PEIXOTO, J.R. PIRANI, J. PRADO, L.P. QUEIROZ, S. SOUZA, V.C. SOUZA,

- J.R. STEHMANN, L.S. SYLVESTRE, B.M.T. WALTER, AND D. ZAPPI, 2010. Síntese da diversidade brasileira. In: FORZZA, R.C. *et al.* (Eds.). Catálogo de Plantas e Fungos do Brasil. Rio de Janeiro vol. 1, p. 21-39.
- FURLEY, P.A., 1999. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados. *Global Ecology and Biogeography* 8: 223-241.
- FURLEY, P.A. AND J. A. RATTER, 1988. Soil resources and plant communities of the central Brazilian cerrado and their development. *Journal of Biogeography* 15(1): 97-108.
- GOEDERT, W.J., E. WAGNER, AND A.O. BARCELLOS, 2008. Savanas tropicais: dimensão, histórico e perspectivas. In FALEIRO, F.G., AND A.L. FARIAS NETO (Eds.). Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados. p. 303-33.
- GRACE, J., J. SAN JOSE, P. MEIR, H. MIRANDA, AND R. MONTES, 2006. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. *Journal of Biogeography* 33: 387-400.
- HESSEN, D.O., G.I. AGREN, T.R. ANDERSON, J.J. ELSER, P.C. DE, S. ECOLOGY, AND N. MAY, 2004. Carbon Sequestration in Ecosystems: The Role of Stoichiometry. *Ecology* 85: 1179-1192.
- HOFFMANN, W.A., 1999. Fire and Population Dynamics of Woody Plants in a Neotropical Savanna: Matrix Model Projections. *Ecology* 80: 1354-1369.
- HOUGHTON, R.A., 1994. The worldwide extent of land-use change. *Bioscience* 44: 305-313.
- JACKSON, R.B., E.G. JOBBAGY, R. AVISSAR, S.B. ROY, D.J. BARRETT, C.W. COOK, K.A. FARLEY, D.C. MAITRE, B.A. MCCARL, AND B.C. MURRAY, 2005. Trading Water for Carbon with Biological Carbon Sequestration. *Science* 310: 1944-1947.
- KAUFFMAN, J.B., D.L. CUMMINGS, AND D.E. WARD, 1994. Relationships of Fire, Biomass and Nutrient Dynamics along a Vegetation Gradient in the Brazilian Cerrado. *The Journal of Ecology* 82: 519-531.
- KLINK, C.A., AND R.B. MACHADO, 2005. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade* 1(1): 147-155.
- KLINK, C.A., AND A.G. MOREIRA, 2002. Past and Current Human Occupation, and Land Use. In OLIVEIRA, O.S., AND R.J. MARQUIS (eds.). *The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. Columbia University Press, New York, pp. 69-88.
- KNOOP, W.T., AND B.H. WALKER, 1985. Interactions of woody and herbaceous vegetation in a southern African savanna. *Journal of Ecology* 73: 235-253.
- LAL, R. 2008. Savannas and global climate change: source or sink of atmospheric CO₂. In FALEIRO, F.G., AND A.L. FARIAS NETO, (Eds.). *Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados. p. 81-102.
- LEWINSOHN, T.M., AND P.I. PRADO, 2002. Biodiversidade brasileira: síntese do estado atual do conhecimento. São Paulo: Contexto, 176p.
- MCGINLEY, M.A., AND D. TILMAN, 1993. The University of Notre Dame Short-term Response of Old-field Plant Communities to Fire and Disturbance. *American Midland Naturalist* 129: 409-413.
- MENDONÇA, R.C., J.M. FELFILI, B.M.T. WALTER, M.C. SILVA JÚNIOR, A.V. REZENDE, T.S. FILGUEIRA, AND P.E. NOGUEIRA, 2008. Flora vascular do Cerrado. In: SANO, S.M., S.P. ALMEIDA, AND J.F. RIBEIRO (eds.). *Cerrado: ecologia e flora*. Embrapa Cerrados. Brasília-DF.

- MITTERMEIER, R.A.; P. ROBLES, M. HOFFMAN, J. PILGRIM, T. BROOKS, C.G. MITTERMEIER, J. LAMOREUX, AND G.B. FONSECA, 2005. Hotspots revisited. *Conservação Internacional/CI, Agrupación Sierra Madre*. Pp. 15-96.
- MISTRY, J., 1998. Fire in the cerrado (savannas) of Brazil: an ecological review. *Progress in Physical Geography* 22: 425-448.
- MMA, IBAMA, AND PNUD, 2009. Relatório técnico de monitoramento do desmatamento no bioma cerrado, 2002 a 2008: Dados Revisados. Acordo de Cooperação Técnica. Brasília-DF.
- MONTERO, L.L., 2008. Carbono em solos de cerrado: efeitos do uso florestal. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, Departamento de Ecologia. 130 p.
- MOREIRA, A.G., 2000. Effects of Fire Protection on Savanna Structure in Central Brazil. *Journal of Biogeography* 27: 1021-1029.
- OLIVEIRA-FILHO, A.T., AND J.A. RATTER, 2002. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. In OLIVEIRA, O.S., AND R.J. MARQUIS (eds.). *The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. Columbia University Press, New York, p. 91-120.
- OTTMAR R.D., R.E. VIHMANEK, H.S. MIRANDA, M.N. SATO, AND S.M. ANDRADE. 2001. Stereo photo series for quantifying Cerrado fuels in Central Brazil – Volume I. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-519. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- PAIVA, A.O., A.V. REZENDE, AND R.S. PEREIRA. 2011. Estoque de carbono em cerrado *sensu stricto* do Distrito Federal. *Revista Árvore* 35: 527-538.
- PINHEIRO, E. 2008. Análises ecológicas e sensoriamento remoto aplicados à estimativa de fitomassa de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP. Tese de doutorado, Universidade de São Carlos, 190p.
- PIVELLO, V.R., AND L. COUTINHO. 1992. Transfer of Macro-Nutrients to the Atmosphere during Experimental Burnings in an Open Cerrado (Brazilian Savanna). *Journal of Tropical Ecology* 8: 487-497.
- POTTER, C., S. KLOOSTER, A. HUETE, V. GENOVESE, M. BUSTAMANTE, L.G. FERREIRA, R.C. OLIVEIRA JR, AND R. ZEPP, 2009. Terrestrial carbon sinks in the Brazilian Amazon and Cerrado region predicted from MODIS satellite data and ecosystem modeling. *Biogeosciences* 6: 937-945.
- REZENDE, A.V., A.T. VALE, C.R. SANQUETTA, A.F. FILHO, AND J.M. FELFILI, 2006. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF. *Scientia Forestalis* 71: 65-76.
- RIBEIRO, J.F., S. BRIDGEWATER, J.A. RATTER, AND J.C. SOUSA-SILVA, 2005. Ocupação do bioma Cerrado e conservação da sua diversidade vegetal. Pp: 385-399. In: SCARIOT, A., J.C. SOUSA-SILVA, AND J.M. FELFILI (orgs.). *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.
- RIBEIRO, J.F., AND B.M.T. WALTER, 2008. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S.M., S.P. ALMEIDA, AND J.F. RIBEIRO (eds.). *Cerrado: ecologia e flora*. Embrapa Cerrados. Brasília-DF, p. 153-212.
- ROBINSON, D. 2007. Implications of a large global root biomass for carbon sink estimates and for soil carbon dynamics. *Proc. R. Soc. B*, 274: 2753-2759.
- RYAN, C.M., M. WILLIAMS, AND J. GRACE, 2011. Above- and belowground carbon stocks in a Miombo Woodland landscape of Mozambique. *Biotropica* 43: 423-432.
- SAN JOSE, J.J., R.A. MONTES, AND M.R. FARINÃS, 1998. Carbon stocks and fluxes in a temporal scaling from a savanna to a semi-deciduous forest. *Forest Ecology and Management* 105: 251-262.

- SANO, E.E., R. ROSA, J.L.S. BRITO, AND L.G. FERREIRA, 2010. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment* 166: p.113-124.
- SCURLOCK, J.M.O., AND D.O. HALL, 1998. The global carbon sink: a grassland perspective. *Global Change Biology* 4: 229-233.
- SEDJO, R., 1992. Temperate Forest Ecosystem in the Global Carbon Cycle. *Ambio* 21: 274-277.
- SILVA, J., M. FARIÑAS, J. FELFILI, AND C. KLINK, 2006. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil. *Journal of Biogeography* 33: p.536-548.
- TANG, C.Q., X. HOU, K. GAO, T. XIA, C. DUAN, AND D. FU, 2007. Man-made versus natural forests in Mid-Yunnan, Southwestern China: plant diversity and initial data on water and soil conservation. *Mountain Research and Development* 27(3): 242-249.
- TILMAN, D., P. REICH, H. PHILLIPS, M. MENTON, A. PATEL, E. VOS, AND J. KNOPS, 2000. Fire Suppression and Ecosystem Carbon Storage. *Ecology* 81: 2680-2685.
- ZIANIS, D., P. MUUKKONEN, R. MAKIPAA, AND M. M, 2005. Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Silva Fennica Monographs* 4: p.63p.
- WALKER, B.H. 1987. A general model of savanna structure and function. Pp: 1-12. In: WALKER, B.H. *Determinants of tropical savannas*. IUBS Monograph Series.

Capítulo I – Variação Regional na Distribuição de Biomassa do Cerrado¹

1.0 Introdução

As savanas tropicais ocupam grandes áreas entre as florestas equatoriais chuvosas e a latitude média dos desertos e semidesertos. Nesta região o clima é marcado por forte sazonalidade, os verões são úmidos e os invernos secos (Cole 1986, Walker 1987). Estas savanas cobrem aproximadamente 40% da região tropical (23 milhões de km²) e são encontradas na África, Austrália, América do Sul, Índia e sudeste da Ásia (Cole 1986, Grace *et al.* 2006). Pelo fato de abrigarem 20% da população mundial, as savanas sofrem intenso impacto humano (Grace *et al.* 2006, Goedert *et al.* 2008). Assim, o manejo destes ecossistemas pode influenciar os balanços de energia, água e carbono, tanto na escala regional quanto global (Miranda *et al.* 1997; Grace *et al.* 2006).

Dentre as savanas tropicais podemos destacar duas com ampla extensão geográfica: o Miombo africano (~ 2,7 milhões de km²) e o Cerrado brasileiro (~ 2 milhões de km²). O Miombo, savana arbórea com áreas úmidas associadas (Ryan *et al.* 2011), é encontrado em Angola, Botsuana, Burundi, República Democrática do Congo, Malauí, Moçambique, Namíbia, África do Sul, Tanzânia e Zimbábue. Sua vegetação é caracterizada pela predominância de espécies arbóreas de três gêneros da família Fabaceae: *Brachystegia* Benth., *Julbernardia* Pellegr. e *Isoberlinia* Craib & Stapf ex Holland, espécies de madeira dura e com casca fibrosa rica em taninos (Campbell *et al.* 2007).

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro em extensão (Furley 1999), trata-se de um complexo vegetacional que ocorre principalmente no Planalto Central brasileiro (Oliveira-Filho & Ratter 2002, Felfili & Silva Júnior 2005) e faz contato com a Floresta Amazônica, Floresta Atlântica, Caatinga e Pantanal (Felfili & Silva Júnior 2005). A paisagem do Cerrado é composta por mosaicos heterogêneos de fisionomias que variam desde formações campestres até florestais (Eiten 1972, Walter *et al.* 2008).

Ribeiro & Walter (2008) descreveram onze tipos fitofisionômicos que estão associados ao gradiente altura-densidade encontrado na vegetação do Cerrado. As formações florestais podem ser divididas em dois grupos: associadas aos cursos de água em solos úmidos (mata ciliar e mata de galeria), e de interflúvio em solos mais férteis (mata seca e cerradão). As formações savânicas (cerrado sentido restrito, parque de cerrado, palmeiral e vereda) são caracterizadas pela densidade do estrato arbustivo-

¹ Dados parcialmente apresentados, na forma de pôster, no “The Meeting of the Americas”, Foz do Iguaçu-PR, 8 a 12 de Agosto de 2010. Capítulo submetido na forma de artigo na Revista Biotropica.

arbóreo, distribuição dos indivíduos arbóreos na paisagem e pelo tipo de solo, e as campestres são caracterizadas pela densidade de arbustos e subarbustos (campo sujo e campo limpo) e pelo substrato onde se desenvolvem (campo rupestre).

O adensamento da vegetação lenhosa ocorre gradativamente das formações campestres para as formações florestais. Associado ao gradiente vegetacional há o gradiente de biomassa e de partição de biomassa entre o sistema radicular e a parte aérea, quanto menor a disponibilidade de água e nutrientes maior a proporção correspondente de raízes na distribuição de biomassa (Durigan 2004).

Para os ecossistemas savânicos dados sobre estoque de carbono, produtividade e ciclagem de nutrientes são considerados poucos precisos, fato que ratifica a necessidade de realização de novos estudos, mas evidências sugerem que as savanas funcionam como drenos de $0,4 \text{ Pg.C.ano}^{-1}$ (Robinson 2007). Tanto o Cerrado quanto o Miombo estão sob intensa pressão de mudança de uso da terra (Klink & Moreira 2002, Campbell *et al.* 2007, Sano *et al.* 2010, Bond *et al.* 2010), assim são fundamentais estudos que avaliem a biomassa e carbono contidos em diferentes componentes da vegetação. O entendimento das variações na biomassa aérea e subterrânea nos diferentes tipos de vegetação do Cerrado é essencial para os cálculos de emissões de gases de efeito estufa oriundos do desmatamento, bem como podem fornecer orientações para o desenvolvimento de projetos de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD) neste bioma.

Este capítulo teve por objetivos reunir e analisar informações provenientes da literatura sobre biomassa aérea e subterrânea para as diferentes fitofisionomias do Cerrado e comparar os estoques de carbono de duas importantes áreas de savanas tropicais arbóreas, Miombo e Cerrado. Estas informações servirão de base para futuros estudos de monitoramento em larga escala do Cerrado via sensoriamento remoto.

2.0 Material e Métodos

Dados sobre biomassa, estoque de carbono, equações alométricas e densidade da madeira foram levantados em periódicos nacionais e internacionais, bancos de teses e dissertações. Neste levantamento foram incluídos apenas trabalhos provenientes de coletas em campo, excluindo-se estimativas realizadas via sensoriamento remoto.

Os artigos levantados foram triados e organizados. Verificou-se na metodologia de cada trabalho o tipo de amostragem realizada, pois a biomassa pode ser quantificada pelo método direto (destrutivo) ou indireto através de modelos matemáticos (Salati 1994, Higuchi *et al.* 2004). No caso de amostragem indireta, levantou-se qual equação alométrica foi utilizada. Além disso, analisou-se a terminologia empregada, limites de inclusão, tanto

da porção aérea da vegetação quanto das raízes e, no caso das últimas, profundidade de amostragem.

A partir da pesquisa bibliográfica foram levantados 23 estudos sobre biomassa aérea e subterrânea para as diferentes formações (campestres, savânicas e florestais) do Cerrado. Estes incluíram 158 localidades na Bahia, Distrito Federal (DF), Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Roraima e São Paulo (Figura 1). Do total, 47% das localidades estão em Minas Gerais e foram amostradas durante a realização do inventário florestal deste estado (Scolforo *et al.* 2008).

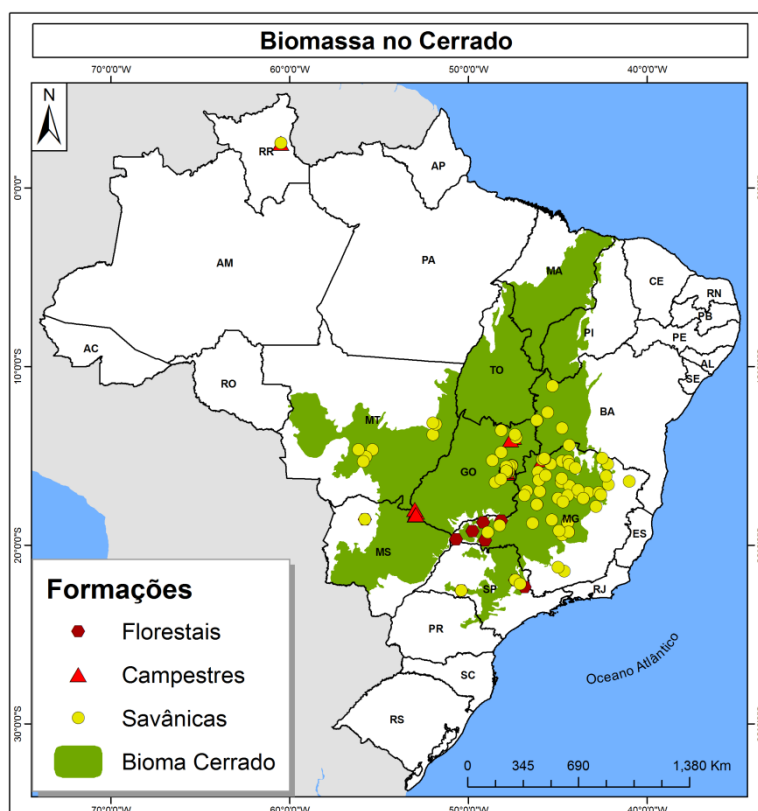


Figura 1. Distribuição geográfica das localidades onde há estudos sobre biomassa aérea e subterrânea no Cerrado.

Dentre as formações savânicas, os seguintes termos foram utilizados: campo cerrado, cerrado, cerrado *sensu stricto*, cerrado *stricto sensu*, cerrado aberto, cerrado ralo, cerrado típico e cerrado denso. Observou-se que 80% dos levantamentos foram realizados na fisionomia de cerrado sentido restrito de acordo com a classificação de Ribeiro & Walter (2008).

Nas formações campestres, os estudos foram realizados em campo limpo e campo sujo, enquanto que nas formações florestais há estudos em cerradão e mata de galeria. As áreas disjuntas de Cerrado em Roraima, amostradas por Barbosa & Fearnside (2005),

foram denominadas savana gramínea e savana parque, referente às formações campestre e savânica, respectivamente.

A maioria dos estudos não mencionou dados sobre histórico de fogo, pressões antrópicas, usos da terra e variáveis climáticas. Para investigar a influência de possíveis determinantes abióticos na biomassa aérea lenhosa, dados mensais de precipitação para o período de 2000-2010 foram adquiridos no site do “*Tropical Rainfall Measurement Mission*” (TRMM) (<http://trmm.gsfc.nasa.gov/>) com auxílio de pesquisadores do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG) da Universidade Federal de Goiás (UFG).

3.0 Resultados e Discussão

3.1 Equações Alométricas

Equações alométricas são formas indiretas de estimativas, no caso da biomassa correlaciona-se este parâmetro com variáveis facilmente mensuráveis, sem a necessidade de destruir o material vegetal (Silveira *et al.* 2008). Em ambientes com clima seco, Brown (1997) recomendou o uso do diâmetro e altura como variáveis para estimar a biomassa. Para as fitofisionomias do Cerrado foram encontradas equações alométricas desenvolvidas para cerrado sentido restrito, cerradão e mata de galeria.

Os artigos levantados utilizaram 11 diferentes equações alométricas (Tabela 1). O número de indivíduos usados para a determinação das equações variou de 41 (Melo *et al.* dados não publicados, ver Pinheiro 2008) a 174 (Rezende *et al.* 2006). A maioria das equações alométricas utilizou medidas de diâmetro e altura como variáveis independentes, apenas uma equação alométrica combinou dados de densidade da madeira com diâmetro à altura do peito (DAP) (Ribeiro *et al.* 2011).

Para estimar a biomassa das árvores, Castro & Kauffman (1998) utilizaram a equação de Brown *et al.* (1989) desenvolvida para floresta tropical úmida. Apesar de não ser específica para o Cerrado, os autores comentaram que esta equação é robusta e pode ser amplamente utilizada. Abdala *et al.* (1998) e Ottmar *et al.* (2001) estimaram a biomassa aérea da vegetação por meio da equação desenvolvida por Eiten & Abdala (dados não publicados). Felfili (2008) utilizou a equação desenvolvida por Rezende *et al.* (2006) para estimar biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa. Rezende *et al.* (2006) estudaram área de 63,54 ha que foi dividida em 10 parcelas de 20 x 50 m (1.000 m²), nestas selecionou-se aleatoriamente as espécies com base no diâmetro e altura. Pinheiro

(2008) utilizou a equação de Melo *et al.* (dados não publicados) desenvolvida especificamente para as fitofisionomias da Estação Ecológica de Assis, São Paulo.

Tabela 1. Equações alométricas utilizadas para estimar biomassa e estoque de carbono no Cerrado. Onde: D=diâmetro (cm); Db=diâmetro da base (cm); DAP=diâmetro à altura do peito; H, Ht, h=altura (m); B, BA=biomassa aérea (kg.ind⁻¹); dg=DAP equivalente; DM=densidade da madeira.

Fisionomia	Equação Alométrica	Parâmetro (kg)	Referência
Floresta tropical úmida	$\exp\{-3,1141+0,9719*\ln(D^2H)\}$	Biomassa	Brown <i>et al.</i> 1989
Cerradão	$\ln(\hat{y})=-2,8573+0,9556*\ln(dg^2*h)$	Fitomassa total	Melo <i>et al.</i> (não publicado) in Pinheiro 2008
Cerradão	$\ln(\hat{y})=-3,0363+0,9546*\ln(dg^2*h)$	Fitomassa aérea	Melo <i>et al.</i> (não publicado) in Pinheiro 2008
Mata de Galeria	$(0,523+0,053*\text{perímetro})^3$	Peso seco total	Burger 1997 e Burger & Delitti 1997
Cerrado denso e aberto	$2,75*BA$	Biomassa subterrânea	Castro & Kauffman 1998 in Felfili 2008
Cerrado <i>sensu stricto</i>	$0,24564+0,01456*Db^2*Ht$	Estoque de carbono	Rezende <i>et al.</i> 2006
Cerrado <i>stricto sensu</i>	$\ln(\hat{y})=-1,6515+0,7643*\ln(dg^2*h)$	Fitomassa total	Melo <i>et al.</i> (não publicado) in Pinheiro 2008
Cerrado <i>stricto sensu</i>	$\ln(\hat{y})=-2,6504+0,8713*\ln(dg^2h)$	Fitomassa aérea	Melo <i>et al.</i> (não publicado) in Pinheiro 2008
Cerrado	$\log(y)=0,9967*\log(x)+2,587$	Biomassa	Eiten & Abdala (não publicado)
Cerrado sentido restrito	$\ln B = \beta_0 + \beta_1 \ln DAP + \beta_7 \ln DM$	Biomassa aérea	Ribeiro <i>et al.</i> (2011)
Campo cerrado	$28,77*(Db^2)*Ht$	Biomassa aérea	Delitti <i>et al.</i> 2006

3.2 Densidade da madeira

Foram encontrados poucos trabalhos sobre densidade da madeira de espécies do Cerrado (Tabela 2). A maioria destes focou em espécies com potencial para a produção de energia (Paula 1999, 2005, Santos 2008, Thompson 2009, Vale *et al.* 2002, 2010). Os valores médios variaram de 0,52 g.cm⁻³ para espécies de cerradão no DF (Scholz *et al.* 2008) a 0,80 g.cm⁻³ para espécies de cerrado no Maranhão (Paula 2005). De modo geral, a densidade média da madeira para as espécies de Cerrado foi 0,67 g.cm⁻³ (CV=15%) baseado em dados amostrados em 11 localidades no DF, Minas Gerais e Maranhão. Para as grandes regiões biogeográficas de florestas na América do Sul, Chave *et al.* (2006) encontraram valores médios de densidade da madeira variando de 0,60 g.cm⁻³ na porção

sudoeste da Floresta Amazônica a $0,67 \text{ g.cm}^{-3}$ na porção central (Tabela 2). O maior valor médio de densidade da madeira ($0,70 \text{ g.cm}^{-3}$) foi encontrado para as espécies de Floresta Atlântica (Tabela 2), enquanto que para as florestas secas localizadas na região central do Brasil o valor médio foi $0,69 \text{ g.cm}^{-3}$ (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios de densidade da madeira para o Cerrado e Florestas tropicais úmidas.

Biomias	Categorias	Densidade da Madeira (g/cm^3)	Referências
Floresta Amazônica	Sudoeste da Amazônia	0,60	(1)
	Noroeste da Amazônia	0,61	
	Amazônia Oriental	0,64	
	Amazônia Central	0,67	
Floresta Atlântica	Floresta Atlântica	0,70	(1)
	Mata Seca	0,69	(1)
Cerrado	Florestais	0,52	(8)
		0,65	(6)
	Savânicas	0,57**	(5)
		0,66*	(7), (8), (9), (10), (11)
	0,78***	(2), (3), (4)	

*Distrito Federal, ** Minas Gerais, *** Maranhão.

Chave *et al.* 2006 (1); Paula 1999 (2), 2005 (3); Paula *et al.* 1998 (4); Ribeiro *et al.* 2011 (5); Santos 2007 (6); Santos 2008 (7); Scholz *et al.* 2008 (8); Thompson 2009 (9); Vale *et al.* 2002 (10), 2010 (11).

De acordo com Ratter *et al.* (2003), apesar da riqueza de árvores e arbustos grandes no cerrado (*sensu lato*) ser alta, apenas 38 espécies são consideradas amplamente distribuídas no bioma. Com base nos trabalhos levantados na literatura (Paula *et al.* 1998, Vale *et al.* 2002, Ribeiro *et al.* 2011) calculou-se o valor médio de densidade da madeira para 25 espécies com ampla distribuição no cerrado, assim *Astronium fraxinifolium* Schott ex Spreng., *Dimorphandra mollis* Benth., *Hancornia speciosa* Gomes, *Himatanthus obovatus* (Müll. Arg.) Woodson, *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne, *Lafoensia pacari* A. St.-Hil., *Pouteria ramiflora* (Mart.) Radlk., *Salvertia convallariodora* A. St.-Hil., *Handroanthus ochraceus* (Cham.) Mattos e *Vatairea macrocarpa* (Benth.) Ducke podem ser consideradas de madeira dura, pois apresentaram densidade da madeira $\geq 0,70 \text{ g.cm}^{-3}$. Já *Byrsonima coccolobifolia* Kunth, *B. crassa* Nied., *B. verbascifolia* (L.) DC., *Caryocar brasiliense* Cambess., *Connarus suberosus* Planch., *Curatella americana* L., *Eriotheca gracilipes* (K. Schum.) A. Robyns, *Erythroxylum suberosum* A. St.-Hil., *Kielmeyera coriacea* Mart. & Zucc., *Ouratea hexasperma* (A. St.-Hil.) Baill., *Tocoyena formosa* (Cham. & Schltdl.) K. Schum., *Plathymenia reticulata* Benth., *Qualea grandiflora*

Mart., *Q. multiflora* Mart. e *Q. parviflora* Mart. apresentaram valores de densidade da madeira entre 0,40 e 0,68 g.cm⁻³.

A densidade da madeira é uma importante variável para aperfeiçoar as estimativas de estoque de carbono na vegetação (Chave *et al.* 2006) e foi incluída em apenas uma equação alométrica dentre as utilizadas para estimar biomassa no Cerrado (Tabela 2). Nenhum dos estudos relacionou densidade da madeira com fatores climáticos, como precipitação. Nesta revisão, devido à baixa disponibilidade de dados não foi possível fazer correlações entre densidade da madeira e gradientes ambientais. Certamente um melhor entendimento de como a densidade da madeira varia e responde aos fatores ambientais pode significativamente contribuir para reduzir incertezas nas estimativas de estoque de carbono no Cerrado, bioma com ampla variação de temperatura, altitude e precipitação (Eiten 1972).

Em geral, a densidade da madeira varia de 0,13 a 1,4 g.cm⁻³ (Burger & Richter 1991). Os valores médios encontrados para o Cerrado foram semelhantes aos obtidos para a porção central da Floresta Amazônica, porém inferior ao encontrado para as Matas Secas da porção central do Brasil. Assim, a inclusão de densidade da madeira para estimativas de biomassa pode alterar os valores obtidos, principalmente levando-se em consideração as espécies amplamente distribuídas que possuem madeira dura. Com base nesta revisão são necessários mais estudos sobre densidade da madeira abrangendo, pelo menos, as espécies dominantes no Cerrado.

3.3 Biomassa aérea

A biomassa aérea compreende a massa vegetal de plantas herbáceas e arbóreas vivas, bem como necromassa. Em relação à necromassa total, que compreende a massa vegetal caída no solo, incluindo material lenhoso e liteira de diversos tamanhos, as formações campestres apresentaram os menores valores (Tabela 3), variando de 0,16 Mg.ha⁻¹ em campo limpo (Ottmar *et al.* 2001) a 6,23 Mg.ha⁻¹ em campo sujo (Kauffman *et al.* 1994), ambos no DF. Para as formações savânicas, o menor valor de necromassa total foi encontrado em cerrado típico no estado de Minas Gerais (0,46 Mg.ha⁻¹) (Lilienfein & Wilcke 2003), enquanto que no cerrado denso do DF (Ottmar *et al.* 2001) foi registrado o maior valor (16,61 Mg.ha⁻¹). Para as formações florestais apenas um trabalho realizado em mata de galeria no estado de São Paulo (Delitti & Burger 2000) mencionou informação sobre necromassa total (3,24 Mg.ha⁻¹) (Tabela 3).

O compartimento necromassa é particularmente susceptível ao fogo (Miranda *et al.* 2004). Nas formações campestres, ambientes mais abertos e expostos aos ventos e à radiação solar, a eficiência de combustão é maior (98% a 75%) do que nas formações mais fechadas (Miranda *et al.* 1996, Castro & Kauffman 1998), onde a presença de arbusto e árvores influencia o microclima local e altera as características do fogo (Miranda *et al.* 2004). Assim, o cômputo deste compartimento é relevante, pois em caso de queimadas o carbono liberado influenciará os cálculos de emissão de gases de efeito estufa.

Tabela 3. Valores médios (Mg.ha⁻¹) dos compartimentos de biomassa do Cerrado. Coeficiente de variação (%) entre parênteses. Onde: NT=necromassa total, BAT=biomassa aérea total, BAVL=biomassa aérea da vegetação lenhosa, BRG e BRF=biomassa de raízes grossas e finas, BTR=biomassa total de raízes.

Formações	Localidades estudadas	Acima do solo			Abaixo do solo		
		NT	BAT	BAVL	BRG	BRF	BTR
		(Mg.ha ⁻¹)					
Florestais	9	3,24	133,40	79,66 (32,3)	-	-	17,80 (18,86)
Savânicas	127	5,64 (67,6)	21,00 (66,5)	24,25 (56,4)	17,65 (36,04)	16,23 (40,95)	33,54 (39,83)
Campestres	22	2,31 (81,7)	6,70 (62,4)	1,13 (154,1)	10,70 (10,57)	10,25 (58,64)	22,10 (32,22)

No compartimento biomassa aérea total está informação referente à biomassa aérea de plantas lenhosas e herbáceas vivas. Para as formações florestais foi encontrado apenas um estudo em mata de galeria amostrada em São Paulo, cujo valor foi de 133,4 Mg.ha⁻¹ (Delitti & Burger 2000) (Tabela 3). Nas formações savânicas os valores de biomassa aérea total variaram de 2,03 Mg.ha⁻¹ (Kauffman *et al.* 1994) a 58,87 Mg.ha⁻¹ (Ottmar *et al.* 2001) em áreas de cerrado sentido restrito amostradas no DF. Nas formações campestres os valores variaram de 1,09 Mg.ha⁻¹ (Kauffman *et al.* 1994) a 15,60 Mg.ha⁻¹ (Ottmar *et al.* 2001), áreas localizadas no DF.

Vários estudos mencionaram apenas dados de biomassa aérea da vegetação lenhosa. A vegetação lenhosa foi definida de acordo com diferentes critérios como: circunferência ao nível do solo, diâmetro mensurado a 30 cm do solo ou diâmetro a altura do peito (medido a 1,30 m do solo), geralmente o limite de inclusão foi ≥ 5 cm (Tabela 4).

Tabela 4. Metodologia de amostragem da vegetação aérea com base nos dados encontrados na literatura. Onde: C=circunferência; D=diâmetro, DAP=diâmetro a altura do peito; H=altura, D=direto, I=indireto. * por comunidade.

Estado	Unidade Amostral	Número de unidades amostrais	Tamanho da unidade amostral (ha)	Método de coleta da biomassa	Número de Indivíduos Mensurados	Limite de inclusão da vegetação lenhosa	Referências
DF	Parcela	2	0,1	I	-	$C_{30 \text{ cm do solo}} \geq 6 \text{ cm}$	(1)
RR	Parcela	378	0,008	D/I	130	Todos os indivíduos	(2)
DF	Parcela	2	0,25	D	todos	$C_{\text{nível do solo}} < 1,5 \text{ cm}$	(3)
DF	Transecto/ Parcela	4*	15m/0,0045	I	-	$D_{30 \text{ cm do solo}} \geq 1 \text{ cm e DAP}$	(4)
DF	Parcela	5	0,1	I	-	$D_{30 \text{ cm do solo}} \geq 1 \text{ cm e H} \geq 60 \text{ cm}$	(5)
SP	Parcela	12	0,0025	D	92	Todos os indivíduos	(6)
SP	Ponto quadrante	60	-	D	60	$D_{\text{base}} \geq 2,5 \text{ cm}$	(7)
BA, DF, GO, MG, MT	Parcela	10*	0,1	I	-	$D_{30 \text{ cm do solo}} \geq 5 \text{ cm}$	(8)
MS	Ponto quadrante	30	-	I	-	$DAP \geq 5 \text{ cm}$	(9)
GO	-	1	1	D	20	$DAP \text{ ou } D_{30 \text{ cm do solo}} \geq 5 \text{ cm}$	(10)
DF	Transecto	10*	15m	D	todos	$H \leq 2 \text{ m}$	(11)
DF, GO, MT, MG	Estéreo-fotografias	-	-	I	-	$D_{30 \text{ cm do solo}} \geq 2 \text{ cm}$	(12)
SP	Parcela	10*	0,1	I	-	$DAP \geq 5 \text{ cm}$	(13)
DF	Parcela	10	0,1	D	174	$D_{30 \text{ cm do solo}} \geq 5 \text{ cm}$	(14)
MG	Parcela	10	0,05	D/I	120	$DAP > 5 \text{ cm}$	(15)
DF	Parcela	19	0,01	I	-	$H > 1 \text{ m e } C_{30 \text{ cm do solo}} > 10 \text{ cm}$	(16)

Continua...

Estado	Unidade Amostral	Número de unidades amostrais	Tamanho da unidade amostral (ha)	Método de coleta da biomassa	Número de Indivíduos Mensurados	Limite de inclusão da vegetação lenhosa	Referências
MG	Parcela	-	0,1	D	-	CAP \geq 15,7 cm	(17)
DF	Parcela	10	0,1	D	987	D _{30 cm do solo} \geq 5 cm	(18)

Abdala *et al.* 1998 (1); Barbosa & Fearnside 2005 (2); Batmanian & Haridasan 1985 (3); Castro & Kauffman 1998 (4); Castro-Neves 2007 (5); Delitti & Burger 2000 (6); Delitti *et al.* 2006 (7); Felfili 2008 (8); Fernandes *et al.* 2008 (9); Guarino & Medeiros 2005 (10); Kauffman *et al.* 1994 (11); Ottmar *et al.* 2001 (12); Pinheiro 2008 (13); Rezende *et al.* 2006 (14); Ribeiro *et al.* 2011 (15); Santos 1988 (16); Scolforo *et al.* 2008 (17); Vale & Felfili 2005 (18).

Nas formações florestais, os valores de biomassa aérea da vegetação lenhosa variaram de 47,8 Mg.ha⁻¹ em cerradão em Minas Gerais (Scolforo *et al.* 2008) a 118,0 Mg.ha⁻¹ em mata de galeria em São Paulo (Delitti & Burger 2000). Nas formações savânicas, os valores variaram de 3,31 Mg.ha⁻¹ (Ottmar *et al.* 2001) a 67,65 Mg.ha⁻¹ (Ribeiro *et al.* 2011). O menor valor das formações campestres foi encontrado em Roraima (0,036 Mg.ha⁻¹) (Barbosa & Fearnside 2005) e o maior (5,17 Mg.ha⁻¹) em campo sujo amostrado na Chapada dos Veadeiros (Ottmar *et al.* 2001).

3.4 Biomassa subterrânea

Poucos trabalhos amostraram a biomassa de raízes e estes apresentaram grande variação quanto à profundidade de amostragem e classificação das raízes (grossas e finas) com base no diâmetro (Tabela 5). Além disso, todas as áreas amostradas estavam associadas aos Latossolos, classe de solos que cobre aproximadamente 49% do Cerrado (Reatto *et al.* 2008).

Tabela 5. Metodologias para classificação e amostragem da biomassa subterrânea encontradas em diferentes trabalhos realizados no Cerrado.

Estado	Classes de diâmetro (mm)	Profundidade de amostragem (cm)	Referências
DF	≥ 5, 6-10, > 10	30	Paiva & Faria 2007
SP	≤ 20	36	Delitti <i>et al.</i> 2001
DF	≤ 5	50	Castro-Neves 2007
DF	≤ 5, 6-10, 11-20, 21-30 e tubérculos	100	Castro & Kauffman 1998
MG	< 10	100	Ribeiro <i>et al.</i> 2011
DF	< 2	300	Rodin 2004
DF	< 2, 2-10, > 10	620	Abdala <i>et al.</i> 1998
DF	≤ 2, > 2	700	Oliveira 1999

Dados de biomassa subterrânea para as formações florestais foram encontrados em dois trabalhos realizados em cerradão no estado de São Paulo, de acordo com estes a biomassa total de raízes foi 15,43 Mg.ha⁻¹ (Delitti *et al.* 2001) e 20,18 Mg.ha⁻¹ (Pinheiro 2008). Nas formações savânicas os valores de biomassa total de raízes variaram de 5,66 Mg.ha⁻¹ (Pinheiro 2008) a 52,90 Mg.ha⁻¹ (Castro & Kauffman 1998). Três referências foram encontradas para as formações campestres, todas no DF. Estes estudos foram conduzidos em campo sujo com biomassa total de raízes 15,9 Mg.ha⁻¹ (Oliveira 1999) e 30,1 Mg.ha⁻¹ (Castro & Kauffman 1998), e em campo limpo 16,3 Mg.ha⁻¹ (Castro & Kauffman 1998).

Devido à dificuldade e labor na coleta e classificação de raízes, poucos trabalhos amostraram a biomassa subterrânea. A maioria dos estudos amostrou as camadas superficiais do solo (≤ 30 cm). De acordo com Castro & Kauffman (1998) cerca de 70% da biomassa subterrânea total do cerrado sentido restrito é encontrada na camada até 30 cm de profundidade do solo. Poucos estudos amostraram raízes nas camadas profundas do solo (Tabela 5), o que aumenta as incertezas nas estimativas de estoque de carbono no Cerrado, ecossistema caracterizado por plantas com sistemas radiculares profundos (Rawitscher 1948, Oliveira 1999, Abdala *et al.* 1998, Rodin 2004).

3.5 Razão biomassa subterrânea: biomassa aérea

A razão biomassa subterrânea: biomassa aérea (BS:BA) diminuiu das formações campestres para as formações florestais (Tabela 6). Nas formações campestres, a biomassa média total foi $28,8 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Tabela 6), sendo que 76,7% deste valor compõe a porção subterrânea da vegetação, assim a razão BS:BA foi 3,3 (Tabela 6). Para as formações savânicas, a biomassa média total foi $57,8 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, com 58% deste valor contidos na porção subterrânea da vegetação e razão BS:BA 1,4 (Tabela 6). Nas formações florestais a biomassa total média foi $97,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, com apenas 18,3% na biomassa subterrânea, razão BS:BA 0,2 (Tabela 6).

Tabela 6. Biomassa aérea (BA) e subterrânea (BS) para as três formações vegetacionais do Cerrado. Média (Coeficiente de Variação %). *Biomassa aérea da vegetação lenhosa.

Formações	BA ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	BS ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	BS:BA	Referências
Campestres	6,70 (62,4)	22,10 (32,2)	3,30	(3), (5), (6), (9), (11), (12).
Savânicas	24,25 (56,4)*	33,54 (39,8)	1,40	(1), (2), (3), (4), (5), (6), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23).
Florestais	79,66 (32,3)*	17,80 (18,9)	0,22	(7), (8), (20), (21), (22).

Batmanian & Haridasan 1985 (1); Santos 1988 (2); Kauffman *et al.* 1994 (3); Abdala *et al.* 1998 (4); Castro & Kauffman 1998 (5); Oliveira 1999 (6); Delitti & Burger 2000 (7); Delitti *et al.* 2001 (8); Ottmar *et al.* 2001 (9); Lilienfein & Wilcke 2003 (10); Rodin 2004 (11); Barbosa & Fearnside 2005 (12); Guarino & Medeiros 2005 (13); Vale & Felfili 2005 (14); Delitti *et al.* 2006 (15); Rezende *et al.* 2006 (16); Castro-Neves 2007 (17); Paiva & Faria 2007 (18); Felfili 2008 (19); Fernandes *et al.* 2008 (20); Pinheiro 2008 (21); Scolforo *et al.* 2008 (22); Ribeiro *et al.* 2011 (23).

Mokany *et al.* (2006) analisaram a razão BS:BA para diferentes ecossistemas em escala global. Em comparação com estes dados, a razão BS:BA encontrada para as formações florestais do Cerrado foi semelhante aos valores médios obtidos para florestas tropicais (0,2). Nas formações savânicas a razão BS:BA ficou abaixo do valor indicado para “*shrubland*” (1,8), porém superior ao valor obtido por estes autores para “*savannas*” (0,6). Além disso, as formações campestres do Cerrado apresentaram razão BS:BA bem acima dos valores médios citados para “*tropical/subtropical grasslands*” (1,9).

Fatores como clima, tipo de solo, profundidade do lençol freático e histórico de fogo influenciam a composição e estrutura do cerrado (Felfili *et al.* 2008, Ribeiro & Walter 2008, Roitman *et al.* 2008). Variações locais nestes fatores podem contribuir para diferenças na razão BS:BA. A heterogeneidade inata do Cerrado deve ser levada em consideração no caso de mecanismos para reduzir a emissão de gases de efeito estufa provenientes no desmatamento e degradação da vegetação, tais como REDD.

3.6 Savanas arbóreas – semelhanças e lacunas no conhecimento

O Miombo e o Cerrado apresentam similaridades fisionômicas e a comparação entre estas duas savanas arbóreas destaca a importância destes sistemas como reservatórios de carbono. O estoque de carbono médio do ecossistema foi estimado em 71,4 Mg.ha⁻¹ e 82,1 Mg.ha⁻¹ para o Miombo e Cerrado, respectivamente (Tabela 7). Nestas savanas o solo (0-20 cm) representou o principal compartimento de carbono, respondendo por cerca de 58% do estoque total do ecossistema. Estes dados corroboram o papel dos solos como principal reservatório de carbono nas savanas tropicais, é importante ressaltar que a manutenção da cobertura vegetal permite a conservação do solo e, conseqüentemente, dos estoques de carbono (Scurlock & Hall 1998).

Tabela 7. Estoques de carbono (Mg.ha⁻¹) no Cerrado e Miombo.

Savanas	Formações	Solo (0-20 cm)	Árvores		Soma	Razão (BS:BA)	Referências
			Tronco	Raízes			
Miombo	-	41,7	21,2	8,5	71,4	0,40	Ryan <i>et al.</i> 2011
Cerrado	Florestais	53,0*	37,5	8,4	-	0,22	Este estudo
	Savânicas	46,0*	11,4	15,8	-	1,40	
	Média Ponderada**	48,4	20,4	13,3	82,1	0,65	

*Dados compilados de Lardy *et al.* (2002).

**Para ponderação as formações savânicas e florestais receberam pesos 6,1 e 3,2, respectivamente. Os pesos foram dados com base no percentual de ocorrência destas formações no Cerrado (Sano *et al.* 2010).

Baixa fertilidade dos solos e estresse hídrico sazonal estão relacionados com um alto investimento em biomassa subterrânea (12% e 16% do estoque de carbono total no Miombo e Cerrado, respectivamente; Tabela 7). No Cerrado a importância do compartimento subterrâneo é maior nas formações campestres e savânicas do que nas formações florestais. As espécies de savanas alocam mais biomassa para as raízes e menos para as folhas e troncos em relação às espécies de floresta, neste último ambiente a luz é fator limitante (Hoffmann & Franco 2003). Assim, não apenas o desmatamento, mas também o manejo inadequado dos solos após a conversão destas savanas podem significativamente influenciar o ciclo de carbono nas escalas regional e global (Grace *et al.* 2006). No caso do Cerrado, os principais sistemas de produção são a pecuária extensiva (principalmente gado) e a agricultura mecanizada, no Miombo a agricultura de subsistência com o uso do fogo é predominante. Contudo, novas pressões relacionadas à escassez de terras e demanda por alimentos e energia podem intensificar as mudanças de uso da terra nestes ecossistemas (Meyfroidt & Lambin 2011).

O levantamento de dados mostrou que há considerável volume de informações sobre biomassa no Cerrado. Contudo, o uso de diferentes metodologias e a concentração dos estudos na porção centro-sul do bioma (Figura 1) limita as estimativas regionais de estoque de carbono. Assim, há necessidade de realização de estudos na porção nordeste do Cerrado, região que abriga áreas com altos índices de conservação e que estão sob intensa pressão de mudança de uso da terra principalmente devido à expansão das culturas comerciais como soja e cana de açúcar (Sano *et al.* 2010, Rocha *et al.* 2011).

A maioria dos estudos foi conduzida nas formações savânicas do Cerrado, fato relacionado à alta representatividade do cerrado sentido restrito que originalmente ocupava cerca de 70% do bioma (Felfili & Silva Júnior 1993, Sano *et al.* 2010). Esta fitofisionomia engloba quatro subtipos (cerrado denso, típico, ralo e rupestre) (Ribeiro & Walter 2008), ocupa área de aproximadamente 416.000 km² que representa 34% dos 60% de vegetação remanescente de Cerrado (PROBIO 2007). Considerando a complexidade estrutural do cerrado sentido restrito, ferramentas adicionais são necessárias para avaliar a distribuição geográfica dos seus subtipos. Ao utilizar o contraste sazonal de imagens EVI, Pontes (2010) conseguiu diferenciar três classes sazonais no cerrado sentido restrito, por outro lado o uso de dados de produtividade primária permitiu identificar cinco classes, os valores mais altos estavam associados aos tipos mais densos.

As variações metodológicas encontradas nos estudos dificultam comparações e aumentam as incertezas no cômputo da biomassa e estoque carbono no Cerrado (Tabelas 4

e 5). Métodos padronizados devem ser estabelecidos para desenvolver linhas de base e sistemas de monitoramento que são partes fundamentais dos mecanismos de pagamento relacionados à mitigação das emissões de carbono. De acordo com Saatchi *et al.* (2007) a padronização do tamanho da parcela e a representatividade amostral devem ser levados em consideração a fim de minimizar erros nas estimativas de biomassa.

Para o cerrado sentido restrito, Felfili *et al.* (2005) recomendou o uso do diâmetro da base (medido a 30 cm do solo), pois as espécies de cerrado apresentam pequeno porte, muitas não atingem 1,30 m, padrão de mensuração de diâmetro em florestas. Análise da vegetação lenhosa de cerrado sentido restrito realizada em 25 localidades na Bahia, DF, Goiás, Mato Grosso e Minas Gerais (Felfili 2008), por meio de metodologia padronizada, mostrou que as menores classes de diâmetro (5 a 11 cm) abrigam cerca de 90% da riqueza do cerrado. Além disso, o estoque de carbono diminui com o aumento das classes de diâmetro, pois há uma redução no número de indivíduos nas maiores classes diamétricas (Paiva *et al.* 2011).

Saatchi *et al.* (2011) desenvolveram mapa de referência para estoque de carbono na biomassa de florestas tropicais e savanas arbóreas na América Latina, África e Ásia. Os dados de campo compilados da literatura não foram inventariados com protocolo uniforme e sistemático. Contudo os autores estabeleceram alguns critérios para padronização, tais como período em que os dados foram coletados (entre 1995 e 2005), tamanho mínimo da unidade amostral (0,1 ha) e diâmetro mínimo de inclusão das plantas lenhosas (DAP > 10 cm). Os dados levantados para o Cerrado indicam que uma regionalização baseada em dados de campo é difícil, pois há grande variação nos métodos de amostragem. Felfili *et al.* (2005) propuseram metodologia padronizada para amostragem dos vários tipos de vegetação do Cerrado, mas faz-se necessário a avaliação da eficiência destes métodos para o uso com sensores remotos em estimativas de biomassa.

Em ambientes de floresta que apresentam grande variação na composição de espécies e diferentes características geográficas e ambientais, ainda não está claro se o uso de metodologias padronizadas é adequado (Saatchi *et al.* 2007). No caso do Cerrado, as transições com outros biomas (ecótonos) merecem atenção especial, pois a mistura de espécies de diferentes biomas pode alterar a estrutura dessas áreas. Os maiores valores de biomassa lenhosa no cerrado (entre 58 e 68 Mg.ha⁻¹) foram encontrados na porção central e nordeste de Minas Gerais (Scolforo *et al.* 2008, Ribeiro *et al.* 2011), áreas de transição com a Mata Atlântica, e nordeste do Mato Grosso do Sul (Fernandes *et al.* 2008) transição com o Pantanal (Figura 2). Além disso, dentre as espécies amplamente distribuídas no

Cerrado várias têm madeira dura e a abundância local destas pode influenciar as estimativas de biomassa lenhosa. Fearnside (1997) mostrou que a densidade da madeira das espécies arbóreas na Floresta Amazônica pode significativamente influenciar as estimativas de estoque de carbono e indicou que estudos sobre densidade da madeira exigem dados de riqueza com criteriosa identificação botânica, inconsistências podem afetar as estimativas regionais de biomassa.

Com o intuito de investigar a potencial relação entre biomassa aérea da vegetação lenhosa (BAVL) amostrada nas formações savânicas e a precipitação acumulada no período de 2000-2010, primeiramente fez-se a distribuição de frequência da BAVL encontrada em 116 localidades ao longo do bioma Cerrado (Figura 2). As áreas amostradas em Roraima foram excluídas da análise, pois diferentes fatores biogeográficos estão relacionados com estas formações vegetacionais. A BAVL variou de 3,31 Mg.ha⁻¹ a 67,65 Mg.ha⁻¹, a mediana foi calculada em 21,44 Mg.ha⁻¹ (1º quartil=15,15 Mg.ha⁻¹ e 3º quartil=29,31 Mg.ha⁻¹). A distribuição geográfica dos dados de BAVL mostrou que, em geral, os maiores valores se localizam em Minas Gerais em áreas de transição com a Floresta Atlântica (Figura 2). Das 116 localidades, 53% apresentaram BAVL entre 15 Mg.ha⁻¹ e 30 Mg.ha⁻¹ (Figura 2), valores coincidentes com o primeiro e terceiro quartil da distribuição de frequência da biomassa. Assim, esta faixa de variação de biomassa foi utilizada para definir as áreas de “cerrado típico” no contexto da fitofisionomia de cerrado sentido restrito.

De modo geral, a precipitação média acumulada no período (2000-2010) variou de 943 mm a 1.802 mm, a mediana foi calculada em 1.339 mm (1º quartil=1.206 mm e 3º Quartil=1.380 mm) e a média 1.314 mm (CV=13,6%). Do total, 82% das localidades apresentaram precipitação média anual (PMA) entre 1.100 mm e 1.600 mm. Foram considerados secos os meses com precipitação média ≤ 30 mm (Eiten 1972) e o comprimento da estação seca nas localidades analisadas variou de 2 a 6 meses.

Com base nos dados de distribuição de biomassa e precipitação, selecionou-se 49 localidades consideradas de cerrado típico que possuem PMA entre 1.100 mm e 1.600 mm. Para estas áreas a PMA no período (2000-2010) explicou 15% (P=0,004) da variação de BAVL (Figura 3A), com relação negativa entre precipitação e biomassa aérea lenhosa. Os maiores valores de biomassa foram encontrados na faixa de precipitação entre 1.100 mm e 1.300 mm (Figura 3A). Após 1.300 mm de PMA o aumento da precipitação refletiu em uma diminuição nos valores de BAVL.

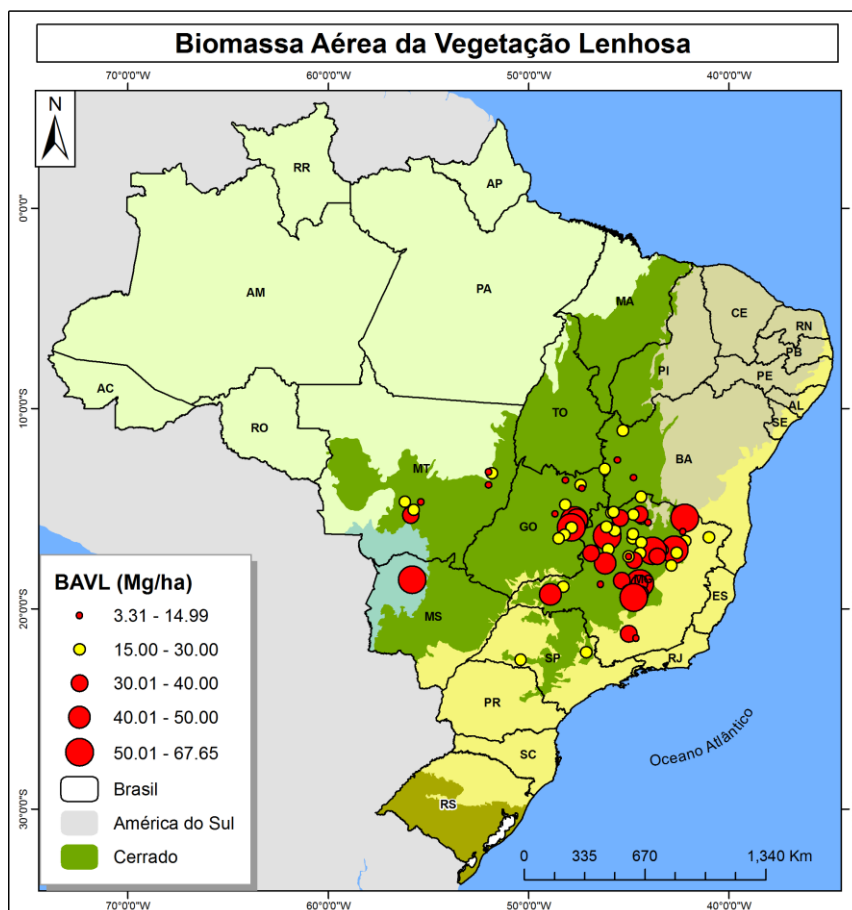


Figura 2. Distribuição geográfica das 116 localidades onde a biomassa aérea da vegetação lenhosa em cerrado sentido restrito foi amostrada. Os tamanhos dos círculos representam as magnitudes relativas dos valores.

Para investigar a influência da sazonalidade, analisou-se separadamente os dados de PMA na estação chuvosa e seca. É importante ressaltar que mais de 94% da precipitação cai durante a estação chuvosa e para esta estação (PMA CHUVA) a precipitação explicou 16% ($P=0,003$) da variação de BAVL (Figura 3B), a relação entre precipitação e biomassa lenhosa também foi negativa. De modo geral, tanto a precipitação acumulada no período (2000-2010) quanto a precipitação acumulada na estação chuvosa influenciaram de modo semelhante a variação de biomassa nas áreas de cerrado (Figuras 3A e 3B).

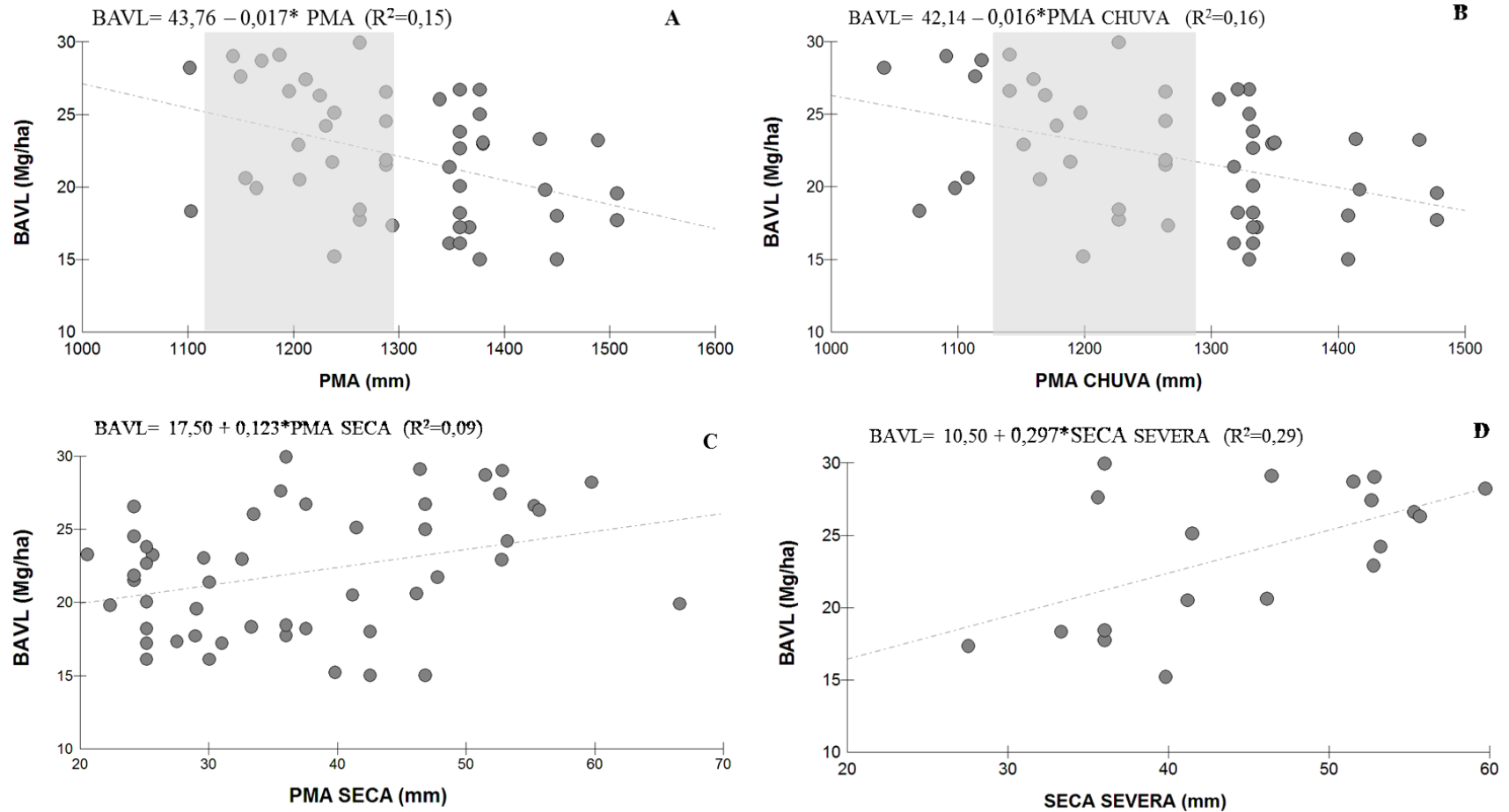


Figura 3. A – Relação entre precipitação acumulada no período (2000-2010) e biomassa aérea da vegetação lenhosa (BAVL) em cerrado típico; B – Relação entre precipitação acumulada na estação chuvosa (2000-2010) e BAVL em cerrado típico; C – Relação entre precipitação acumulada na estação seca (2000-2010) e BAVL em cerrado típico; D – Relação entre precipitação acumulada na estação seca em áreas com seca severa (2000-2010) e BAVL em cerrado típico. A zona marcada em cinza compreende os picos de biomassa.

A precipitação acumulada na estação seca (PMA SECA) explicou 9% ($P=0,019$) da variação de biomassa (Figura 3C), para este período do ano a relação entre as variáveis foi positiva. Assim, durante a estação seca, o aumento da precipitação refletiu no aumento dos valores de BAVL. A influência do comprimento da estação seca na BAVL foi testada considerando áreas com seca severa aquelas com cinco ou seis meses de seca, e seca amena com dois a quatro meses de seca. Nas áreas onde a seca foi considerada amena a precipitação acumulada na seca não foi relacionada com a variação de BAVL, porém nas áreas com seca severa a precipitação acumulada na estação seca explicou 29% ($P=0,010$) da variação de biomassa lenhosa (Figura 3D) e a relação entre precipitação e biomassa foi positiva em áreas com seca severa.

Como o efeito da precipitação durante a estação seca e chuvosa sobre a biomassa foi antagônico, a soma dos valores de R^2 nestes dois períodos sazonais ($R^2=0,25$) não corresponde ao R^2 obtido na relação entre PMA e BAVL ($R^2=0,15$). Estes resultados mostram que nas áreas onde a seca é severa a pequena quantidade de chuva que cai durante os meses mais secos do ano é importante para a manutenção dos valores de biomassa aérea lenhosa.

O entendimento das interações entre precipitação e distúrbios é crítico para prever os efeitos das mudanças climáticas e do manejo sobre a dinâmica das savanas (Liedloff & Cook 2011; Staver *et al.* 2011). Com base nas análises de Staver *et al.* (2011), sob precipitação intermediária (1.000-2.500 mm) e sazonalidade moderada (< 7 meses) a cobertura lenhosa na América do Sul foi distintamente bimodal, as savanas possuem cobertura lenhosa abaixo de 55% e as florestas cobertura $\geq 55\%$. Na América do Sul, a relação entre cobertura lenhosa e precipitação média anual mostrou crescente aumento da cobertura até 1.000 mm de precipitação e após 1.000 mm, o aumento da precipitação promoveu grande dispersão dos pontos na faixa de cobertura lenhosa das savanas ($< 55\%$).

O Cerrado representa a maior área de savana da América do Sul e as análises apresentadas neste estudo podem contribuir para o refinamento da relação entre precipitação e distribuição da vegetação, tais como as apresentadas por Staver *et al.* (2011). As análises mostraram que no caso da biomassa aérea lenhosa de cerrado típico, os maiores valores estão associados à faixa de precipitação entre 1.100 e 1.300 mm. Acima desta faixa de precipitação, verificou-se tendência à diminuição nos valores de BAVL, comportamento semelhante ao encontrado para as savanas da América do Sul (Staver *et al.* 2011). Assim, no caso do cerrado típico, nas áreas com precipitação entre 1.300 e 1.600

mm fatores locais, tais como frequência de fogo e textura do solo, podem influenciar a variação de biomassa aérea lenhosa.

O Cerrado é considerado savana tropical úmida e para a fitofisionomia mais representativa do bioma, o cerrado sentido restrito, a precipitação média acumulada não foi o principal determinante da variação de BAVL. Para as savanas africanas áridas e semiáridas (precipitação < 650 mm), Sankaran *et al.* (2005) encontraram que a precipitação foi o principal fator limitante para a máxima cobertura lenhosa nesta faixa. Segundo estes autores, nas áreas com precipitação acima de 650 mm a disponibilidade de água não limitaria o adensamento da vegetação lenhosa e a manutenção das savanas nesta faixa de precipitação seria favorecida por distúrbios como fogo e herbivoria. É importante ressaltar que Sankaran *et al.* (2005) avaliaram poucas localidades com precipitação acima de 1.000 mm de precipitação, porém percebe-se que para esta faixa a máxima cobertura lenhosa não é atingida e o aumento da precipitação promoveu diminuição gradativa na cobertura lenhosa. Os resultados do presente estudo sugerem que maior complexidade de fatores interage e influencia a variação de cobertura lenhosa e biomassa aérea nas savanas com precipitação acima de 1.200 mm.

A quantidade de precipitação que cai durante os meses mais secos do ano foi importante para a determinação da variação de BAVL em cerrado típico. De acordo com Staver *et al.* (2011) o pico da frequência das savanas na América do Sul ocorreu em áreas com sazonalidade de cinco ou seis meses de seca. Para o cerrado típico, a quantidade de precipitação durante a estação seca, em áreas com seca severa (cinco ou seis meses de seca), foi mais relacionada à variação de BAVL.

Modelos regionais baseados nos cenários de emissão propostos pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) indicam que as precipitações nas porções central e sul do Cerrado podem diminuir 20% a 50% em relação aos valores atuais, e para a porção nordeste esta redução pode ser de 50% a 70% dependendo do cenário analisado (Marengo *et al.* 2007, 2009). Também são esperadas alterações na distribuição das chuvas ao longo do ano (Marengo *et al.* 2010), no norte e nordeste do Cerrado os modelos indicam aumento no número de dias consecutivos sem chuvas (20 a 30 dias). Além disso, para Tocantins, norte de Goiás, nordeste do Mato Grosso e região central de Minas Gerais espera-se diminuição no número de dias chuvosos por ano. Por outro lado, para a região central e sul do Cerrado os modelos indicam aumento no volume de chuvas provenientes de tempestades.

As previsões sugerem severas alterações nos regimes de precipitação nas porções norte e nordeste do Cerrado, regiões onde se verificou que a vegetação foi sub-amostrada (Figuras 1 e 2). É importante destacar que estas lacunas aumentam as incertezas sobre a influência das mudanças climáticas nas respostas da vegetação. Dentre as áreas de cerrado típico com seca severa, 89% se localizam na porção centro-norte de Minas Gerais, e, para esta região os modelos climáticos indicam diminuição no número de dias chuvosos e aumento de 2° C na temperatura, fatores que podem influenciar significativamente, em longo prazo, os estoques de carbono na vegetação.

As formações vegetacionais do Cerrado são drenos de carbono durante a estação chuvosa e fraca fonte no final da estação seca (Miranda *et al.* 1996; Miranda *et al.* 1997; Potter *et al.* 2009) similar ao que foi observado para as savanas do norte da Austrália (Chen *et al.* 2003). Apesar do investimento em biomassa radicular e disponibilidade de água em camadas profundas do solo durante a estação seca, as taxas de assimilação de CO₂ foram significativamente reduzidas para a maioria das espécies (Franco 2005). Assim, mudanças no regime de precipitação podem alterar o ciclo de carbono e o acúmulo de biomassa nestes ecossistemas.

De modo geral, Saatchi *et al.* (2011) estimaram que a biomassa aérea nas savanas arbóreas foi < 100 Mg.ha⁻¹. No caso do Brasil os autores usaram dados de Santos *et al.* (2003), que avaliaram apenas duas localidades com vegetação savânica (Mucajaí em Roraima e Comodoro no Mato Grosso). Os dados aqui apresentados mostraram que a biomassa média da vegetação lenhosa foi 79,66 Mg.ha⁻¹ nas formações florestais e 24,25 Mg.ha⁻¹ nas formações savânicas. Assim, esta revisão de literatura pode efetivamente contribuir para o refinamento das estimativas regionais de biomassa para o Cerrado, e melhorar o mapa de referência proposto por Saatchi *et al.* (2011) para o estabelecimento de níveis de referência para estratégias de REDD e REDD+ (inclui o papel da conservação, manejo sustentável de florestas e aumento dos estoques de carbono florestal).

Em recente publicação, Ribeiro *et al.* (2011) listaram 11 estudos sobre biomassa aérea e subterrânea na fitofisionomia cerrado sentido restrito. Em nosso levantamento encontramos 22 trabalhos realizados em formações savânicas do Cerrado, dos quais apenas três não foram conduzidos especificamente em cerrado sentido restrito. Trata-se de relevante acréscimo de informações acerca da biomassa do cerrado, principalmente porque parte dos estudos são teses e dissertações de difícil acesso por parte da comunidade científica internacional.

Os valores de biomassa encontrados mostraram que as formações savânicas e florestais do Cerrado são importantes reservatórios de carbono. Ao considerar o processo de desmatamento na região do Cerrado (Sano *et al.* 2010, Rocha *et al.* 2011) é importante apoiar a implementação de mecanismos de incentivos para a conservação dos remanescentes de vegetação. As discussões sobre mecanismos de redução de emissões de gases de efeito estufa oriundas do desmatamento e degradação florestal (REDD e REDD+) têm como foco sistemas florestais e pouca atenção tem sido dispensada para o potencial de REDD no Cerrado. Contudo, a introdução deste tipo de mecanismo no Cerrado é um grande desafio, pois o bioma é constituído por mosaicos de savanas, florestas e pastagens/áreas cultivadas, apresenta marcada sazonalidade climática, queimadas naturais e antrópicas e partição de biomassa entre a parte aérea e subterrânea. Estes fatores podem dificultar o monitoramento de mudanças na cobertura vegetal e estoques de carbono associados, mas não devem inviabilizar a implementação de incentivos para conservação e restauração das paisagens do Cerrado.

Finalmente, os dados de campo são cruciais para a calibração e validação de modelos para prever mudanças nas savanas via sensoriamento remoto, semelhante ao que já existe para as florestas tropicais (Asner *et al.* 2005, Palace *et al.* 2008, Frohling *et al.* 2009). A compreensão da alocação de biomassa (acima e abaixo do solo) nas savanas tropicais é essencial para melhorar as estimativas e balanços de energia, água e carbono nas escalas regional e global.

4.0 Bibliografia

- ABDALA, G., L. CALDAS, M. HARIDASAN, AND G. EITEN, 1998. Above and belowground organic matter and root:shoot ratio in a cerrado in Central Brazil. *Brazilian Journal of Ecology* 2: p.11-23.
- ASNER, G. P., D.E. KNAPP, E.N. BROADBENT, P.J.C. OLIVEIRA, M. KELLER, AND J.N. SILVA. 2005. Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science* 310: 480–482.
- BARBOSA, R.I., AND P.M. FEARNESIDE. 2005. Above-ground biomass and the fate of carbon after burning in the savannas of Roraima, Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 216: 295-316.
- BATMANIAN, G.J., AND M. HARIDASAN. 1985. Primary production and accumulation of nutrients by the ground layer community of cerrado vegetation of central Brazil. *Plant and Soil* 88: 437-440.
- BOND, I., M. CHAMBWERA, B. JONES, M. CHUNDAMA, AND I. NHANTUMBO, 2010. REDD+ in dryland forests: Issues and prospects for pro-poor REDD in the Miombo woodlands of southern Africa IIED., London: Natural Resources Issues.
- BROWN, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of Tropical Forests, A Primer. FAO Forestry Paper 134. United Nations Food and Agriculture Organization, Rome, 55 pp.

- BROWN, S., A.J.R. GILLESPIE, AND A.E.LUGO. 1989. Biomass estimation for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciência* 17: 8-18.
- BURGER, D. M. 1997. Fitomassa e mineralomassa da mata ciliar do rio Mogi Guaçu, Itapira – SP. MSc Thesis. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.
- BURGER, D.M., AND W.B.C. DELITTI. 1997. Above ground phytomass of the gallery forest of the Mogi-Guaçu river (Itapira, São Paulo, Brazil). *In* IMAÑA-ENCINAS, J., AND C. KLEIN. (Ed.). *Proceedings International Symposium on Assessment and Monitoring of Forests in tropical Dry Regions with Special Reference to Gallery Forests*, pp. 231-238. Brasília. 1991. *Anatomia da madeira*. São Paulo, Nobel.
- BURGER, L.M., AND H. G. RICHTER, 1991. *Anatomia da madeira*. São Paulo: Nobel. 154p.
- CAMPBELL, B.M., A. ANGELSEN, A. CUNNINGHAM, Y. KATERERE, A. SITOE, AND S. WUNDER. 2007. Miombo woodlands – opportunities and barriers to sustainable forest management, Center for International Forestry Research. 41 p.
- CASTRO, E.A., AND J.B. KAUFFMAN. 1998. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. *Journal of Tropical Ecology* 14: 263-283.
- CASTRO-NEVES, B.M. 2007. Efeito de queimadas em áreas de cerrado *stricto sensu* e na biomassa de raízes finas. PhD Dissertation, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília. 82p.
- CHAVE, J., H.C. MULLER-LANDAU, T.R. BAKER, T.A. EASDALE, H.T. STEEGE, AND C.O. WEBB. 2006. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 Neotropical tree species. *Ecological Applications* 6(6): 2356-2367.
- CHEN, X., L. HUTLEY, AND D. EAMUS. 2003. Carbon balance of a tropical savanna of northern Australia. *International Association for Ecology* 137(3): 405-416.
- COLE, M.M. 1986. *The savannas: biogeography and geobotany*. Academic Press. Pp. 1-58.
- DELITTI, W.B.C., AND D.M. BURGER. 2000. Carbon and mineral nutrient pools in a gallery forest at Mogi Guaçu River, Southeast Brazil. *Ann. For. Sci.* 57: 39-47.
- DELITTI, W.B.C., M. MEGURO, AND J. PAUSA. 2006. Biomass and mineralmass estimates in a “cerrado” ecosystem. *Revista Brasileira de Botânica* 29(4): 531-540.
- DELITTI, W.B.C, J.G. PAUSAS, AND D.M. BURGER. 2001. Belowground biomass seasonal variation in two Neotropical savannahs (Brazilian Cerrados) with different fire histories. *Ann. For. Sci.* 58: 713-721.
- DURIGAN, G., 2004. Estimativas de estoque de carbono na vegetação natural do estado de São Paulo. *In* DURIGAN, G. (Ed.) *Oportunidades de negócios em segmentos produtivos nacionais*. pp. 1-6, São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.
- EITEN, G. 1972. The Cerrado vegetation of Brazil. *Botanical Review* 38(2): 201-341.
- FEARNSIDE, P.M. 1997. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 90: 59-87.
- FELFILI, M.C. 2008. Proposição de critérios florísticos, estruturais e de produção para o manejo do cerrado *sensu stricto* do Brasil Central. PhD Thesis, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 133p.
- FELFILI, J.M., F.A. CARVALHO, AND R.F. HAIDAR. 2005. Manual para o monitoramento de parcelas permanentes nos biomas Cerrado e Pantanal. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal. 60p.
- FELFILI, J.M., AND M.C. SILVA JÚNIOR. 2005. Diversidade alfa e beta no cerrado *sensu strictu*, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Bahia. *In* SCARIOT, A., J. C. SOUSA-SILVA, and J. M. FELFILI (Ed.). *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.

- FELFILI, J.M., M.C. FELFILI, P.E. NOGUEIRA, J.F. SILVA, M.R. FARIÑAS, M.C. SILVA JUNIOR, A.V. REZENDE, AND C.W. FAGG. 2008. Padrões fitogeográficos e sua relação com sistemas de terra no bioma Cerrado. *In* SANO, S.M., S.P. ALMEIDA, AND J.F. RIBEIRO (Ed.). Cerrado: Ecologia e Flora, Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2008, pp. 213-228.
- FELFILI, J.M., AND M.C. SILVA JÚNIOR. 1993. A comparative study of cerrado (*sensu stricto*) vegetation in Central Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 9(3): 277-289.
- FERNANDES, A., S. SALIS, F. FERNANDES, AND S. CRISPIM. 2008. Estoques de carbono do estrato arbóreo de Cerrados no Pantanal de Nhecolândia. *Comunicado Técnico* 68: 1-5.
- FRANCO, A.C. 2005. Biodiversidade de forma e função: implicações ecofisiológicas das estratégias de utilização de água e luz em plantas lenhosas do Cerrado. *In* SCARIOT, A., J.C. SOUSA-SILVA, and J.M. FELFILI (Ed.). Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.
- FROLKING, S., N.T. ROULET, AND D. LAWRENCE. 2009. Issues related to incorporating northern peatlands into global climate models, pp19–35 in Northern Peatlands and Carbon Cycling. *In* BAIRD, A., L. BELYEA, X. COMAS, A. REEVE, and L. SLATER (Ed.). *Geophysical Monograph* 184, Am. Geophys. Union, Washington DC.
- FURLEY, P.A. 1999. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian Cerrados. *Global Ecology and Biogeography* 8: 223-241.
- GOEDERT, W.J., E. WAGNER, AND A.O. BARCELLOS. 2008. Savannas Tropicais: dimensão, histórico e perspectivas. *In* FALEIRO, G., AND A.L. FARIAS NETO (Ed.). Savannas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais.
- GUARINO, E., AND M.B. MEDEIROS. 2005. Levantamento da fitomassa dos estratos arbóreo e herbáceo-arbustivo da área de influência direta do aproveitamento hidrelétrico Corumbá IV (GO). *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* 84, 1-20.
- GRACE, J., J. SAN JOSE, P. MEIR, H.S. MIRANDA, AND R.A. MONTES. 2006. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. *Journal of Biogeography* 33: 387-400.
- HIGUCHI, N., J. CHAMBERS, J. SANTOS, R.J. RIBEIRO, A. C. M. PINTO, R.P. SILVA, R.M. ROCHA, AND E.S. TRIBUZY, E.S. 2004. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. *Floresta* 34(3): 295-304.
- HOFFMANN, W.A., AND A.C. FRANCO. 2003. Comparative growth analysis of tropical forest and savanna woody plants using phylogenetically independent contrasts. *Journal of Ecology* 91(3): 475-484.
- KAUFFMAN, J.B., D.L. CUMMINGS, AND D.E. WARD. 1994. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. *Journal of Ecology* 82(3): 519-531.
- KLINK, C.A., AND A.G. MOREIRA, 2002. Past and Current Human Occupation, and Land Use. *In* OLIVEIRA, P.S., AND R.J. MARQUIS (Eds.) *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. Columbia University Press. 69-88p.
- LARDY, L.M., M. BROSSARD, M.L.L. ASSAD, AND J.Y. LAURENT. 2002. Carbon and phosphorus stocks of clayey ferralsols in Cerrado native and agroecosystems, Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 92: 147-158.
- LIEDLOFF, A., AND G. D. COOK. 2011. Interaction of Fire and Rainfall Variability on Tree Structure and Carbon Fluxes in Savannas: Application of the Flames Model. *In* HILL, M.J., AND N.P. HANAN (Ed.). *Ecosystem function in Savannas: measurement and modeling at landscape to global scales*. 2011, pp. 293-308.

- LILIEFEIN, J., AND W. WILCKE. 2003. Element storage in native, agri-, and silvicultural ecosystems of the Brazilian savanna. *Plant and Soil* 254: 425-442.
- MARENGO, J.A. 2007. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. 2ª edição. Brasília-DF: MMA. 212 p.
- MARENGO, J.A., R. JONES, L.M. ALVES, AND M.C. VALVERDE. 2009. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *International Journal of Climatology* 29: 2241-2255.
- MARENGO, J.A., T. AMBRIZZI, R.P. DA ROCHA, L.M. ALVES, S.V. CUADRA, M.C. VALVERDE, R.R. TORRES, D.C. SANTOS, AND S.E.T. FERRAZ. 2010. Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. *Climate Dynamics* 35: 1073-1097.
- MEYFROIDT, P., AND E. F. LAMBIN. 2011. Global Forest Transition: Prospects for an End to Deforestation. *Annual Review of Environment and Resources* 36: 343-371.
- MIRANDA, A.C., H.S. MIRANDA, J. LLOYD, J. GRACE, J.A. MCINTYRE, P. MEIR, P. RIGGAN, R. LOCKWOOD, and J. BRASS. 1996. Carbon dioxide fluxes over cerrados *sensu strictu* in central Brazil. *In* GASH, J.H.C., A.C. NOBRE, J.M. ROBERTS, AND R.L. VICTORIA (Ed.). *Amazonian Deforestation and Climate*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 353-363.
- MIRANDA, A.C., H.S. MIRANDA, J. LLOYD, J. GRACE, R.J. FRANCEY, J.A. MCINTYRE, P. MEIR, P. RIGGAN, R. LOCKWOOD & J. BRASS. 1997. Fluxes of carbon, water and energy over Brazilian cerrado: an analysis using eddy covariance and stable isotopes. *Plant, Cell and Environment* 20: 315-328.
- MIRANDA, H.S., M.N. SATO, S.M.A. ANDRADE, M. HARIDASAN, AND H.C. MORAIS. 2004. Queimadas de Cerrado: caracterização e impactos. *In* AGUIAR, L.M.S., AND A.J.A. CAMARGO (Ed.). *Cerrado: ecologia e caracterização*. EMBRAPA Cerrados, Planaltina, DF, pp.69-123.
- MOKANY, K., R.J. RAISON, AND A.S. PROKUSHKIN. 2006. Critical analysis of root : shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology* 12: 84-96.
- OLIVEIRA, R.S. 1999. Padrões sazonais de disponibilidade de água nos solos de um cerrado denso e um campo sujo e evapotranspiração. MSc Dissertation. Departamento de Ecologia. Universidade de Brasília. Brasília-DF. 69p.
- OLIVEIRA-FILHO, A.T., AND J.A. RATTER. 2002. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. *In* OLIVEIRA, P.S., AND R.J. MARQUIS (Ed). *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*. Columbia University Press, pp. 91-120.
- OTTMAR, R.D., R.E. VIHANEK, H.S. MIRANDA, M.N. SATO, AND S.M.A. ANDRADE. 2001. Séries de Estereo-fotografias para quantificar a biomassa da vegetação do Cerrado do Brasil Central – volume I. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-519. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 87p.
- PAIVA, A.O., AND G.E. FARIA. 2007. Estoque de carbono do solo sob cerrado *sensu stricto* no Distrito Federal, Brasil. *Revista Trópica-Ciências Agrárias e Biológicas* 1(1): 59-65.
- PAIVA, A.O., A.V. REZENDE, AND R.S. PEREIRA, 2011. Estoque de carbono em cerrado *sensu stricto* do Distrito Federal. *Revista Árvore* 35: p.527-538.
- PALACE, M., M. KELLER, G.P. ASNER, S. HAGEN, AND B. BRASWELL. 2008. Amazon forest structure from IKONOS satellite data and the automated characterization of forest canopy properties. *Biotropica* 40(2): 141-150.

- PAULA, J. E. 1999. Caracterização anatômica de madeiras nativas do cerrado com vistas à produção de energia. *Revista Cerne* 5(2): 26-40.
- PAULA, J. E. 2005. Caracterização anatômica da madeira de espécies nativas do Cerrado, visando sua utilização na produção de energia. *Revista Cerne* 11(1): 90-100.
- PAULA, J., J. IMANÃ-ENCINAS, AND N. SUGIMOTO, 1998. Levantamento quantitativo em três hectares de vegetação de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 33: 613-620.
- PINHEIRO, E. 2008. Análises ecológicas e sensoriamento remoto aplicados à estimativa de Fitomassa de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP. PhD Dissertation, Universidade de São Carlos. 192p.
- PONTES, M. N. C. 2010. Detalhamento de áreas de savana arborizada no Bioma Cerrado a partir da análise de séries temporais Modis EVI para o período de 2004 a 2008. MSc Dissertation, Universidade Federal de Goiás, 58p.
- POTTER, C., S. KLOOSTER, A. HUETE, V. GENOVESE, M. BUSTAMANTE, L. G. FERREIRA, R. C. OLIVEIRA JR, AND R. ZEPP. 2009. Terrestrial carbon sinks in the Brazilian Amazon and Cerrado region predicted from MODIS satellite data and ecosystem modeling. *Biogeosciences* 6: 937-945.
- PROBIO. 2007. Mapeamento da Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado. Relatório Final, Brasília-DF.
- RAWITSCHER, F., 1948. The water economy of the vegetation of the “Campos Cerrados” in Southern Brazil. *The Journal of Ecology* 36: 237-268.
- RATTER, J.A., S. BRIDGEWATER, AND J.F. RIBEIRO. 2003. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. *Edinburgh Journal of Botany* 60(1): 57-109.
- REATTO, A., J.R. CORREIA, S.T. SPERA, AND E.S. MARTINS. 2008. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In SANO, S.M., S.P. ALMEIDA, AND J.F. RIBEIRO (Ed.). *Cerrado: ecologia e flora*. Embrapa – CPAC. Planaltina, DF, pp.109-149.
- REZENDE, A., A. VALE, C. SANQUETTA, A.F. FILHO, AND J.M. FELFILI. 2006. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF. *Scientia Forestalis* 71: 65-76.
- RIBEIRO, S.C., L. FEHRMANN, C.P.B. SOARES, L.A.G. JACOVINE, C. KLEINN, AND R.O. GASPAR. 2011. Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. *Forest Ecology and Management* 262: 491-499.
- RIBEIRO, J. F., AND B.M.T. WALTER. 2008. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In SANO, S.M., S.P. ALMEIDA, AND J.F. RIBEIRO (Ed.). *Cerrado: ecologia e flora*. Embrapa Cerrados, Brasília-DF, pp. 153-212.
- ROBINSON, D., 2007. Implications of a large global root biomass for carbon sink estimates and for soil carbon dynamics. *Proc. R. Soc. B* 274: 2753-2759.
- ROCHA, G.F., L.G. FERREIRA, N.C. FERREIRA, AND M.E. FERREIRA. 2011. Detecção de desmatamentos no bioma Cerrado entre 2002 e 2009: padrões, tendências e impactos. *Revista Brasileira de Cartografia* 63(3): 341-349.
- RODIN, P. 2004. Distribuição da biomassa subterrânea e dinâmica de raízes finas em ecossistemas nativos e uma pastagem plantada no cerrado do Brasil Central. PhD Dissertation, Universidade de Brasília, Departamento de Ecologia, 96p.
- ROITMAN, I., J.M. FELFILI, AND A.V. REZENDE. 2008. Tree dynamics of a fire-protected cerrado *sensu stricto* surrounded by forest plantations, over a 13-year period (1991-2004) in Bahia, Brazil. *Plant Ecology* 197: 255-267.
- RYAN, C.M., M. WILLIAMS, AND J. GRACE. 2011. Above- and belowground carbon stocks in a Miombo woodland landscape of Mozambique. *Biotropica* 43(4): 423-432.

- SAATCHI, S.S., R.A. HOUGHTON, R.C. DOS SANTOS ALVALÁ, J.V. SOARES, AND Y. YU. 2007. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global Change Biology* 13: 816-837.
- SAATCHI, S.S., N.L. HARRIS, S. BROWN, M. LEFSKY, E.T.A. MITCHARD, W. SALAS, B.R. ZUTTA, W. BUERMANN, S.L. LEWIS, S. HAGEN, S. PETROVA, L. WHITE, M. SILMAN, A. MOREL. 2011. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108(24): 9899-9904.
- SALATI, E. 1994. Emissão x seqüestro de CO₂ – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. *In* Seminário Emissão x Seqüestro de CO₂. Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce. 221p.
- SANKARAN, M., N.P. HANAN, R.J. SCHOLES, J. RATNAM, D.J. AUGUSTINE, B.S. CADE, J. GIGNOUX, S.I. HIGGINS, X.L. ROUX, F. LUDWIG, J. ARDO, F. BANYIKWA, A. BRONN, G. BUCINI, K.K. CAYLOR, M.B. COUGHENOUR, A. DIOUF, W. EKAYA, C.J. FERAL, E.C. FEBRUARY, P.G.H. FROST, P. HIERNAUX, H. HRABAR, K.L. METZGER, H.H.T. PRINS, S. RINGROSE, W. SEA, J. TEWA, J. WORDEN, AND N. ZAMBATIS. 2005. Determinants of woody cover in African savannas. *Nature* 438: 846-849.
- SANO, E.E., R. ROSA, J.L.S. BRITO, AND L.G. FERREIRA. 2010. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment* 166: 113-124.
- SANTOS, I.A. 2007. Caracterização anatômica e dendrométrica da madeira de *Xylopia emarginata* Mart. (Annonaceae) com vistas à sua utilização mais apropriada. MSc. Dissertation, Universidade de Brasília, 42p.
- SANTOS, I.D. 2008. Influência dos teores de lignina, holocelulose e extratos na densidade básica e contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado. MSc. Dissertation, Departamento de Ciências Florestais, Universidade de Brasília. 92p.
- SANTOS, J.R. 1988. Biomassa aérea da vegetação de Cerrado, estimativa e correlação com dados do sensor “Thematic mapper” do satélite Landsat. PhD Thesis, Univerisdade Federal do Paraná, Brazil.
- SANTOS, J.R., C.C. FREITAS, L.S. ARAUJO, L.V. DUTRA, J.C. MURA, F.F. GAMA, L.S. SOLER, AND S.J.S. SANT’ANNA. 2003. Airborne P-band SAR applied to the aboveground biomass studies in the Brazilian tropical rainforest. *Remote Sensing of Environment* 87: 482-493.
- SCHOLZ, F.G., S.J. BUCCI, G. GOLDSTEIN, M.Z. MOREIRA, F.C. MEINZER, J. –C. DOMEQ, R. VILLALOBOS-VEGA, A.C. FRANCO, AND F. MIRALLES-WILHELM. 2008. Biophysical and life-history determinants of hydraulic lift in Neotropical savanna trees. *Functional Ecology* 22: 773-786.
- SCOLFORO, J.R., J.M. MELLO, A.D. OLIVEIRA, R.M. PEREIRA, F.N. SOUZA, AND I.C.L. GUEDES. 2008. Volumetria, peso de matéria seca e carbono. *In* SCOLFORO, J.R., J.M. MELLO, AND A.D. OLIVEIRA (Ed). *Inventário Florestal de Minas Gerais: Cerrado - Florística, Estrutura, Diversidade, Similaridade, Distribuição Diamétrica e de Altura, Volumetria, Tendências de Crescimento e Áreas Aptas para Manejo Florestal*. Lavras: UFLA, pp. 361-438.
- SCURLOCK, J.M.O., AND D.O. HALL. 1998. The global carbon sink: a grassland perspective. *Global Change Biology* 4: 229-233.
- SILVEIRA, P., H.S. KOEHLER, C.R. SANQUETTA, AND J.E. ARCE. 2008. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. *Floresta* 38: 185-206.

- STAYER, A.C., S. ARCHIBALD, AND S.A. LEVIN. 2011. The Global Extent and Determinants of Savanna and Forest as Alternative Biome States. *Science*, 334: 230-232.
- THOMPSON, R.M. 2009. Estimativas de volume, biomassa e carbono para o carvoeiro (*Sclerolobium paniculatum* Vog. var. *subvelutinum* Benth). MSc. Dissertation, Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, 64p.
- VALE, A.T., AND J.M. FELFILI. 2005. Dry biomass distribution in a cerrado *sensu stricto* site in Central Brazil. *Revista Árvore* 29(5): 661-669.
- VALE, A.T., M.A.M. BRASIL, AND A.L. LEÃO. 2002. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. *Ciência Florestal* 12(1): 71-80.
- VALE, A.T., I.S. DIAS, AND M.A.E. SANTANA. 2010. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de cerrado. *Ciência Florestal* 20(1): 137-145.
- WALKER, B.H. 1987. A general model of savanna structure and function. *In* B.H. Walker (Ed.). *Determinants of tropical savannas*. IUBS Monograph Series, pp: 1-12.
- WALTER, B.M.T., A.M. CARVALHO, AND J.F. RIBEIRO, 2008. O conceito de savana e de seu componente Cerrado. *In* SANO, S.M., S.P. ALMEIDA, AND J.F. RIBEIRO. *Cerrado: ecologia e flora*. Embrapa Cerrados-Brasília-DF.

Capítulo II - Biomassa subterrânea de cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos

1.0 Introdução

Muitos estudos têm avaliado o papel dos ecossistemas savânicos no ciclo global do carbono (San José *et al.* 1998, Grace *et al.* 2006, Beringer *et al.* 2007, Ciais *et al.* 2009). A biomassa vegetal é formada pelo componente aéreo e subterrâneo, porém a biomassa subterrânea tem recebido menor atenção em estudos (John *et al.* 2001, Cairns *et al.* 1997), apesar de desempenhar papel chave no funcionamento dos ecossistemas (Jackson *et al.* 1996) e no ciclo do carbono (Norby & Jackson 2000). O menor número de estudos na porção subterrânea das plantas deve-se principalmente à dificuldade para coletar e triar este tipo de material (Rodin 2004, Freitas *et al.* 2008).

No Cerrado a vegetação das formações campestres e savânicas apresenta maior investimento em biomassa radicular (Castro & Kauffman 1998, Abdala *et al.* 1998, ver Capítulo 1). Por ser ecossistema marcado pela alta sazonalidade na precipitação, fatores relacionados com a textura e estrutura dos solos, além de topografia e inclinação do terreno, podem afetar a drenagem e a capacidade do solo em armazenar água (Eiten 1972, Oliveira-Filho *et al.* 1989). Estes aspectos, por sua vez, influenciam no investimento da vegetação em biomassa radicular.

As raízes podem ser classificadas em finas e grossas com base no diâmetro. As raízes finas estão relacionadas principalmente com a absorção de água e nutrientes pelas plantas (Jackson *et al.* 1997), enquanto as raízes grossas e órgãos de reserva são, principalmente, responsáveis pela sustentação da planta e armazenamento de carbono (Fitter 1991). Quanto à sua distribuição no perfil do solo, de modo geral, a biomassa radicular diminui da superfície para as camadas mais profundas (Jackson *et al.* 1996, Castro & Kauffman 1998).

Para o Cerrado poucos estudos amostraram a biomassa subterrânea da vegetação e estes apresentaram ampla variação com relação aos aspectos metodológicos de amostragem e classificação (Abdala *et al.* 1998, Castro & Kauffman 1998, Oliveira 1999, Delitti *et al.* 2001, Rodin 2004, Castro-Neves 2007, Paiva & Faria 2007, Ribeiro *et al.* 2011). Além disso, todos estes trabalhos foram realizados em cerrados associadas aos Latossolos (ver Capítulo 1), classe de solos predominante no bioma (Reatto *et al.* 2008).

São inéditos estudos sobre a biomassa subterrânea de cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos, solos com alto teor de areia e que ocupam 14,5% do Cerrado

(Reatto *et al.* 2008). As áreas amostradas neste estudo estão localizadas no oeste do estado da Bahia, região sob intensa pressão de mudança de uso da terra (MMA/IBAMA/PNUD 2009) e onde as paisagens naturais são rapidamente substituídas por culturas comerciais como soja e algodão. Assim, este capítulo teve por objetivos calcular a biomassa subterrânea em áreas de cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos e analisar o teor e o estoque de nutrientes nas raízes coletadas nestas duas áreas.

2.0 Materiais e Métodos

2.1 Áreas de Estudo e Amostragem da biomassa radicular

Para avaliação da biomassa subterrânea foram amostradas áreas de cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos localizadas no município de Correntina (13°20'25" S e 44°38'34" W) e São Desidério (12°21'08" S e 44°59'02" W), ambos na Bahia. O município de Correntina apresenta altitude média de 586 m, as precipitações médias anuais são na ordem de 1.000 mm e a temperatura média para o período (1986-2009) variou de 21,9° C em junho a 26,6° C em outubro, sendo a média anual de 24,3° C (Figura 1). Em São Desidério a altitude média é 756 m, as precipitações médias anuais são na ordem de 1.100 mm e a temperatura média para o período (1986-2009) variou de 22,8° C em junho/julho a 27,7° C em outubro, com média anual de 25,2° C (Figura 1).

Foram coletadas dez amostras da biomassa subterrânea em Correntina e nove em São Desidério. Estas amostras foram coletadas nos mesmos locais onde foram estabelecidas parcelas de 20 x 50 m (0,1 ha) para amostragem da vegetação lenhosa (Figura 2 e 3, ver Capítulo 4). Assim, sorteou-se uma lateral da parcela e demarcou-se uma quadrícula com 0,50 m x 0,50 m. Em cada quadrícula foi retirado um bloco de solo com 0,30 m de profundidade (Figura 4). Nas parcelas onde a vegetação lenhosa foi amostrada estimou-se a cobertura lenhosa com densiômetro esférico convexo modelo Forestry Supplies Inc.. Os dados de cobertura lenhosa fornecem uma medida indireta da relação proporcional entre o estrato lenhoso e herbáceo, áreas com maior cobertura lenhosa terão menor representatividade do estrato herbáceo.

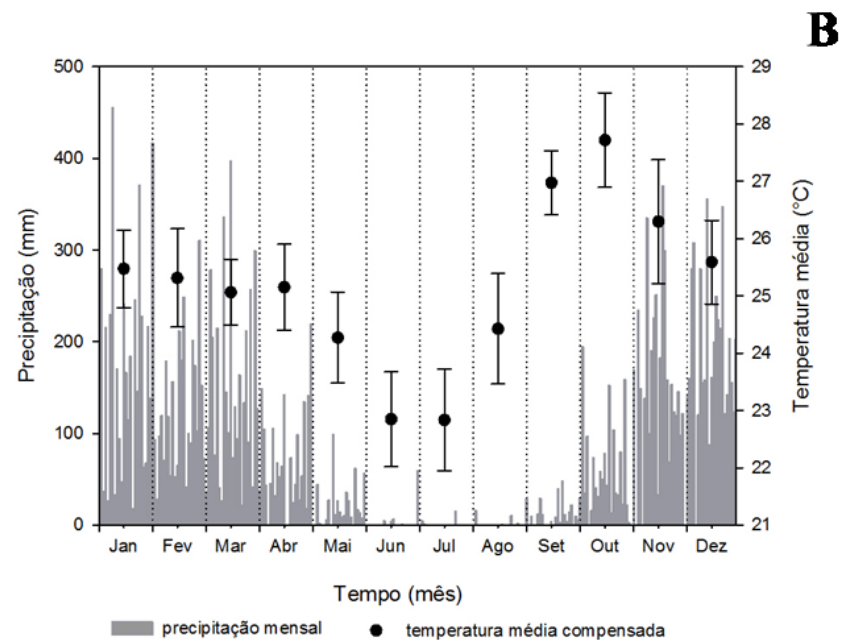
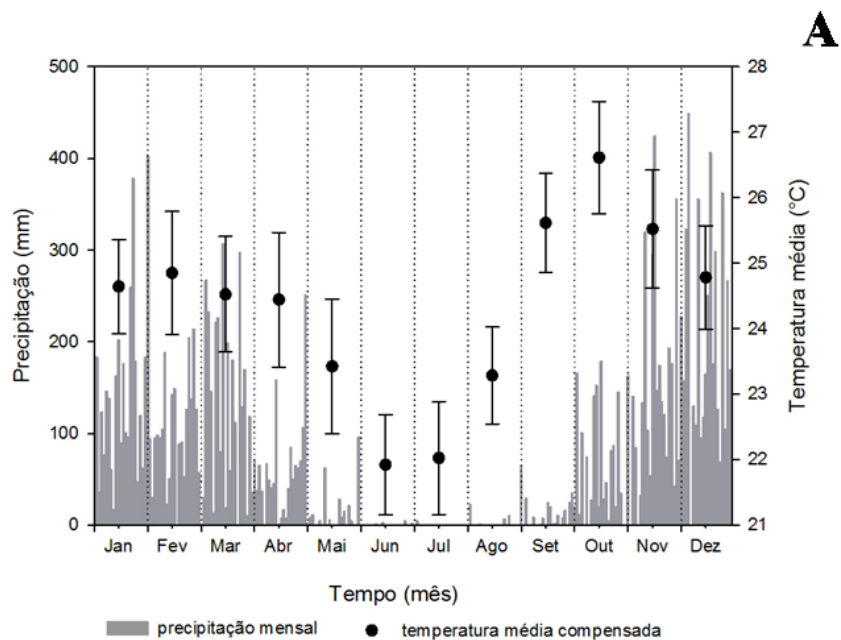


Figura 1: Dados mensais para precipitação e temperatura média compensada (\pm desvio padrão) para o período de 1986-2009 coletados nas estações meteorológicas de Correntina (A) e Barreiras (B), localidade mais próxima a São Desidério. (Fonte: INMET)

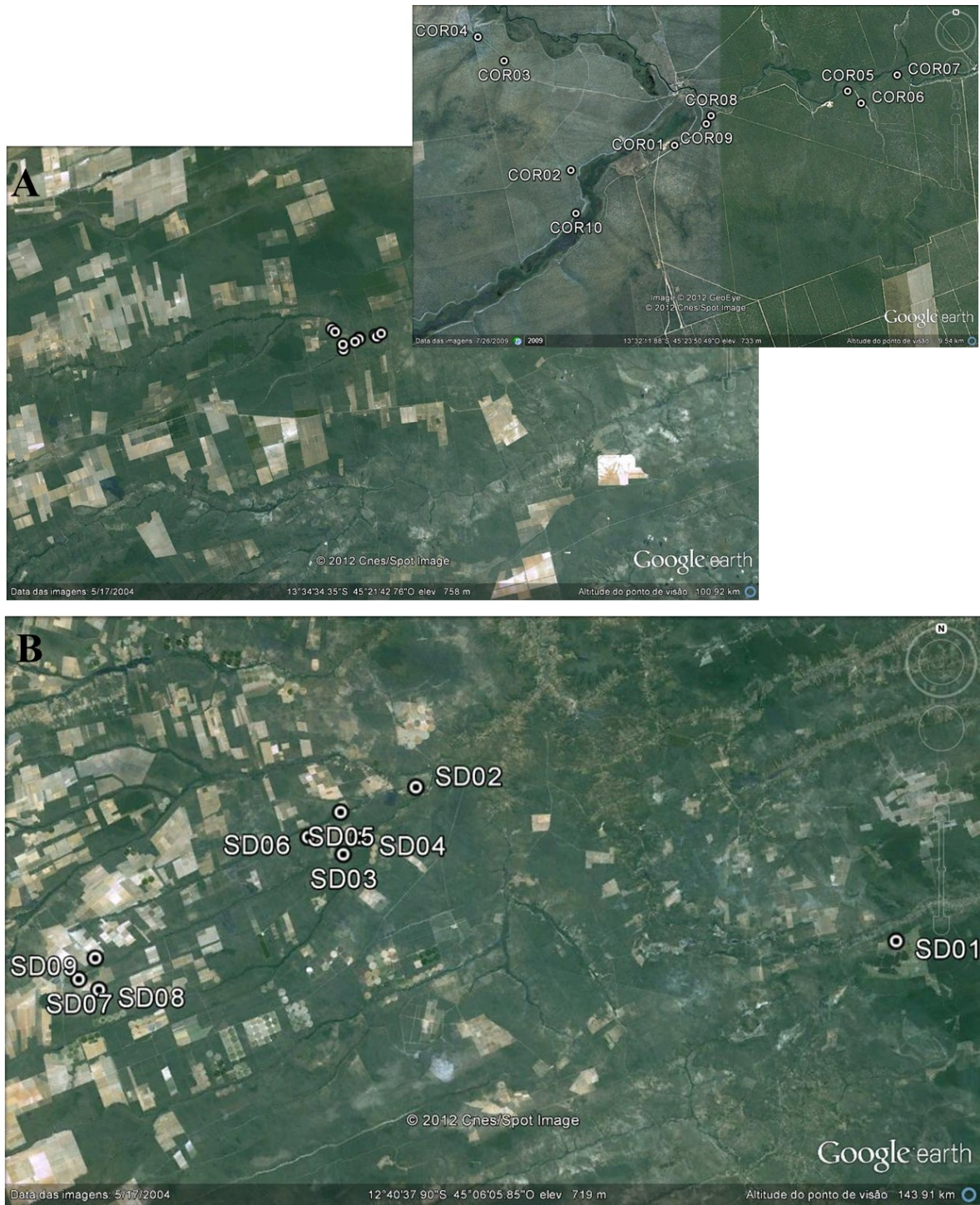


Figura 2: Distribuição geográfica e visão geral da matriz ambiental onde foram instaladas parcelas para amostragem em (A) Correntina (imagem a direita mostra o detalhe da distribuição das 10 parcelas) e (B) São Desidério, Bahia. (Fonte: Google Earth).



Figura 3: Detalhe da estrutura da vegetação associada aos Neossolos Quartzarênicos encontrada em (A) Correntina e em (B) São Desidério.



Figura 4: Detalhe da quadrícula onde foi retirada amostra da biomassa subterrânea da vegetação de cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos.

Antes da escavação a biomassa aérea no local foi cortada e removida, as raízes foram manualmente separadas do solo com auxílio de peneiras com malha de 2 mm. Em laboratório as amostras foram lavadas em água corrente para perfeita separação da biomassa do solo. As amostras coletadas foram secas em estufa e o tempo de secagem variou com a espessura das raízes. As raízes com menores diâmetros permaneceram em estufa (60° C) por período de tempo que variou entre 48 e 72 horas, enquanto as raízes com maiores diâmetros secaram por cinco dias.

Com o auxílio de paquímetro digital as raízes foram classificadas em quatro grupos de acordo com seu diâmetro: finas, < 5 mm; intermediárias, entre 5 mm e 10 mm; grossas,

> 10 mm. Em um quarto grupo, denominado miscelânea, foram incluídas estruturas subterrâneas com diversos tamanhos, tais como xilopódios, bulbos, rizomas, tubérculos e caules. Para efeito de comparação com outros estudos considerou-se “raízes grossas” a somatória das classes “intermediária” e “grossa”, ou seja, raízes com diâmetro ≥ 5 mm e a categoria miscelânea foi contabilizada na biomassa radicular total.

Após a secagem o material foi acondicionado em sacos de papel. A pesagem das raízes finas foi feita em balança de precisão 0,001g, OHAUS modelo TS120, e as raízes grossas e miscelânea foram pesadas em balança ACCULAB modelo V-600 com precisão de 0,01g.

A análise de normalidade dos dados foi feita pela aplicação do teste Shapiro-Wilk. Para testar se houve diferença significativa ($\alpha = 0,05$) entre os valores de biomassa por classes de raízes para as duas áreas (Correntina e São Desidério) aplicou-se o teste não-paramétrico *Wilcoxon Method (each pair)*. Para avaliar se houve diferença significativa ($\alpha = 0,05$) entre os teores e os estoques de nutrientes nas duas áreas de cerrado sobre Neossolos Quartzarênicos aplicou-se teste *t* (paramétrico). E para avaliar se houve diferença significativa entre a biomassa radicular por classes amostrada em Correntina e São Desidério sobre Neossolos Quartzarênicos e Brasília/RECOR-IBGE, cerrado sobre Latossolos, aplicou-se o teste não-paramétrico *Kruskal-Wallis* ($H_{0,05}$) e quando a hipótese nula (médias iguais) foi rejeitada, o teste *Student-Newman-Keuls* foi aplicado para comparações múltiplas ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram feitas com o programa JMP 9.0.2 (SAS Institute Inc.).

2.2 Análises de Nutrientes

Para a realização das análises químicas de nutrientes as raízes coletadas em Correntina e São Desidério, separadas por parcelas e classes de diâmetros, foram moídas em Moinho (Marconi) de rotor com facas acoplado com peneira de 20 Mesh. Três gramas de cada amostra foram separadas e enviadas para análise no Laboratório de Análise Foliar do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV). A determinação dos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) foi realizada através da digestão nítrico-perclórica e a concentração de nitrogênio (N) pelo método de Kejdhal.

2.3 Solos

Com o auxílio de trado foi retirada amostra simples da camada superficial do solo (0-10 cm) no ponto central de cada parcela onde a vegetação lenhosa foi amostrada. As

análises químicas foram realizadas no Laboratório de Análises de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Foram realizadas as seguintes análises: pH em H₂O; teor percentual de matéria orgânica (MO) pelo método Walkley-Black (carbono orgânico x 1,724); fósforo (P) e potássio (K) pelo extrator Mehlich 1; cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) pelo extrator KCl 1 mol/L; e enxofre (S) pelo extrator fosfato monocálcico em ácido acético. A análise granulométrica foi realizada no Laboratório de Solos da Universidade de Brasília (UnB), os teores percentuais de areia, silte e argila foram obtidos pelo método Densímetro Simplificado.

A partir dos dados de solos foi realizada análise de componentes principais (PCA) com o intuito de sumarizar as variáveis físicas e químicas mais relacionadas às áreas de estudo. Para tanto utilizou-se o programa PC-ORD 5.12 (McCune & Mefford 2006).

3.0 Resultados

3.1 Biomassa Subterrânea

Com relação à biomassa radicular calculada para todas as classes, não foram encontradas diferenças estatísticas entre as duas áreas de cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos (Tabela 1). A biomassa média total de raízes foi estimada em 16,82 Mg.ha⁻¹ (± 7,56) (± desvio padrão) em Correntina e 19,29 Mg.ha⁻¹ (± 12,04) em São Desidério (Figura 5). A biomassa média de raízes finas (0-30 cm) foi estimada em 5,41 Mg.ha⁻¹ (± 2,91) em Correntina e 5,98 Mg.ha⁻¹ (± 2,43) em São Desidério (Figura 5). A biomassa média de raízes grossas (somatória das classes intermediária e grossa) em Correntina e São Desidério foi 10,30 Mg.ha⁻¹ (± 6,99) e 11,66 Mg.ha⁻¹ (± 10,21), respectivamente (Figura 5).

Para as formações savânicas do Cerrado, levantamento de dados realizado na literatura mostrou que todos os estudos encontrados foram conduzidos na fisionomia de cerrado sentido restrito (Tabela 2). Esta fitofisionomia varia desde o cerrado ralo (campo cerrado), com cobertura arbórea entre 5% e 20% e altura média de 2 m a 3 m, até o cerrado denso, predominantemente arbóreo com cobertura entre 50% e 70% e altura média de 5 m a 8 m (Ribeiro & Walter 2008). Além disso, os estudos levantados na literatura foram realizados em cerrado sobre Latossolos, tipo de solo com teores de silte entre 10% e 20% e de argila entre 15% e 80% (Reatto *et al.* 2008), valores superiores aos encontrados nos Neossolos Quartzarênicos (Anexo 1).

Tabela 1: Biomassa subterrânea (Mg.ha⁻¹) de cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos amostradas a 0-30 cm do solo. Onde: P=parcela; CR=Correntina; SD=São Desidério; BTR=biomassa total de raízes.

Parcelas	< 5 mm		5-10 mm		> 10 mm		Miscelânea		BTR	
	CR	SD	CR	SD	CR	SD	CR	SD	CR	SD
P 01	3,41	2,99	5,49	0,59	4,21	2,91	0,38	0,24	13,49	6,73
P 02	4,47	11,21	3,20	3,04	24,92	5,27	1,81	1,31	34,40	20,83
P 03	4,44	3,91	3,67	2,40	3,76	3,42	0,81	0,67	12,67	10,40
P 04	3,14	4,40	0,80	2,41	1,24	0,44	0,80	0,44	5,98	7,68
P 05	5,10	6,46	2,57	2,39	4,30	24,82	0,78	1,64	12,74	35,30
P 06	6,22	6,11	3,09	5,40	3,99	2,58	0,84	1,74	14,14	15,84
P 07	5,09	6,60	1,98	3,18	11,16	8,21	2,29	6,28	20,52	24,27
P 08	4,88	4,73	1,54	3,95	8,96	3,13	0,81	0,39	16,18	12,20
P 09	4,05	7,44	2,33	5,57	9,22	25,28	0,97	2,06	16,56	40,35
P 10	13,29	-	4,45	-	2,13	-	1,61	-	21,49	-

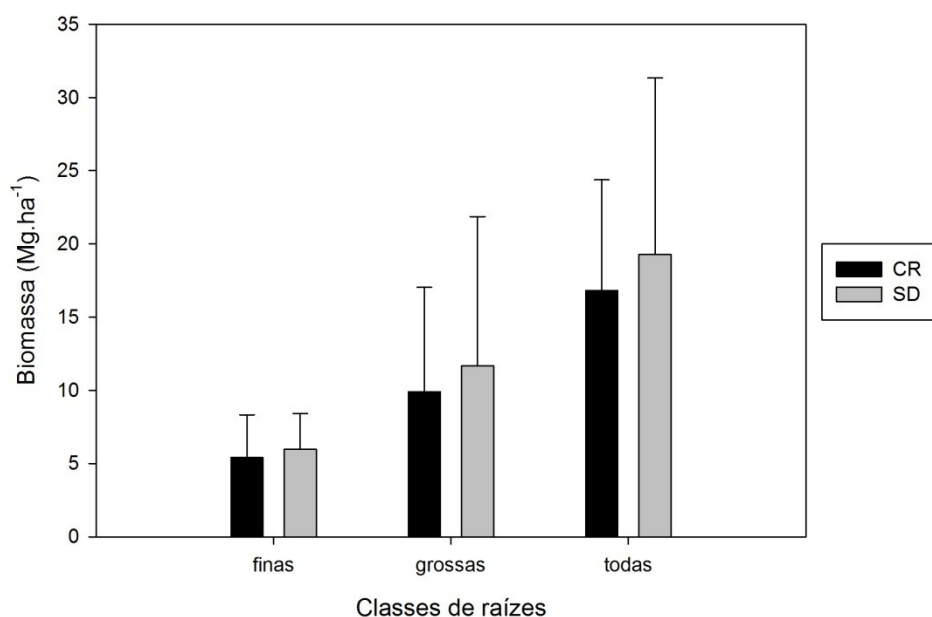


Figura 5: Biomassa subterrânea total por classe de raízes encontrada nas áreas de cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos (Média e desvio padrão). Onde: CR=Correntina e SD=São Desidério.

Tabela 2: Biomassa subterrânea de cerrado sentido restrito com base em dados levantados na literatura. Onde: BRG=biomassa de raízes grossas, BRF=biomassa de raízes finas e BTR=biomassa total de raízes.

Fisionomia	Localidade	Estado	BRG	BRF (Mg.ha ⁻¹)	BTR	Referências
Cerrado	Área residencial	DF	-	-	41,1	Abdala <i>et al.</i> 1998
Cerrado aberto	RECOR IBGE/JBB	DF	-	-	46,6	Castro & Kauffman 1998
Cerrado denso	RECOR IBGE/JBB	DF	-	-	52,9	Castro & Kauffman 1998
Cerrado típico-bienal precoce	RECOR IBGE	DF	15,3	21,5	36,8	Castro-Neves 2007
Cerrado típico-bienal tardia	RECOR IBGE	DF	20,1	19,6	39,7	Castro-Neves 2007
Cerrado típico-quadrienal	RECOR IBGE	DF	19,9	22,0	41,9	Castro-Neves 2007
Cerrado típico-bienal modal	RECOR IBGE	DF	20,2	25,3	45,5	Castro-Neves 2007
Campo cerrado	Cerrado de Emas	SP	-	-	10,7	Delitti <i>et al.</i> 2001
Cerrado típico	Uberlândia	MG	10,0	20,0	30,0	Lilienfein & Wilcke 2003
Cerrado denso	RECOR IBGE	DF	12,4	2,9	15,3	Oliveira 1999
Cerrado <i>sensu stricto</i>	FAL	DF	21,9	11,2	33,1	Paiva & Faria 2007
Cerrado <i>stricto sensu</i> (típico e denso)	EE de Assis	SP	-	-	5,7	Pinheiro 2008
Cerrado <i>sensu stricto</i>	Curvelo	MG	-	-	37,5	Ribeiro <i>et al.</i> 2011
Cerrado <i>stricto sensu</i>	RECOR IBGE	DF	22,9	12,2	35,1	Rodin 2004
Cerrado <i>stricto sensu</i>	RECOR IBGE	DF	27,1	11,9	39,0	Rodin 2004
Média (± desvio padrão)	-	-	18,87 (5,37)	16,29 (7,13)	34,06 (13,50)	-

Os trabalhos levantados na literatura não utilizaram metodologia padronizada para amostragem e classificação da biomassa radicular (Tabela 3). Dentre estes, Castro & Kauffman (1998), Castro-Neves (2007) e Paiva & Faria (2007) consideraram como finas as raízes com diâmetro abaixo de 5 mm (Tabela 3), classificação semelhante à adotada neste estudo. Também houve ampla variação na profundidade de amostragem (Tabela 3), porém de acordo com Castro & Kauffman (1998) cerca de 70% da biomassa subterrânea total do cerrado sentido restrito é encontrada na camada até 30 cm de profundidade do solo, ratificando a profundidade de amostragem adotada neste estudo.

Tabela 3: Metodologia para classificação e amostragem da biomassa subterrânea com base em levantamento bibliográfico.

Referências	Estado	Classes de Diâmetro (mm)	Profundidade Máxima de Amostragem (cm)
Abdala <i>et al.</i> 1998	DF	< 2, 2-10, > 10	620
Castro & Kauffman 1998	DF	≤ 5, 6-10, 11-20, 21-30 e tubérculos	100
Castro-Neves 2007	DF	≤ 5	50
Delitti <i>et al.</i> 2001	SP	≤ 20	36
Oliveira 1999	DF	≤ 2, > 2	700
Paiva & Faria 2007	DF	≤ 5, 6-10, > 10	30
Ribeiro <i>et al.</i> 2011	MG	< 10	100
Rodin 2004	DF	< 2	300

De modo geral, as áreas de cerrado sentido restrito sobre Latossolos apresentaram biomassa média total de 34,06 Mg.ha⁻¹, biomassa média de raízes grossas 18,87 Mg.ha⁻¹ e raízes finas 16,29 Mg.ha⁻¹ (Tabela 2). A maioria dos estudos foi realizada no cerrado da Reserva Ecológica do IBGE (RECOR-IBGE) em Brasília - Distrito Federal (Tabela 2). Salvo as diferenças metodológicas, considerou-se os diferentes levantamentos realizados na RECOR-IBGE como réplicas da mesma amostragem e, assim, comparou-se os dados coletados em Latossolos com os valores encontrados nas áreas de cerrado sobre Neossolos Quartzarênicos.

O cerrado da RECOR-IBGE apresentou biomassa total de raízes (39,20 Mg.ha⁻¹ ± 10,51) significativamente maior que a encontrada em Correntina (SNK; $p=0,002$) e São Desidério (SNK; $p=0,004$) (Figura 6). Na RECOR-IBGE a biomassa de raízes grossas foi estimada em 19,70 Mg.ha⁻¹ (± 4,80), valor significativamente superior ao encontrado em Correntina (SNK; $p=0,01$) e São Desidério (SNK; $p=0,03$) (Figura 6). E com relação à biomassa de raízes finas resultado semelhante foi encontrado, para a RECOR-IBGE a estimativa foi de 16,49 Mg.ha⁻¹ (± 7,82) superior ao encontrado em Correntina (SNK; $p=0,01$) e São Desidério (SNK; $p=0,04$) (Figura 6).

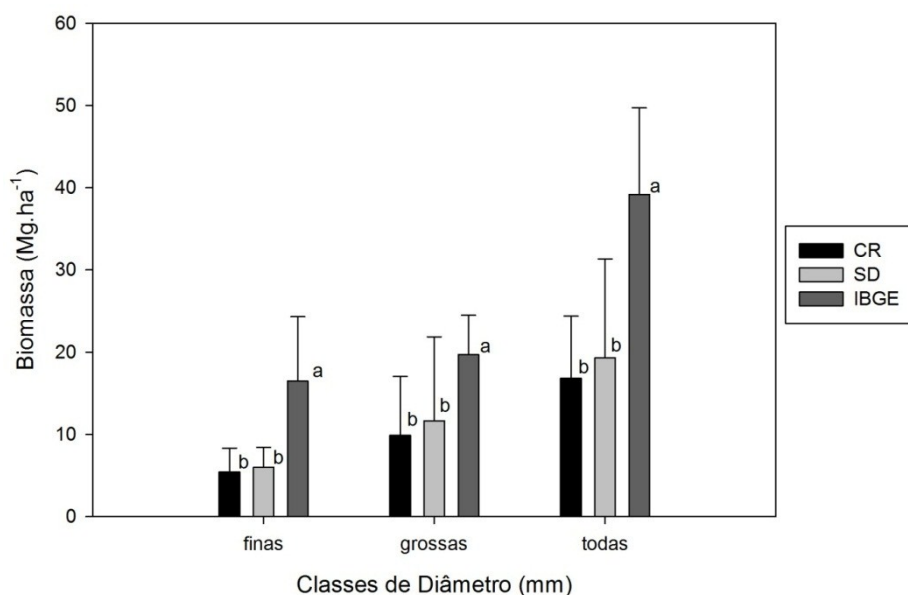


Figura 6: Biomassa subterrânea por classe de raízes amostrada em Correntina (CR) e São Desidério (SD) sobre Neossolos Quartzarênicos e RECOR-IBGE (IBGE) sobre Latossolos (dados compilados de Castro-Neves 2007, Castro & Kauffman 1998, Oliveira 1999, Rodin 2004). Média e desvio padrão. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas entre áreas (SNK; $p < 0,05$).

3.2 Teores e Estoques de Nutrientes

As concentrações de N foram significativamente maiores em todas as classes de raízes coletadas em Correntina e as classes miscelânea e raízes finas abrigaram os maiores teores deste nutriente (Tabela 4). As raízes amostradas em Correntina também apresentaram as maiores concentrações de P em todas as classes de diâmetro, com exceção do grupo miscelânea (Tabela 4).

Os maiores teores de K foram encontrados nas raízes de Correntina, porém com diferenças significativas entre áreas apenas nas classes finas e intermediárias (Tabela 4). Com relação ao S, a classe miscelânea de Correntina apresentou valor significativamente maior em comparação a São Desidério, enquanto para Ca e Mg não foram encontradas diferenças significativas nas raízes amostradas nas duas localidades (Tabela 4).

Na tabela 5 são apresentados os valores dos estoques de nutrientes na biomassa subterrânea em cada uma das classes analisadas. De modo geral, o estoque total de nutrientes para a biomassa subterrânea em Correntina e São Desidério variou na seguinte ordem: $N > Ca > K > Mg > S > P$ (Figura 7).

Tabela 4: Concentração de nutrientes em raízes (g.kg^{-1}) de cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos. Média e (Desvio padrão). Onde: CR= Correntina e SD= São Desidério.

Classes	N		P		K		Ca		Mg		S	
	CR	SD	CR	SD	CR	SD	CR	SD	CR	SD	CR	SD
< 5 mm	8,07 ^a	6,46 ^b	0,44 ^a	0,27 ^b	1,63 ^a	1,21 ^b	1,42 ^a	1,82 ^a	0,90 ^a	1,02 ^a	0,89 ^a	0,76 ^a
	(1,53)	(1,08)	(0,11)	(0,09)	(0,32)	(0,23)	(0,28)	(0,97)	(0,14)	(0,38)	(0,26)	(0,19)
5-10 mm	6,91 ^a	5,62 ^b	0,38 ^a	0,26 ^b	1,58 ^a	1,31 ^b	2,49 ^a	3,36 ^a	0,84 ^a	1,09 ^a	0,64 ^a	0,64 ^a
	(1,41)	(1,05)	(0,12)	(0,08)	(0,30)	(0,21)	(1,41)	(0,89)	(0,21)	(0,44)	(0,07)	(0,15)
> 10 mm	7,72 ^a	5,37 ^b	0,36 ^a	0,23 ^b	2,26 ^a	1,26 ^a	3,23 ^a	2,61 ^a	0,84 ^a	1,05 ^a	0,64 ^a	0,56 ^a
	(2,18)	(1,76)	(0,08)	(0,07)	(2,45)	(0,32)	(2,87)	(1,79)	(0,26)	(0,20)	(0,08)	(0,16)
Miscelânea	8,84 ^a	5,60 ^b	0,41 ^a	0,23 ^a	1,70 ^a	0,84 ^a	2,32 ^a	1,81 ^a	0,70 ^a	0,63 ^a	0,79 ^a	0,65 ^b
	(1,92)	(1,49)	(0,32)	(0,09)	(1,20)	(0,27)	(1,90)	(1,35)	(0,23)	(0,21)	(0,09)	(0,17)

Para cada elemento, em uma mesma linha, letras diferentes representam diferenças significativas a 5% pelo teste *t*.

Tabela 5: Estoque de nutrientes por classes de raízes amostradas em cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos.

Áreas	Classes	Biomassa	(kg.ha ⁻¹)					
			N	P	K	Ca	Mg	S
Correntina	< 5 mm	5.407,82	45,57 (30,71)	2,50 (1,80)	8,90 (5,30)	7,78 (4,63)	4,82 (2,56)	4,65 (2,24)
	5 – 10 mm	2.911,68	20,47 (10,00)	1,08 (0,49)	4,65 (2,51)	7,65 (5,84)	2,49 (1,35)	1,89 (1,01)
	> 10 mm	7.389,19	64,20 (75,02)	2,67 (2,69)	15,09 (13,86)	15,79 (13,09)	5,97 (5,06)	4,39 (3,44)
	Miscelânea	1.109,16	9,92 (5,96)	0,52 (0,64)	1,72 (1,04)	2,77 (2,50)	0,79 (0,59)	0,88 (0,51)
	Média (± desvio padrão)	-	35,04 (44,84)	1,69 (1,85)	7,59 (8,86)	8,50 (8,73)	3,52 (3,48)	2,95 (2,62)
São Desidério	< 5 mm	5.983,51	38,13 (15,61)	1,70 (1,09)	7,67 (4,47)	10,44 (5,21)	6,13 (2,81)	4,54 (2,52)
	5 – 10 mm	3.213,09	18,32 (9,32)	0,93 (0,69)	4,12 (1,95)	11,11 (6,50)	3,57 (2,20)	1,95 (0,87)
	> 10 mm	8.450,28	43,03 (49,16)	2,09 (2,79)	11,19 (13,70)	28,40 (46,55)	9,35 (10,93)	4,04 (3,89)
	Miscelânea	1.641,28	7,60 (6,22)	0,38 (0,40)	1,64 (2,10)	2,18 (3,15)	0,85 (0,60)	1,00 (0,96)
	Média (± desvio padrão)	-	26,77 (29,17)	1,27 (1,63)	6,16 (7,92)	13,14 (24,58)	4,97 (6,36)	2,88 (2,74)

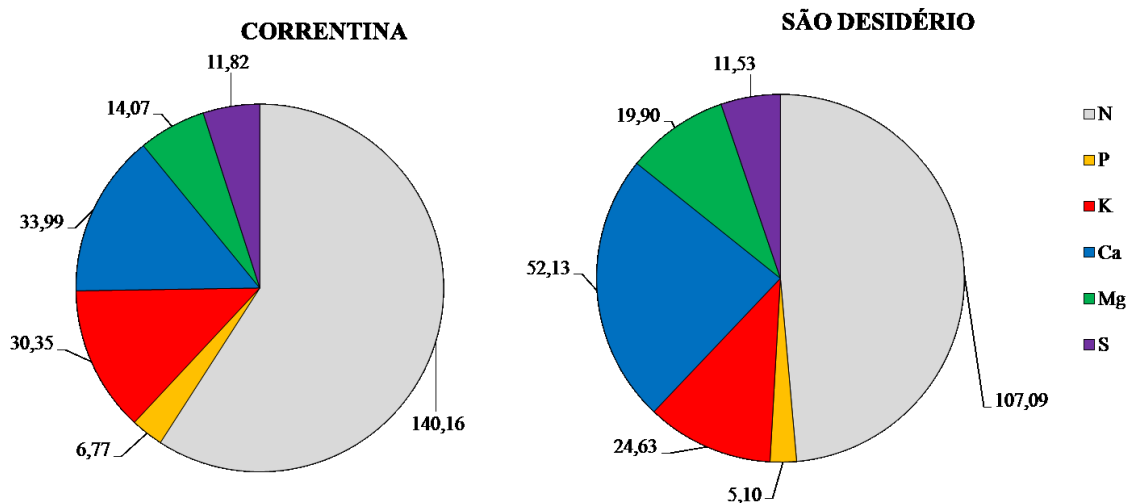


Figura 7: Estoque total de nutrientes encontrado na biomassa subterrânea de cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos.

3.3 Solos

De modo geral, os solos das áreas estudadas são ácidos e distróficos com baixa fertilidade natural (Anexo 1), os valores encontrados estão dentro da faixa de variação indicada por Eiten (1972) e Furley & Ratter (1988) para os solos do Cerrado. Quanto às características de textura, os solos de Correntina e São Desidério apresentaram altos teores de areia, acima de 81%, e baixos teores de silte, abaixo de 1,8% (Anexo 1).

Os dois primeiros eixos da PCA explicaram 83,6% da variação dos dados e foram significativos com base no teste de aleatorização dos autovalores ($p \leq 0,002$). A PCA revelou gradiente de textura (Figura 8), onde, de modo geral, os solos de Correntina foram mais arenosos em relação a São Desidério. Além disso, foi possível observar que algumas parcelas de Correntina e São Desidério foram influenciadas pelos altos valores de K, P e matéria orgânica (Figura 8).

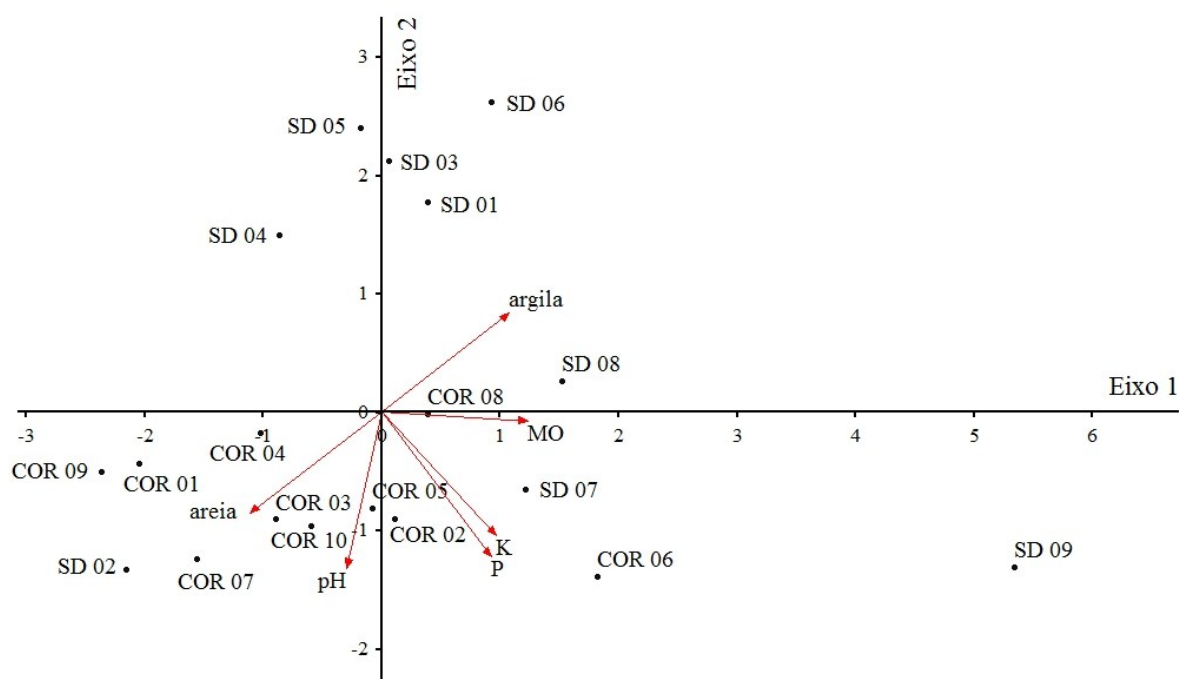


Figura 8: Análise de Componentes Principais das variáveis físicas e químicas dos solos (0-10 cm) coletados em Correntina e São Desidério. Onde: COR=Correntina; SD=São Desidério; MO=Matéria Orgânica.

4.0 Discussão

As áreas de cerrado sentido restrito amostradas em Correntina e São Desidério não apresentaram diferenças significativas com relação à biomassa radicular para todas as classes analisadas. A textura dos solos é um dos fatores que pode afetar a drenagem e a

capacidade do solo em armazenar água (Eiten 1972, Oliveira-Filho *et al.* 1989), e consequentemente influenciar o investimento da vegetação em biomassa subterrânea. As duas áreas de cerrado estudadas possuem solos com textura areia-franca, teores médios de areia acima de 80% (Anexo 1), tais semelhanças nos aspectos físicos dos solos podem ter contribuído nas respostas da vegetação com relação ao investimento em biomassa radicular.

Além disso, as duas áreas estudadas são próximas geograficamente, distam cerca de 120 km em linha reta, e estão sob condições abióticas semelhantes, precipitação média anual abaixo de 1.200 mm, temperatura média anual em torno de 24,7° C e em média possuem cinco meses de seca. Estes fatores se somam e influenciam as respostas da vegetação que tende a apresentar similar investimento em biomassa radicular.

A comparação entre os valores de biomassa radicular das áreas de cerrado sentido restrito sobre Latossolos e Neossolos Quartzarênicos mostrou diferenças significativas para todas as classes de raízes. O desenvolvimento, distribuição e consequente produção de biomassa subterrânea são resultantes da interação do genótipo da espécie com uma série de processos complexos e dinâmicos que incluem o ambiente como um todo, o solo e a planta (Cairns *et al.* 1997). Diferenças locais nos determinantes bióticos e abióticos podem ter contribuído para a diferenciação das áreas de cerrado com relação ao investimento em biomassa de raízes.

Para o cerrado da RECOR-IBGE dados da base TRMM (“*Tropical Rainfall Measurement Mission*”) apontam precipitação média anual, para o período de 2000-2010, de 1.360 mm, valor superior à média encontrada para Correntina e São Desidério no mesmo período (1.106 mm). Baseado nos mesmos dados coletados na base TRMM calculou-se que a RECOR-IBGE apresenta em média quatro meses de seca (meses com precipitação ≤ 30 mm, Eiten 1972), enquanto que os cerrados de Correntina e São Desidério são cinco meses de seca. O cerrado da RECOR-IBGE está associado aos Latossolos, solos com teor de silte entre 10% e 20% e de argila variando entre 15% e 80% (Reatto *et al.* 2008). Estes valores são superiores aos encontrados em Correntina e São Desidério, onde o teor médio de silte foi 1,9% e 1,5%, e de argila 10,3% e 17,8%, respectivamente (Anexo 1).

Além dos fatores abióticos mencionados, os cerrados sobre Latossolos apresentam em média densidade da vegetação lenhosa acima de 1.000 ind.ha⁻¹ (Andrade *et al.* 2002; Assunção & Felfili 2004; Felfili *et al.* 1993, 2001; Fonseca & Silva Júnior 2004), enquanto que em Neossolos Quartzarênicos a densidade é inferior a 800 ind.ha⁻¹ (Felfili *et al.* 2001)

(Ver também, Capítulo 4). Assim, precipitação local, sazonalidade e diferenças na textura do solo podem influenciar as respostas da vegetação de cerrado tanto na porção aérea quanto subterrânea.

Em Neossolos Quartzarênicos as raízes grossas e finas representaram, respectivamente, cerca de 60% e 30% da biomassa subterrânea total. No cerrado da RECOR-IBGE (sobre Latossolos) as raízes grossas contribuíram com 50% da biomassa total e as raízes finas com 40%. Raízes finas (< 2 mm de diâmetro) são uma importante fonte e dreno de nutrientes nos ecossistemas terrestres, e também desempenham papel fundamental no processo de absorção de água pelas plantas (Gordon & Jackson 2000). Já as raízes mais grossas representam um importante reservatório de carbono, especialmente em formações savânicas mais fechadas (Abdala *et al.* 1998, Schenck & Jackson 2002).

As áreas de cerrado sobre Neossolos Quartzarênicos apresentaram semelhante investimento em biomassa de raízes, porém as concentrações de nutrientes foram diferentes. As raízes coletadas em Correntina abrigaram maiores teores de N, P e K em comparação às raízes coletadas em São Desidério. A PCA também mostrou a influência de K e P nas parcelas de Correntina. Estas diferenças podem ser reflexo da lixiviação de fertilizantes que são aplicados nas culturas que margeiam as áreas de vegetação nativa em Correntina. No entanto, são necessários estudos específicos para se avaliar o aporte exógeno de nutrientes para a vegetação nativa e futuros impactos na estrutura da vegetação.

Em cerrado aberto e cerrado denso associado aos Latossolos, Castro (1996) amostrou raízes que foram separadas nas classes de diâmetro < 6 mm; 6-10 mm; 11-20 mm e 21-30 mm. Para estas classes o teor médio de N foi 6,42 g.kg⁻¹ em cerrado aberto e 7,02 g.kg⁻¹ em cerrado denso. Estes valores foram semelhantes ao encontrado em Correntina (7,57 g.kg⁻¹) para todas as classes de raízes exceto miscelânea, porém superiores ao obtido em São Desidério (5,82 g.kg⁻¹). Quanto ao S, levando em consideração as classes mencionadas, Castro (1996) encontrou para cerrado aberto valor médio de 0,32 g.kg⁻¹ e para cerrado denso 0,38 g.kg⁻¹, valores inferiores aos encontrados em Correntina (0,72 g.kg⁻¹) e São Desidério (0,65 g.kg⁻¹).

Gordon & Jackson (2000) analisaram a variação no teor de nutrientes em raízes finas (≤ 5 mm de diâmetro) coletadas em vários ecossistemas, incluindo ambientes de clima temperado, tropical, boreal e tundra. Os autores encontraram que, de modo geral, as raízes com as menores classes de diâmetro (< 2 mm) apresentam as maiores concentrações de N, P e Mg. Para o cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos não foram

encontradas grandes discrepâncias no teor destes nutrientes entre as diferentes classes de raízes.

Resende (2001) analisou a biomassa e o estoque de nutrientes em raízes (> 2 mm) coletadas no cerrado denso sobre Latossolos, com exclusão de fogo, na RECOR-IBGE até uma profundidade de 8 m. Com base nos dados apresentados pelo autor cerca de 80% da biomassa subterrânea e conseqüente estoques de nutrientes foram encontrados até 50 cm do solo, profundidade mais próxima à analisada neste estudo (30 cm). De acordo com Resende, a biomassa radicular do cerrado denso sobre Latossolos foi 21.131 kg.ha⁻¹, valor superior ao encontrado em Correntina (16.818 kg.ha⁻¹) e São Desidério (19.288 kg.ha⁻¹). Tais dados ratificam que a textura do solo é um fator importante para o investimento diferenciado em biomassa radicular.

No cerrado denso o estoque de N na biomassa subterrânea foi 80,4 kg.ha⁻¹ (0-50 cm de profundidade) (Resende 2001), valor inferior ao encontrado em Correntina (140,2 kg.ha⁻¹) e São Desidério (107,1 kg.ha⁻¹) (0-30 cm de profundidade). As áreas de cerrado sobre Neossolos Quartzarênicos não são protegidas do fogo e apresentam alta frequência de queimadas (observação pessoal) e baixa cobertura lenhosa, 20,3% em Correntina e 30,5% em São Desidério. Com base nestes dados, tem-se que o fogo não influenciou negativamente o estoque de N. De acordo com Kauffman *et al.* (1994), somente 2% do estoque total de N no sistema é alterado pelas queimadas, apesar de haver perdas por volatilização. Além disso, o grande reservatório de N total é o solo (Resende 2001).

Com base na composição florística do estrato lenhoso em amostragem realizada nas parcelas de 0,1 ha a família Fabaceae se destacou em riqueza nas duas áreas de cerrado sobre Neossolos Quartzarênicos. Do total de espécies lenhosas amostradas em Correntina (59 espécies) e São Desidério (62), 22% (13 espécies) e 27% (17), respectivamente, pertencem à Fabaceae (ver Capítulo 4). De acordo com Mendonça *et al.* (2001), Fabaceae foi a família mais representada na Chapada do Espigão Mestre do São Francisco, portanto sua alta representatividade nas áreas estudadas pode ter contribuído para o estoque de N encontrado nas raízes.

Na biomassa subterrânea de cerrado denso sobre Latossolos os estoques de K, Ca e Mg foram 43,9 kg.ha⁻¹, 54,4 kg.ha⁻¹ e 15,0 kg.ha⁻¹, respectivamente (Resende 2001). Em Correntina e São Desidério, os estoques de K (30,3 kg.ha⁻¹ e 24,6 kg.ha⁻¹, respectivamente) e Ca (34,0 kg.ha⁻¹ e 52,1 kg.ha⁻¹, respectivamente) foram inferiores aos encontrados no cerrado denso. Para Mg em Correntina o estoque foi inferior (14,1 kg.ha⁻¹), porém em São Desidério superior (19,9 kg.ha⁻¹) ao encontrado no cerrado denso. Para estes nutrientes

Resende (2001) encontrou maiores estoques na biomassa do que no solo (até 8 metros). Assim, a alta frequência de queimadas nos cerrados de Correntina e São Desidério, em longo prazo, pode levar à redução dos estoques de K, Ca e Mg na vegetação e consequentemente afetar a ciclagem local destes nutrientes.

As áreas de cerrado sentido restrito amostradas em Correntina e São Desidério apresentaram biomassa aérea lenhosa $13,59 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $15,01 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente (ver Capítulo 4). Assim, a razão entre biomassa subterrânea e biomassa aérea (BS:BA) foi calculada em 1,2 e 1,3 em Correntina e São Desidério, respectivamente. Adicionando-se os dados de biomassa radicular média total à biomassa aérea lenhosa tem-se uma estimativa da biomassa total da vegetação, em Correntina este valor foi $30,41 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e em São Desidério $34,30 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. No cerrado da RECOR-IBGE a biomassa aérea da vegetação lenhosa foi estimada em $22,33 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Ottmar *et al.* 2001, Castro-Neves 2007), a proporção BS:BA foi 1,8 e a biomassa total da vegetação foi estimada em $61,53 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Com base nos resultados apresentados, em Latossolos a vegetação de cerrado apresenta maior investimento tanto em biomassa aérea quanto em biomassa subterrânea.

Os dados apresentados são inéditos e revelaram importantes características relacionadas à biomassa subterrânea do cerrado sentido restrito. De modo geral, a biomassa nos cerrados sobre Neossolos Quartzarênicos foi menor que a encontrada nos cerrados sobre Latossolos. Porém, os solos arenosos são mais susceptíveis à erosão quando ocorre remoção da vegetação (Haridasan 2001) e esta característica é preocupante, pois o oeste da Bahia está sob intensa pressão de mudança de uso da terra (MMA/IBAMA/PNUD 2009). São Desidério e Correntina ocuparam, respectivamente, a segunda e terceira posição no ranque dos 20 municípios que mais sofreram desmatamento entre 2002 e 2008 (MMA/IBAMA/PNUD 2009).

Com base nos dados expostos, vê-se a necessidade de manutenção da vegetação nativa nestas áreas tanto para permanência dos estoques de carbono, quanto para manutenção da integridade do solo. Outro fator que merece atenção é a alta frequência de queimadas observada nas áreas estudadas. Em 2005 as emissões brasileiras de CO_2 foram estimadas em 1.638 Tg sendo a Mudança do Uso da Terra e Florestas o setor responsável por 77% das emissões (MCT 2010). Assim, a intensificação da conversão de vegetação nativa em monoculturas comerciais no oeste baiano, além de ocasionar perda de biodiversidade e diminuição dos estoques de carbono, pode agravar as estatísticas brasileiras de emissões de gases de efeito estufa.

5.0 Bibliografia

- ABDALA, G., L. CALDAS, M. HARIDASAN, AND G. EITEN, 1998. Above and belowground organic matter and root:shoot ratio in a cerrado in Central Brazil. *Brazilian Journal of Ecology* 2: 11-23.
- ANDRADE, L.A.Z., J.M. FELFILI, AND L. VIOLATTI, 2002. Fitossociologia de uma área de cerrado denso na RECOR-IBGE, Brasília-DF. *Acta botânica brasílica* 16(2): 225-240.
- ASSUNÇÃO, S.L., AND J.M. FELFILI, 2004. Fitossociologia de um fragmento de cerrado *sensu stricto* na APA do Paranoá, DF, Brasil. *Acta botânica brasílica* 18(4):903-909.
- BERINGER, J., L.B. HUTLEY, N.J. TAPPER, AND L.A. CERNUSAK, 2007. Savanna fires and their impact on net ecosystem productivity in North Australia. *Global Change Biology* 13: 990-1004.
- CAIRNS, M.A., S. BROWN, E.H. HELMER, AND G.A. BAUMGARDNER, 1997. Root Biomass Allocation in the World's Upland Forests. *Oecologia* 111: 1-11.
- CASTRO, E.A. 1996. *Biomass, nutrient pools and response to fire in the Brazilian Cerrado*. 118p. Dissertation (Mestrado) - Oregon State University, Oregon, USA.
- CASTRO, E.A., AND J.B. KAUFFMAN, 1998. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. *Journal of Tropical Ecology* 14: 263-283.
- CASTRO-NEVES, B.M., 2007. *Efeito de queimadas em áreas de cerrado stricto sensu e na biomassa de raízes finas*. Thesis (Doutorado). Departamento de Ecologia. Universidade de Brasília. 82p.
- CAIAS, P., S.-L. PIAO, P. CADULE, P. FRIEDLINGSTEIN, AND A. CHÉDIN, 2009. Variability and recent trends in the African terrestrial carbon balance. *Biogeosciences* 6: 1935-1948.
- DELITTI, W.B.C., J.G. PAUSAS, AND D.M. BURGER, 2001. Belowground biomass seasonal variation in two Neotropical savannahs (Brazilian Cerrados) with different fire histories. *Ann. For. Sci.* 58: 713-721.
- EITEN, G., 1972. The Cerrado vegetation of Brazil. *Botanical Review* 38: 201-341.
- FELFILI, J.M., M.C. SILVA JÚNIOR, A.V. REZENDE, J.W.B. MACHADO, B.T. WALTER, P.E.N. SILVA, AND J.D. HAY, 1993. Análise comparativa da florística e fitossociologia da vegetação arbórea do cerrado *sensu stricto* na Chapada Pratinha, DF-Brasil. *Acta botânica brasílica* 6(2):27-46.
- FELFILI, J.M.; M.C. SILVA JÚNIOR, A.C. SEVILHA, A.V. REZENDE, P.E. NOGUEIRA, B.M.T. WALTER, F. CHAGAS E SILVA, AND M.A.S. SALGADO, 2001. Fitossociologia da vegetação arbórea. Pp. 35-56. *In* FELFILI, J.M., AND M.C. SILVA JÚNIOR (orgs.). *Biogeografia do bioma Cerrado: estudo fitofisionômico da Chapada do Espigão Mestre do São Francisco*. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal.
- FITTER, A. H. 1991. Characteristics and functions of root systems. *In* Y., WAISEL, A. ESHEL, AND U. KAFKAFI (eds.). *Plants roots, the hidden half*. Marcel Dekker, Inc. New York. p.3-38.
- FONSECA, M.S., AND M.C. SILVA JÚNIOR, 2004. Fitossociologia e similaridade florística entre trechos de cerrado sentido restrito em interflúvio e em vale no Jardim Botânico de Brasília, DF. *Acta botânica brasílica* 18(1): 19-29.
- FREITAS, T., D. BARROSO, AND J. CARNEIRO, 2008. Dinâmica de raízes de espécies arbóreas: visão da literatura. *Ciência Florestal* 18: 133-142.
- FURLEY, P., AND J. RATTER, 1988. Soil Resources and Plant Communities of the Central Brazilian Cerrado and Their Development. *Journal of Biogeography* 15: 97-108.

- GORDON, W.S., AND R.B. JACKSON, 2000. Nutrient Concentrations in Fine Roots. *Ecology* 81: 275-280.
- GRACE, J., J. SAN JOSE, P. MEIR, H. MIRANDA, AND R. MONTES, 2006. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. *Journal of Biogeography* 33: 387-400.
- HARIDASAN, M. 2001. Solos. In FELFILI, J.M., AND M.C. SILVA JÚNIOR (org). *Biogeografia do bioma Cerrado: Estudo fitofisionômico na Chapada do Espigão Mestre do São Francisco*. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal.
- JACKSON, R., J. CANADELL, J.R. EHLERINGER, H.A. MOONEY, O.E. SALA, AND E.D. SCHULZE, 1996. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia* 108: 389-411.
- JACKSON, R., H. MOONEY, AND E.-D. SCHULZE, 1997. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 94: 7362-7366.
- JOHN, B., H. N. PANDEY, AND R. S. TRIPATHI, 2001. Vertical distribution and seasonal changes of fine and coarse root mass in *Pinus Kesiya* Royle Ex. Gordon forest of three different ages. *Acta Oecologia* 22: 293-300.
- KAUFFMAN, J.B., D.L. CUMMINGS, AND D.E. WARD, 1994. Relationships of Fire, Biomass and Nutrient Dynamics along a Vegetation Gradient in the Brazilian Cerrado. *The Journal of Ecology* 82: 519-531.
- LILIENFEIN, J., AND W. WILCKE, 2003. Element storage in native , agri-, and silvicultural ecosystems of the Brazilian savanna. *Plant and Soil* 254: 425-442.
- MCCUNE, B. AND M. J. MEFFORD. 2006. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 5.12 MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.
- MCT (MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA), 2010. *Segunda comunicação nacional do Brasil à convenção-quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima*. Brasília-DF, 280p.
- MMA, IBAMA, AND PNUD, 2009. RELATÓRIO TÉCNICO DE MONITORAMENTO DO DESMATAMENTO NO BIOMA CERRADO, 2002 a 2008: Dados Revisados. Acordo de Cooperação Técnica. Brasília-DF.
- MENDONÇA, R.C., J.M. FELFILI, C.W. FAGG, M.A. SILVA, T.S. FILGUEIRAS, AND B.M.T. WALTER. 2001. Análise florística da Chapada do Espigão Mestre do São Francisco. In FELFILI, J.M., AND M.C. SILVA JÚNIOR (org). *Biogeografia do bioma Cerrado: Estudo fitofisionômico na Chapada do Espigão Mestre do São Francisco*. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal.
- NORBY, R.J., AND R.B. JACKSON, 2000. Root dynamics and global change: seeking an ecosystem perspective. *New Phytologist* 147:3-12.
- OLIVEIRA, R.S. 1999. *Padrões sazonais de disponibilidade de água nos solos de um cerrado denso e um campo sujo e evapotranspiração*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Ecologia. Universidade de Brasília. Brasília. 69p.
- OLIVEIRA-FILHO, A., G.J. SHEPHERD, F.R. MARTINS, AND W.H. STUBBLEBINE, 1989. Environmental factors affecting physiognomic and floristic variation in an area of Cerrado in Central Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 5: 413-431.
- OTTMAR, R.D., R.E. VIHANEK, H.S. MIRANDA, M.N. SATO, AND S.M.A. ANDRADE. 2001. Séries de Estereo-fotografias para quantificar a biomassa da vegetação do Cerrado do Brasil Central – volume I. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-519. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 87p.

- PAIVA, A.O., AND G.E.D. FARIA, 2007. Estoque de carbono do solo sob cerrado *sensu stricto* no Distrito Federal, Brasil. *Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas* 1: 59-65.
- PINHEIRO, E.S., 2008. *Análises Ecológicas e sensoriamento remoto aplicados à estimativa de fitomassa de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP*. Tese de Doutorado. Universidade de São Carlos. 191p.
- RESENDE, J., 2001. *A ciclagem de nutrientes em áreas de cerrado e a influência de queimadas controladas*. Tese de doutorado. Departamento de Ecologia. Universidade de Brasília. 119p.
- REATTO, A., J.R. CORREIA, S.T. SPERA, AND E.S. MARTINS, 2008. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. Pp.109 - 149. In: SANO, S.M., S.P. ALMEIDA, AND J.F. RIBEIRO (eds.). *Cerrado: ecologia e flora*. Embrapa CPAC. Planaltina, DF.
- RIBEIRO, S.C., L. FEHRMANN, C.P.B. SOARES, L.A.G. JACOVINE, C. KLEINN, AND R.O. GASPAR, 2011. Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. *Forest Ecology and Management* 262: 491-499.
- RIBEIRO, J. F., AND B.M.T. WALTER. 2008. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In SANO, S.M., S.P. ALMEIDA, AND J.F. RIBEIRO (Ed.). *Cerrado: ecologia e flora*. Embrapa Cerrados, Brasília-DF, pp. 153-212.
- RODIN, P., 2004. *Distribuição da biomassa subterrânea e dinâmica de raízes finas em ecossistemas nativos e uma pastagem plantada no cerrado do Brasil Central*. Tese de doutorado. Departamento de Ecologia. Universidade de Brasília. 96p.
- SAN JOSE, J.J., R.A. MONTES, AND M.R. FARIÑAS, 1998. Carbon stocks and fluxes in a temporal scaling from a savanna to a semi-deciduous forest. *Forest Ecology and Management* 105: 251-262.
- SCHENK, H., AND R. JACKSON, 2002. The Global Biogeography of Roots. *Ecological Monographs* 72: 311-328.

Anexo 1: Variáveis químicas e físicas de 19 amostras de solo superficial (0-10 cm) coletadas em duas áreas de cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos na Bahia. Onde: COR=Correntina; SD=São Desidério; SB=Soma de Bases Trocáveis; t=Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; V=Índice de Saturação de Bases; m=Índice de Saturação de Alumínio; MO=Matéria Orgânica.

Parcelas	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+AL	SB	t	V	m	MO	S	Silte	Areia	Argila
	(H ₂ O)	(mg/dm ³)		(cmolc/dm ³)						(%)		(dag/kg)	(mg/dm ³)	(%)		
COR 01	4,87	1,80	9,00	0,05	0,05	0,39	4,70	0,12	0,51	2,50	76,50	1,04	9,00	2,22	90,84	6,94
COR 02	4,98	2,30	13,00	0,03	0,05	0,88	5,80	0,11	0,99	1,90	88,90	1,57	14,50	1,67	84,49	13,84
COR 03	4,97	2,20	10,00	0,19	0,06	0,59	4,00	0,28	0,87	6,50	67,80	1,57	10,30	1,49	88,26	10,25
COR 04	4,88	2,10	9,00	0,06	0,06	0,78	4,30	0,14	0,92	3,20	84,80	1,30	12,90	1,25	87,37	11,38
COR 05	4,80	2,40	14,00	0,05	0,06	0,88	5,80	0,15	1,03	2,50	85,40	1,70	14,00	1,35	88,38	10,27
COR 06	4,73	3,10	18,00	0,09	0,08	1,27	8,40	0,22	1,49	2,60	85,20	2,74	18,50	2,22	86,95	10,82
COR 07	5,00	2,20	10,00	0,08	0,05	0,59	4,30	0,16	0,75	3,60	78,70	1,17	9,80	1,67	89,93	8,41
COR 08	4,80	1,80	14,00	0,02	0,05	0,88	6,30	0,11	0,99	1,70	88,90	1,96	13,10	2,78	84,49	12,73
COR 09	5,00	1,70	9,00	0,06	0,05	0,68	4,30	0,13	0,81	2,90	84,00	0,26	12,40	0,56	88,70	10,75
COR 10	4,85	2,40	12,00	0,06	0,07	0,98	6,00	0,16	1,14	2,60	86,00	1,70	13,30	3,33	88,86	7,81
Média	4,89	2,20	11,80	0,07	0,06	0,79	5,39	0,16	0,95	3,00	82,62	1,50	12,78	1,85	87,83	10,32
DP (±)	0,10	0,41	2,97	0,05	0,01	0,25	1,36	0,05	0,26	1,35	6,53	0,64	2,78	0,80	2,08	2,14
CV (%)	1,96	18,43	25,20	68,47	17,81	31,01	25,17	33,99	27,13	44,97	7,90	42,93	21,35	43,40	2,37	20,73

Continua...

Continuação...

Parcelas	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+AL	SB	t	V	m	MO	S	Silte	Areia	Argila
	(H ₂ O)	(mg/dm ³)	(cmolc/dm ³)							(%)		(dag/kg)	(mg/dm ³)	(%)		
SD 01	4,70	1,80	9,00	0,13	0,11	0,39	4,70	0,26	0,65	5,20	60,00	1,43	6,40	2,22	79,34	18,43
SD 02	5,01	2,10	9,00	0,04	0,06	0,39	3,90	0,12	0,51	3,00	76,50	1,04	13,50	0,56	92,36	7,09
SD 03	4,75	1,10	7,00	0,01	0,05	0,88	5,00	0,08	0,96	1,60	91,70	1,96	9,60	2,54	80,06	17,40
SD 04	4,73	1,20	9,00	0,01	0,06	0,59	3,90	0,09	0,68	2,30	86,80	1,17	7,40	0,87	84,27	14,86
SD 05	4,64	1,30	7,00	0,06	0,06	0,78	4,30	0,14	0,92	3,20	84,80	1,57	6,90	2,22	80,93	16,84
SD 06	4,62	1,30	9,00	0,03	0,06	0,88	5,60	0,11	0,99	1,90	88,90	1,96	9,60	0,87	78,47	20,66
SD 07	4,93	2,80	13,00	0,06	0,11	0,78	5,20	0,20	0,98	3,70	79,60	1,96	15,90	1,43	81,73	16,84
SD 08	4,98	2,50	10,00	0,23	0,16	0,78	5,50	0,42	1,20	7,10	65,00	2,09	16,80	0,80	77,68	21,53
SD 09	4,90	4,50	20,00	0,17	0,21	1,17	7,10	0,43	1,60	5,70	73,10	3,00	19,70	1,67	72,12	26,21
Média	4,81	2,07	10,33	0,08	0,10	0,74	5,02	0,21	0,94	3,74	78,49	1,80	11,76	1,46	80,77	17,76
DP	0,15	1,09	4,03	0,08	0,06	0,25	1,00	0,14	0,32	1,88	10,90	0,59	4,86	0,73	5,47	5,23
CV	3,11	52,95	39,01	93,97	56,89	33,76	19,98	66,44	34,44	50,09	13,88	32,70	41,38	50,22	6,77	29,42

Capítulo III - Arquitetura de copas da vegetação nativa de Cerrado e Floresta de transição.

1.0 Introdução

A arquitetura de árvores adultas não é reflexo apenas das condições atuais sob as quais o indivíduo está crescendo, mas é resultado de todos os fatores genéticos e ambientais que a influenciaram desde a germinação até a maturidade (Archibald & Bond 2003). A forma de crescimento das árvores é de grande importância ecológica (Archibald & Bond 2003), pois reflete fatores relacionados à competição e colonização, além disso, a estrutura da vegetação é definida primariamente pela arquitetura das copas das árvores, característica que determina importantes propriedades do ecossistema (Westoby & Wright 2006, Lau 2009).

Dados sobre altura e forma da copa são úteis para determinar a rugosidade do dossel. Por sua vez, este tipo de informação é importante para aplicação de modelos meteorológicos de meso-escala (Chen & Coughenour 1994, Dirmeyer & Shukla 1994, Betts *et al.* 1997, Asner *et al.* 2002), estimativas de produtividade primária líquida (Field *et al.* 1995, Bondeau *et al.* 1999) e para aprimorar as estimativas de estoque de carbono tanto em escala regional quanto de paisagem (Asner *et al.* 2002). Além disso, dados sobre arquitetura e alometria da copa medidos em campo são fundamentais para calibrar as interpretações das propriedades biométricas elaboradas com novos algoritmos de delineamento de copas que usam sensores remotos de alta resolução (Palace *et al.* 2008).

A maioria dos estudos sobre alometria e arquitetura de copas foi realizada em floresta tropical úmida (King 1996, Alves & Santos 2002, Asner *et al.* 2002, Poorter *et al.* 2006, Broadbent *et al.* 2008, Palace *et al.* 2008). No Cerrado, recente estudo sobre arquitetura das árvores utilizou pares congêneros (Lau 2009) e encontrou que as espécies de floresta alocam mais carbono para as estruturas de interceptação da luz. Nos ambientes savânicos, o fogo é importante para a manutenção do ambiente aberto, portanto a exclusão deste fator abiótico pode alterar a produtividade do sistema por permitir a colonização de espécies florestais, as quais são tolerantes ao sombreamento e também por reduzir a quantidade de luz que alcança o solo.

Árvores que sobrevivem em ambientes abertos tendem a exibir diferentes características de arquitetura da copa e história de vida. Diferente dos ambientes florestais, nas savanas a luz não é a principal força seletiva, outros fatores são igualmente importantes e influenciam o crescimento vertical e horizontal das árvores (Archibald & Bond 2003).

Para o Cerrado dentre estes fatores podemos citar o fogo e a fertilidade, textura e disponibilidade de água nos solos. Com o intuito de analisar e discutir a variação nas copas de árvores do Cerrado em escala regional, este estudo amostrou a vegetação lenhosa em ambientes savânicos (cerrado sentido restrito) e floresta de transição no ecótono Cerrado-Floresta Amazônica.

2.0 Materiais e Métodos

Os dados de copa da vegetação lenhosa foram coletados em três condições distintas: cerrado sentido restrito localizado na área *core* do Cerrado, cerrado sentido restrito localizado em áreas de transição com a Floresta Amazônica, assim como floresta de transição localizada no ecótono Cerrado-Floresta Amazônica (Figura 1).

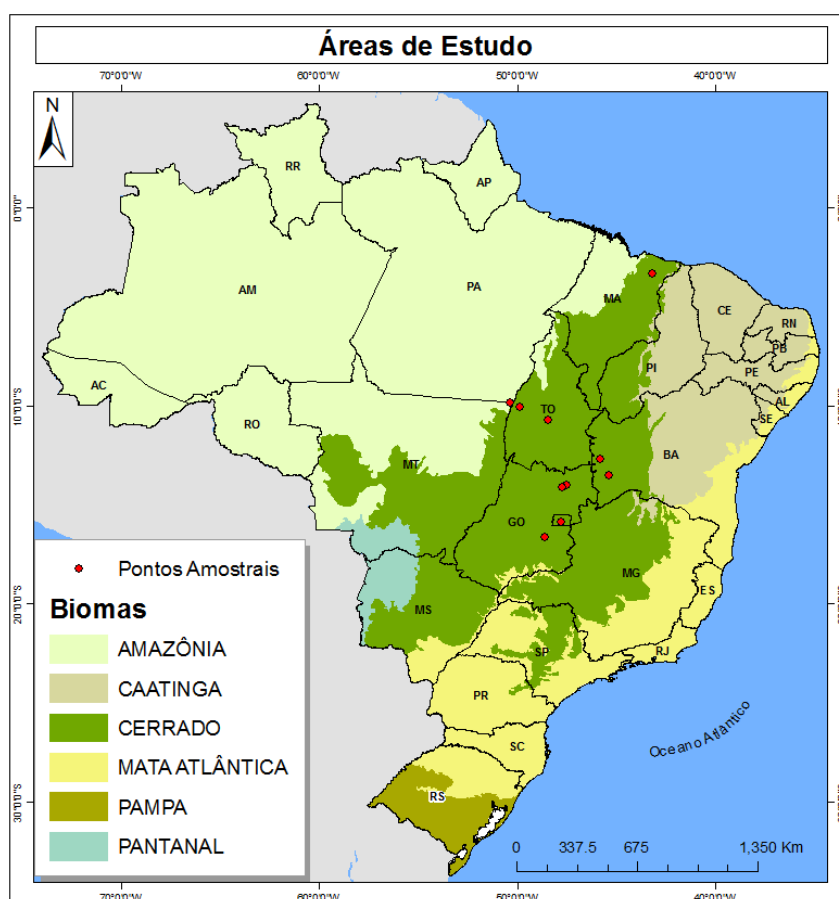


Figura 1: Distribuição geográfica das localidades amostradas em três tipos de ambientes (cerrado *core*, cerrado transição e floresta de transição) ao longo do bioma Cerrado.

Os cerrados amostrados em Correntina e São Desidério (Tabela 1) não se localizam em unidades de conservação e estão sob intensa mudança de uso da terra (MMA/IBAMA/PNUD 2009). As parcelas amostradas estão localizadas principalmente em áreas de reserva legal averbadas e observou-se presença de gado, gramíneas exóticas e fogo frequente.

Tabela 1: Características gerais das localidades amostradas na área *core* do Cerrado e em áreas de transição Cerrado/Floresta Amazônica. Onde: PMA=precipitação média acumulada; JBB=Jardim Botânico de Brasília; PARNA=Parque Nacional.

Coordenadas	Posição Geográfica	Localidades	Estado	Tipo de Solo/Textura	PMA (mm)
13° 31' 53,11" S 45° 24' 3,86" W	Área <i>core</i> do Cerrado	Correntina	BA	Neossolo Quartzarênico	1.030*
12° 42' 19,86" S 45° 48' 54,97" W		São Desidério	BA	Neossolo Quartzarênico	1.182*
15° 53' 8,88" S 47° 49' 33,6" W		JBB	DF	Latossolo Vermelho Escuro	1.318*
14° 02' 59,28" S 47° 30' 44,64" W		Alto Paraíso de Goiás	GO	Neossolo Litólico	1.301*
14° 08' 21,12" S 47° 46' 2,64" W		PARNA da Chapada dos Veadeiros	GO	Latossolo Vermelho Amarelo	1.278*
16° 38' 6,36" S 48° 38' 58,92" W		Silvânia	GO	Latossolo Vermelho Escuro	1.478*
3° 20' 25,94" S 43° 11' 5,71" W		Transição Cerrado/Floresta Amazônica	Urbano Santos**	MA	Arenoso
10° 45' 18,2" S 48° 27' 05,4" W	Porto Nacional**		TO	Argiloso	1.600
10° 3' 49,32" S e 49° 54' 28,8" W	Pium**		TO	Argiloso Concrecionário	1.900
9° 52' 13,44" S 50° 23' 4,92" W	Santana do** Araguaia		PA	Média	2.000

* Dados médios para o período de 2000-2010 coletados na base TRMM (“*Tropical Rainfall Measurement Mission*”) (<http://trmm.gsfc.nasa.gov/>)

**Dados cedidos pelos pesquisadores Joice Ferreira e José Roberto Rodrigues Pinto.

Os cerrados amostrados no Jardim Botânico de Brasília (JBB) Interflúvio e Vale (Tabela 1) estão localizados na Estação Ecológica, unidade de conservação onde a visitação pública é proibida e não há proteção contra o fogo. As amostragens nestas áreas foram realizadas em 2009 e o registro anterior de fogo ocorreu em 2005. O cerrado localizado no Centro de Visitação é adjacente às áreas anteriormente descritas, porém encontra-se protegido do fogo a mais de 20 anos.

As parcelas amostradas em Alto Paraíso de Goiás (Tabela 1) não se encontram em unidades de conservação e apresentaram níveis variados de alteração antrópica. Das 10 parcelas amostradas, duas estão às margens do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e a vegetação apresenta-se conservada. As demais parcelas localizam-se no entorno do município e observou-se presença de gado, gramíneas exóticas e fogo.

As parcelas localizadas no Parque Nacional (PARNA) da Chapada dos Veadeiros (Tabela 1) estão em uma unidade de conservação sem proteção contra o fogo e a frequência de queimadas é anual (Fiedler *et al.* 2006). Em Silvânia (Tabela 1), das nove parcelas amostradas quatro estão na Floresta Nacional de Silvânia (FLONA), unidade de conservação que permite o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e pesquisa científica. Nestas parcelas observou-se a presença de gramíneas exóticas, espécies exóticas com potencial invasor no Cerrado (*Pinus* sp.) e corte seletivo de espécies nativas. Nas demais parcelas localizadas no entorno do município observou-se presença de gado, gramíneas exóticas e vários plantios comerciais de Eucalipto.

Em cada uma das áreas descritas acima foram demarcadas parcelas de 20 x 50 m (1.000 m²). No interior de cada parcela selecionou-se aleatoriamente indivíduos lenhosos em diferentes classes diamétricas tomando por referência o diâmetro mínimo de inclusão medido a 30 cm do solo ($Db_{30\text{ cm}} \geq 5\text{ cm}$).

A vegetação lenhosa de cerrado sentido restrito em áreas de transição foi amostrada no Maranhão (Urbano Santos), Pará (Santana do Araguaia) e Tocantins (Pium e Porto Nacional) (Tabela 1). Estas áreas são propriedades particulares, não estão protegidas de distúrbios diversos e sofrem alta pressão antrópica. Em cada localidade foram instaladas transecções lineares que foram divididas em parcelas de 10 x 10 m. É importante ressaltar que nos municípios de Pium e Santana do Araguaia as transecções foram instaladas se estendendo da interface de cerrado à interface florestal, pois a transição é abrupta. Todos os indivíduos lenhosos com $Db_{30\text{ cm}} \geq 5\text{ cm}$, nas áreas de cerrado, e com diâmetro à altura do peito a 1,30 m do solo ($DAP \geq 5\text{ cm}$) nas áreas de floresta foram amostrados.

Os indivíduos amostrados tiveram seus diâmetros mensurados com suta de alumínio e alturas (total e da copa) mensuradas com vara graduada em metros. A altura total foi considerada da base do tronco até o ramo mais alto ou folhagem, a altura da copa foi considerada da base da copa até o ramo mais alto ou folhagem. O comprimento e largura da copa foram medidos com trena de 10 metros. A partir dos dados de copa mensurados, calculou-se a área e o volume das copas considerando que as mesmas possuem formatos elípticos. É importante ressaltar que em Urbano Santos, por problemas de logística em campo, as alturas das copas não foram amostradas e, portanto não foi possível calcular os volumes das copas.

A partir dos valores de comprimento, largura e altura da copa calculou-se a área e o volume utilizando as equações da elipse:

$$A = \pi * a * b$$

$$V=4/3*\pi*a*b*c$$

Onde:

A= área da copa (m²);

a e b = metade dos valores referentes ao comprimento e largura da copa (m);

V= volume da copa (m³);

c= metade do valor medido para altura da copa (m).

A biomassa da vegetação lenhosa no cerrado sentido restrito foi calculada através da equação proposta por Rezende *et al.* (2006), $B=0,49129+0,02912*Db^2*Ht$, onde: B=biomassa (kg.ind⁻¹), Db=diâmetro da base (cm) e Ht=altura (m). Para as áreas de floresta optou-se pela equação de Chave *et al.* (2005), $B=0,112*(\rho*DAP^2*H)^{0,916}$, onde: B=biomassa (kg.ind⁻¹), ρ =densidade da madeira (g.cm⁻³), DAP=diâmetro à altura do peito e H=altura. Como se tratam de áreas de transição entre cerrado sentido restrito e Floresta Amazônica foi feito levantamento na literatura de trabalhos que calcularam a densidade da madeira para estes tipos vegetacionais. Assim, optou-se pelo valor médio de 0,59 g.cm⁻³ calculado para a porção sul da Floresta Amazônica na região do “arco do desmatamento” (Nogueira *et al.* 2007).

Aplicou-se análise de variância (Zar 1999) seguida do teste de comparação múltipla Tukey-Kramer (HSD) para avaliar diferenças nos dados biométricos coletados nos três tipos de vegetação (cerrado *core*, cerrado transição e floresta de transição). As análises estatísticas foram feitas com o programa JMP 9.0.2 (SAS Institute Inc.) e foi utilizado nível de significância de 5%. A partir dos dados biométricos da vegetação realizou-se análise de componentes principais (PCA) com o intuito de sumarizar os parâmetros mais relacionados às áreas de estudo. Para tanto utilizou-se o programa PC-ORD 5.12 (McCune & Mefford 2006).

3.0 Resultados

No total foram analisadas as copas de 3.354 indivíduos lenhosos amostrados em cerrado sentido restrito localizado na área *core* do bioma (Tabela 2). O diâmetro médio dos indivíduos variou de 8,11 cm em Correntina a 16,90 cm no JBB-Vale (Tabela 2). A menor altura total média (2,41 m) foi encontrada no PARNA da Chapada dos Veadeiros e o maior valor (5,11 m) no JBB-Vale (Tabela 2). No JBB-Centro de Visitação amostrou-se os indivíduos lenhosos com os menores valores médios de altura da copa (1,38 m) e o maior valor médio foi encontrado no JBB-Vale (2,56 m) (Tabela 2).

Tabela 2: Parâmetros biométricos da vegetação lenhosa amostrada em três tipos de vegetação: cerrado *core*, cerrado transição e floresta de transição. Média e (desvio padrão). Onde: PARNA=Parque Nacional; JBB=Jardim Botânico; CV=Centro de Visitação.

Áreas	Vegetação	Indivíduos Amostrados	Área Amostral (ha)	Diâmetro (cm)	Altura (m)	Área Basal (m ²)	Altura da Copa (m)	Área da Copa (m ²)	Volume da Copa (m ³)	Biomassa (kg/ind)
Alto Paraíso		650	1	9,06 (4,30)	2,92 (1,37)	0,0079 (0,0103)	1,51 (0,83)	4,06 (5,35)	6,01 (14,74)	12,31 (31,35)
PARNA da Chapada dos Veadeiros		325	1	8,67 (4,07)	2,41 (1,29)	0,0072 (0,0087)	1,45 (0,84)	4,16 (5,35)	6,11 (11,94)	9,65 (17,63)
Silvânia		807	0,9	9,15 (4,38)	3,23 (1,20)	0,0081 (0,0098)	1,81 (0,84)	4,65 (6,21)	7,48 (14,89)	12,87 (21,95)
JBB-CV	Cerrado sentido restrito na área <i>core</i>	378	1	8,31 (3,90)	2,93 (1,05)	0,0066 (0,010)	1,38 (0,73)	3,84 (8,40)	5,61 (24,80)	9,95 (30,67)
JBB-Interflúvio		177	1	12,54 (7,13)	3,53 (1,95)	0,0163 (0,0174)	2,01 (1,24)	7,88 (10,57)	17,26 (32,54)	31,61 (44,00)
JBB-Vale		94	1	16,90 (7,64)	5,11 (1,77)	0,0270 (0,0221)	2,56 (1,14)	12,70 (13,20)	27,64 (39,41)	60,47 (59,50)
Correntina		378	1	8,11 (4,01)	3,53 (1,09)	0,0064 (0,010)	1,75 (0,77)	3,11 (4,40)	4,69 (10,69)	11,43 (27,70)
São Desidério		545	0,9	10,06 (6,07)	4,01 (1,45)	0,0108 (0,0190)	2,06 (1,02)	5,37 (7,53)	10,75 (26,35)	23,99 (68,81)
Pium		1.265	1,32	8,70 (4,89)	3,44 (1,48)	0,0078 (0,0143)	1,84 (0,94)	4,32 (6,25)	7,81 (19,88)	14,76 (37,23)
Porto Nacional	Cerrado sentido restrito em área de transição	332	0,66	11,42 (6,77)	3,52 (1,96)	0,0138 (0,0193)	2,01 (1,30)	5,79 (9,33)	12,76 (27,03)	28,14 (52,32)
Santana do Araguaia		147	0,66	8,55 (5,61)	3,90 (1,58)	0,0082 (0,0171)	1,99 (1,13)	6,10 (8,36)	11,68 (26,97)	17,61 (48,69)
Urbano Santos		696	0,88	11,84 (7,56)	5,14 (2,50)	0,0138 (0,0269)	-	9,80 (17,02)	-	47,27 (147,32)

Continua...

Continuação

Áreas	Vegetação	Indivíduos Amostrados	Área Amostral (ha)	Diâmetro (cm)	Altura (m)	Área Basal (m ²)	Altura da Copa (m)	Área da Copa (m ²)	Volume da Copa (m ³)	Biomassa (kg/ind)
Pium	Floresta de transição	429	0,37	11,43 (7,56)	8,68 (3,21)	0,0147 (0,0255)	3,93 (1,97)	16,80 (16,95)	56,08 (93,14)	74,98 (151,29)
Santana do Araguaia		363	0,42	11,25 (7,64)	10,99 (3,86)	0,0123 (0,0219)	2,86 (1,27)	14,32 (15,13)	32,53 (76,47)	94,75 (419,13)

Com relação à área e volume das copas, Correntina apresentou indivíduos lenhosos com os menores valores médios ($3,11 \text{ m}^2$ e $4,69 \text{ m}^3$, respectivamente) e JBB-Vale os maiores valores médios para estes parâmetros ($12,70 \text{ m}^2$ e $27,64 \text{ m}^3$, respectivamente). A menor biomassa média por indivíduo foi amostrada no PARNA da Chapada dos Veadeiros ($9,65 \text{ kg/ind.}$), já no JBB-Vale foram encontrados os indivíduos com maior biomassa média ($60,47 \text{ kg/ind.}$) (Tabela 2).

Para análise dos dados de copas coletados em cerrado sentido restrito localizado em áreas de transição foram amostrados 2.440 indivíduos lenhosos (Tabela 2). O diâmetro médio dos indivíduos variou de $8,55 \text{ cm}$ em Santana do Araguaia a $11,84 \text{ cm}$ em Urbano Santos (Tabela 2). A menor altura total média foi encontrada em Pium ($3,44 \text{ m}$) e o maior valor em Urbano Santos ($5,14 \text{ m}$) (Tabela 2). Pium apresentou os indivíduos lenhosos com o menor valor médio de altura da copa ($1,84 \text{ m}$) e Porto Nacional o maior valor médio ($2,01 \text{ m}$) (Tabela 2). Os menores valores médios de área e volume das copas foram encontrados em Pium ($4,32 \text{ m}^2$ e $7,81 \text{ m}^3$, respectivamente), já os maiores valores para estes parâmetros foram amostrados em Urbano Santos ($9,80 \text{ m}^2$) e Porto Nacional ($12,76 \text{ m}^3$), respectivamente (Tabela 2). A biomassa média por indivíduo lenhoso variou de $14,76 \text{ kg/ind.}$ em Pium a $47,27 \text{ kg/ind.}$ em Urbano Santos (Tabela 2).

Nas florestas de transição localizadas em Pium e Santana do Araguaia foram amostrados 792 indivíduos lenhosos (Tabela 2). Os valores obtidos para todos os parâmetros analisados foram apresentados na Tabela 2.

A vegetação lenhosa estudada nos três tipos de vegetação foi estatisticamente diferente com relação ao diâmetro, altura total e biomassa por indivíduo (Figura 2). As áreas de floresta de transição se destacaram principalmente pela presença de indivíduos mais altos (altura total média $9,74 \text{ m}$) e com significativo acúmulo de biomassa aérea ($84,04 \text{ kg/ind.}$) (Figura 2). Os três tipos de vegetação estudados também podem ser estatisticamente diferenciados pela altura da copa e área da copa (Figura 2). Nas áreas de floresta de transição os indivíduos lenhosos apresentaram copas mais altas (altura da copa média $3,44 \text{ m}$) e com grande investimento em área ($15,66 \text{ m}^2$) (Figura 2).

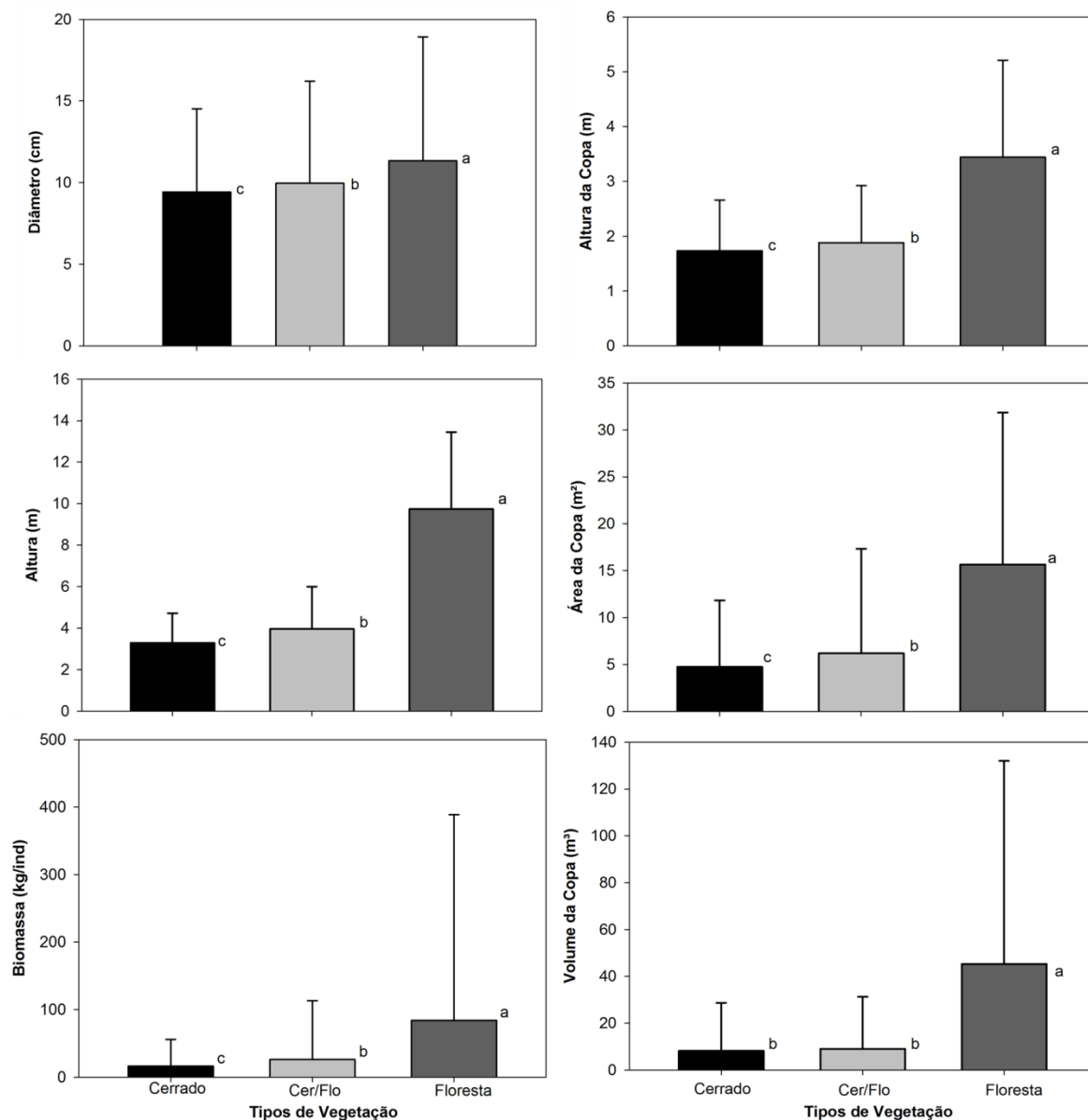


Figura 2: Análise comparativa dos parâmetros biométricos amostrados em três tipos de vegetação, a saber: cerrado *core* (Cerrado), cerrado transição (Cer/Flo) e floresta de transição (Floresta). Média e desvio padrão. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,01$).

A análise de PCA mostrou que os dois primeiros eixos explicaram 93,8% da variação dos dados. Com base no teste de aleatorização dos autovalores apenas o primeiro eixo de ordenação foi significativo (HSD; $p = 0,001$). A PCA mostrou que as áreas de floresta estão associadas aos maiores valores de altura total (Figura 3). Outro resultado interessante foi que em relação aos parâmetros estruturais analisados, de modo geral, as áreas de cerrado sentido restrito (*core* e transição) ficaram sobrepostas (Figura 3), ou seja, apresentaram baixa diferenciação. É importante destacar que pequeno grupo composto por parcelas amostras na Estação Ecológica do JBB (JBB-Vale e JBB-Interflúvio) se separou

das demais áreas de cerrado devido aos maiores valores de diâmetro e largura da copa (Figura 3).

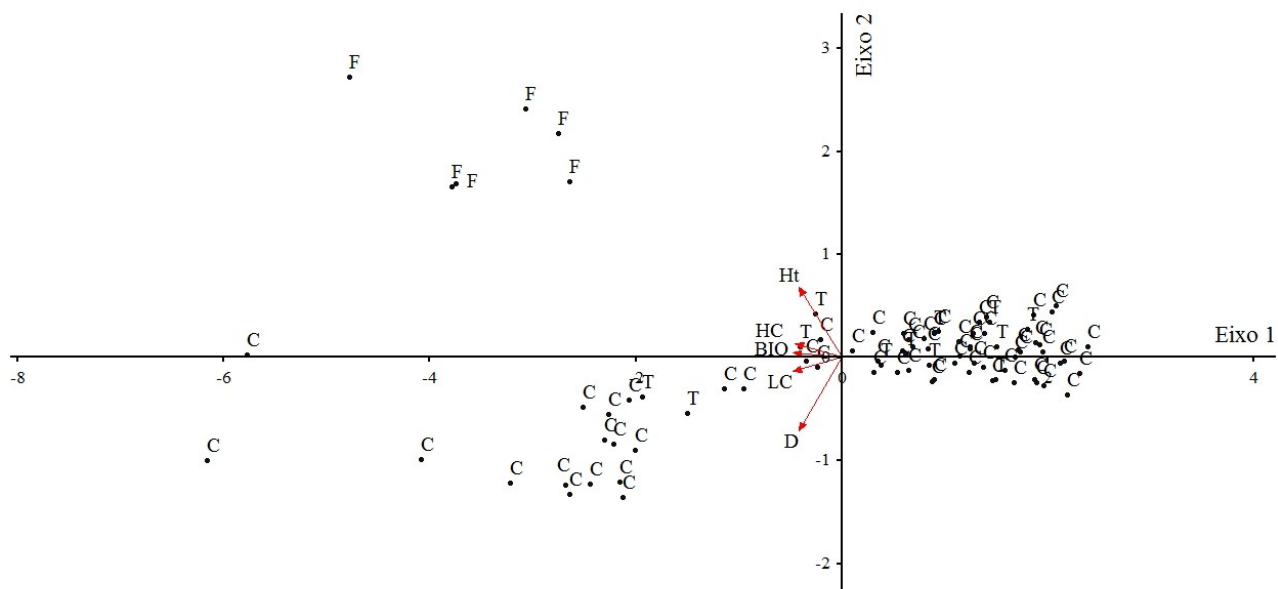


Figura 3: Análise de componentes principais das variáveis bióticas coletadas em 86 parcelas amostradas em três tipos de vegetação: cerrado *core*, cerrado transição e floresta de transição. Onde: BIO=biomassa; D=diâmetro; Ht=altura total; HC=altura da copa; LC=largura da copa; C=cerrado *core*; T=cerrado transição e F=floresta.

De modo geral, com base na significância estatística e valores de R^2 , as análises de regressão mostraram que as relações lineares foram mais representativas para os parâmetros biométricos amostrados nos três tipos de vegetação estudados (Tabela 3). A área da copa foi mais relacionada com o diâmetro do que com a altura (Figuras 4 e 5). Para os três ambientes estudados, a variação no diâmetro explicou mais de 60% da variação na área da copa (Figura 4). Nos ambientes savânicos, a variação na altura explicou 43% da variação na área da copa e em floresta de transição este percentual foi de 27% (Figura 5). Com relação ao volume da copa, nos ambientes savânicos, a variação no diâmetro e na altura explicou 56% e 41% da variação no volume da copa, respectivamente (Figuras 6 e 7). Para a floresta de transição, a variação no diâmetro explicou 51% e na altura 22% da variação no volume da copa (Figuras 6 e 7).

Nos ambientes savânicos as relações entre área/volume das copas e biomassa foram mais fortes do que na floresta de transição (Figuras 8 e 9). Para os cerrados, a variação na área da copa explicou em média 63% da variação na biomassa aérea lenhosa e o volume da copa explicou em média 68% da variação (Figuras 8 e 9).

Tabela 3: Relações alométricas entre os parâmetros biométricos amostrados em três tipos de vegetação. Onde: 1-Cerrado *core*; 2-Cerrado transição; 3-Floresta de transição; D=dependente; I=independente; NS=não significativo. Valores de R² entre parênteses.

Variáveis (D x I)	Tipos de Vegetação	Regressão	
		Linear	Polinomial Quadrática
Área da Copa (m ²) x Diâmetro (cm)	1	= - 5,86+1,12*X (0,66) <i>p</i> < 0,0001	= - 1,88 + 0,43*X+0,02*X ² (0,69) <i>p</i> < 0,0001
	2	= - 7,71+1,40*X (0,61) <i>p</i> < 0,0001	= - 1,81+0,48*X+0,02*X ² (0,66) <i>p</i> < 0,0001
	3	= - 3,22+1,66*X (0,61) <i>p</i> < 0,0001	= - 3,81+1,74*X - 0,002*X ² (0,61) NS
Área da Copa (m ²) x Altura (m)	1	= - 5,90+3,24*X (0,43) <i>p</i> < 0,0001	=2,12 - 1,36*X+0,55*X ² (0,51) <i>p</i> < 0,0001
	2	= - 7,98+3,57*X (0,43) <i>p</i> < 0,0001	= 1,89 - 0,93*X+0,40*X ² (0,51) <i>p</i> < 0,002
	3	= - 6,48+2,27*X (0,27) <i>p</i> < 0,0001	= 11,58 - 1,32*X+0,16*X ² (0,32) <i>p</i> < 0,008
Volume da Copa (m ³) x Diâmetro (cm)	1	= - 19,81+2,97*X (0,55) <i>p</i> < 0,0001	= 2,11 - 0,85*X+0,12*X ² (0,65) <i>p</i> < 0,01
	2	= - 18,73+3,02*X (0,56) <i>p</i> < 0,0001	= - 15,06+2,40*X+0,02*X ² (0,56) <i>p</i> < 0,0002
	3	= -47,16+8,15*X (0,51) <i>p</i> < 0,0001	= - 41,71+7,45*X+0,01*X ² (0,51) NS
Volume da Copa (m ³) x Altura (m)	1	= - 21,53+9,02*X (0,40) <i>p</i> < 0,0001	= 14,27 - 11,48*X+2,46*X ² (0,60) <i>p</i> < 0,0001
	2	= - 22,39+8,99*X (0,42) <i>p</i> < 0,0001	= 10,15 - 8,65*X+1,97*X ² (0,55) <i>p</i> < 0,0001
	3	= - 61,06+10,92*X (0,22) <i>p</i> < 0,0001	= 48,39 - 10,86*X+0,95*X ² (0,28) <i>p</i> < 0,002
Biomassa (kg/ind) x Área da Copa (m ²)	1	= - 4,56+4,36*X (0,60) <i>p</i> < 0,0001	= - 4,33+4,29*X+0,002*X ² (0,60) NS
	2	= - 13,44+6,38*X (0,66) <i>p</i> < 0,0001	= - 4,70+4,44*X+0,02*X ² (0,69) <i>p</i> < 0,0003
	3	= - 86,46+10,89*X (0,33) <i>p</i> < 0,0001	= - 33,14+6,10*X+0,04*X ² (0,36) <i>p</i> < 0,03
Biomassa (kg/ind) x Volume da Copa (m ³)	1	= 2,84+1,63*X (0,70) <i>p</i> < 0,0001	= 1,98+1,79*X - 0,0009*X ² (0,70) <i>p</i> < 0,0001
	2	= 3,69+1,53*X (0,65) <i>p</i> < 0,0001	= 1,43+1,95*X - 0,003*X ² (0,67) <i>p</i> < 0,04
	3	= - 4,53 + 1,96*X (0,31) NS	= 2,46+1,74*X+0,0003*X ² (0,31) NS

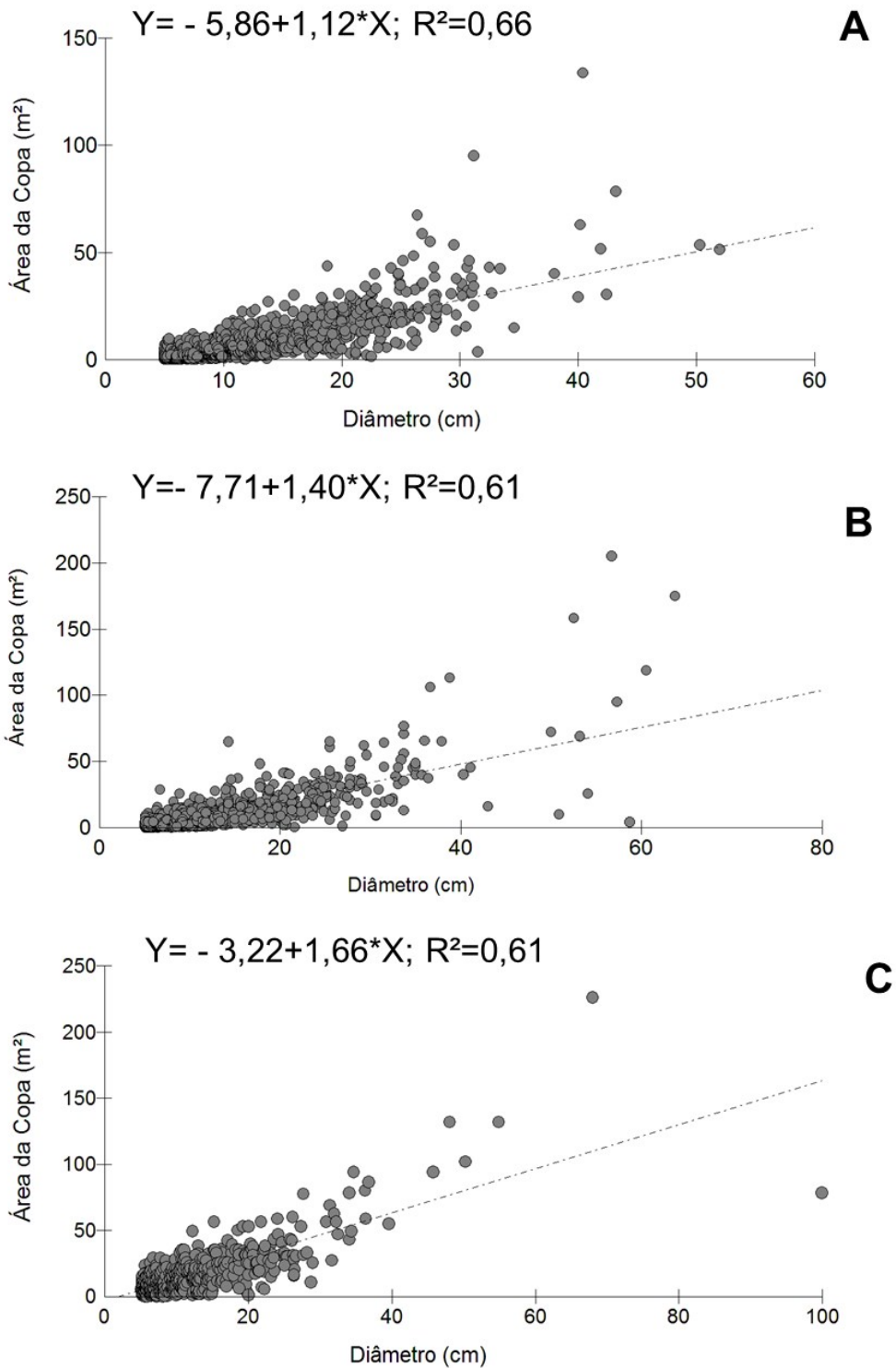


Figura 4: Relação entre diâmetro e área da copa da vegetação lenhosa de Cerrado coletada em três ambientes: cerrado *core* (A), cerrado transição (B) e floresta de transição (C). Valores estatisticamente significativos ($p < 0,0001$).

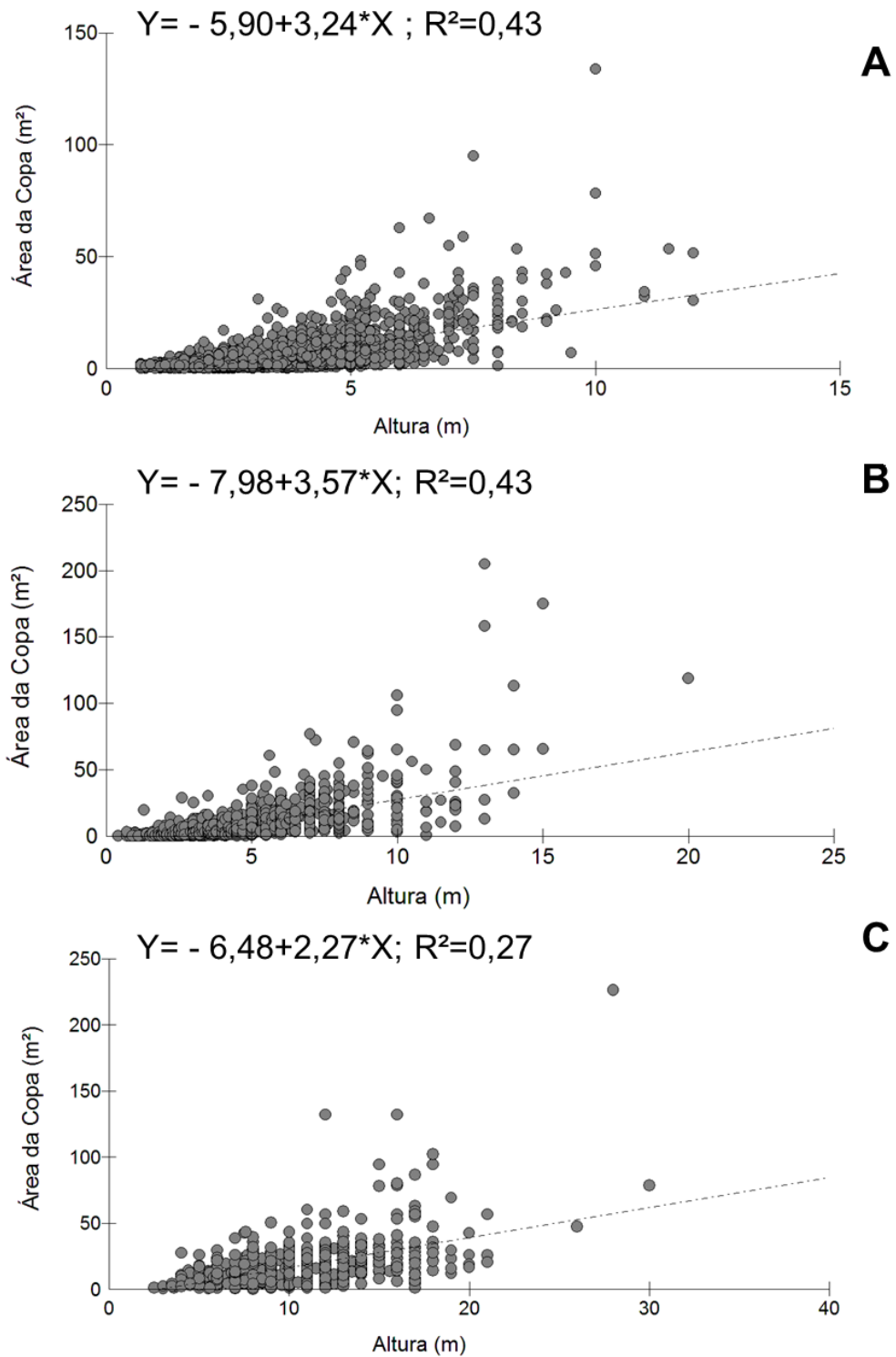


Figura 5: Relação entre altura e área da copa da vegetação lenhosa de Cerrado coletada em três ambientes: cerrado *core* (A), cerrado transição (B) e floresta de transição (C). Valores estatisticamente significativos ($p < 0,0001$).

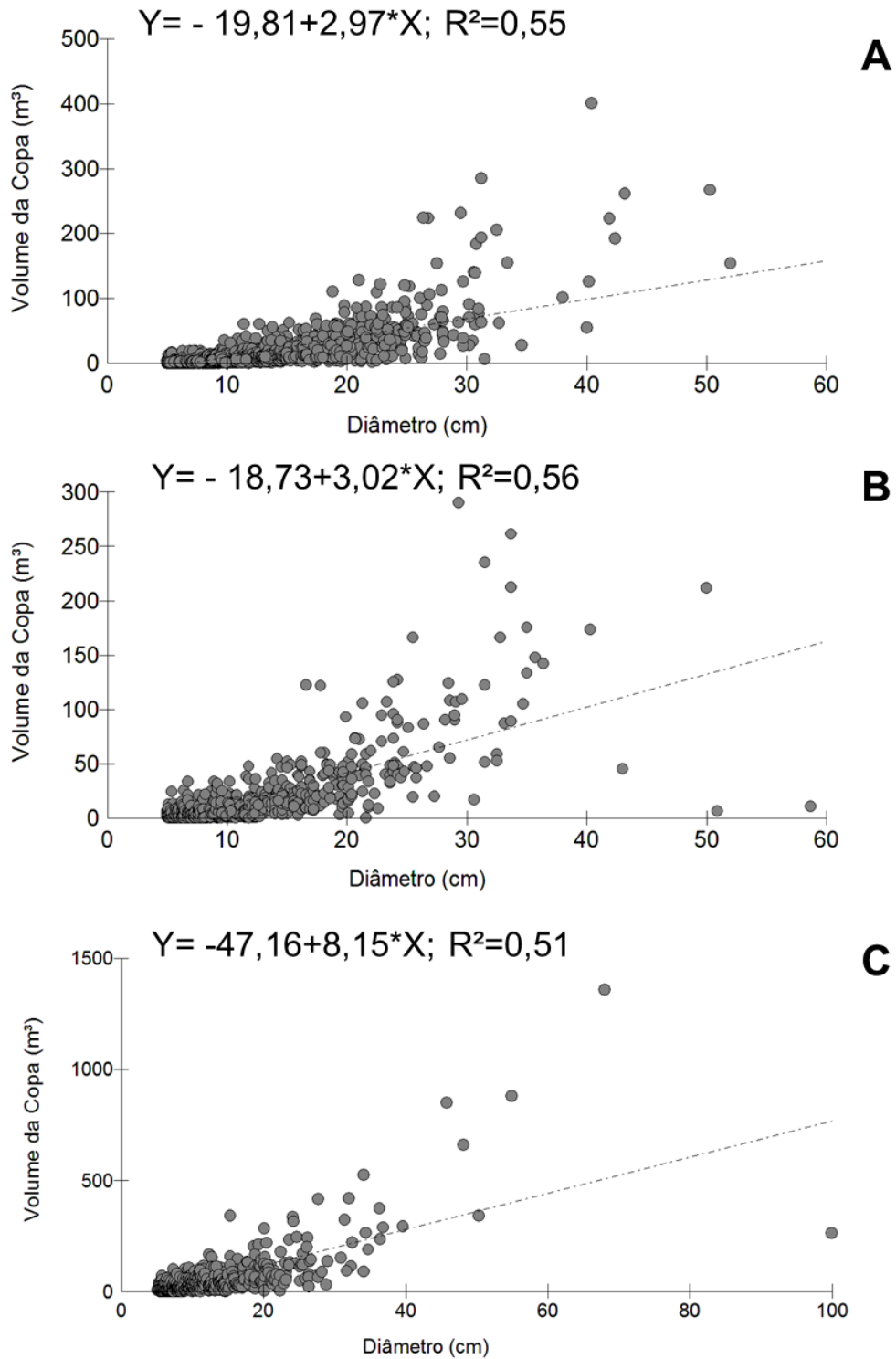


Figura 6: Relação entre diâmetro e volume da copa da vegetação lenhosa de Cerrado coletada em três ambientes: cerrado *core* (A), cerrado transição (B) e floresta de transição (C). Valores estatisticamente significativos ($p < 0,0001$).

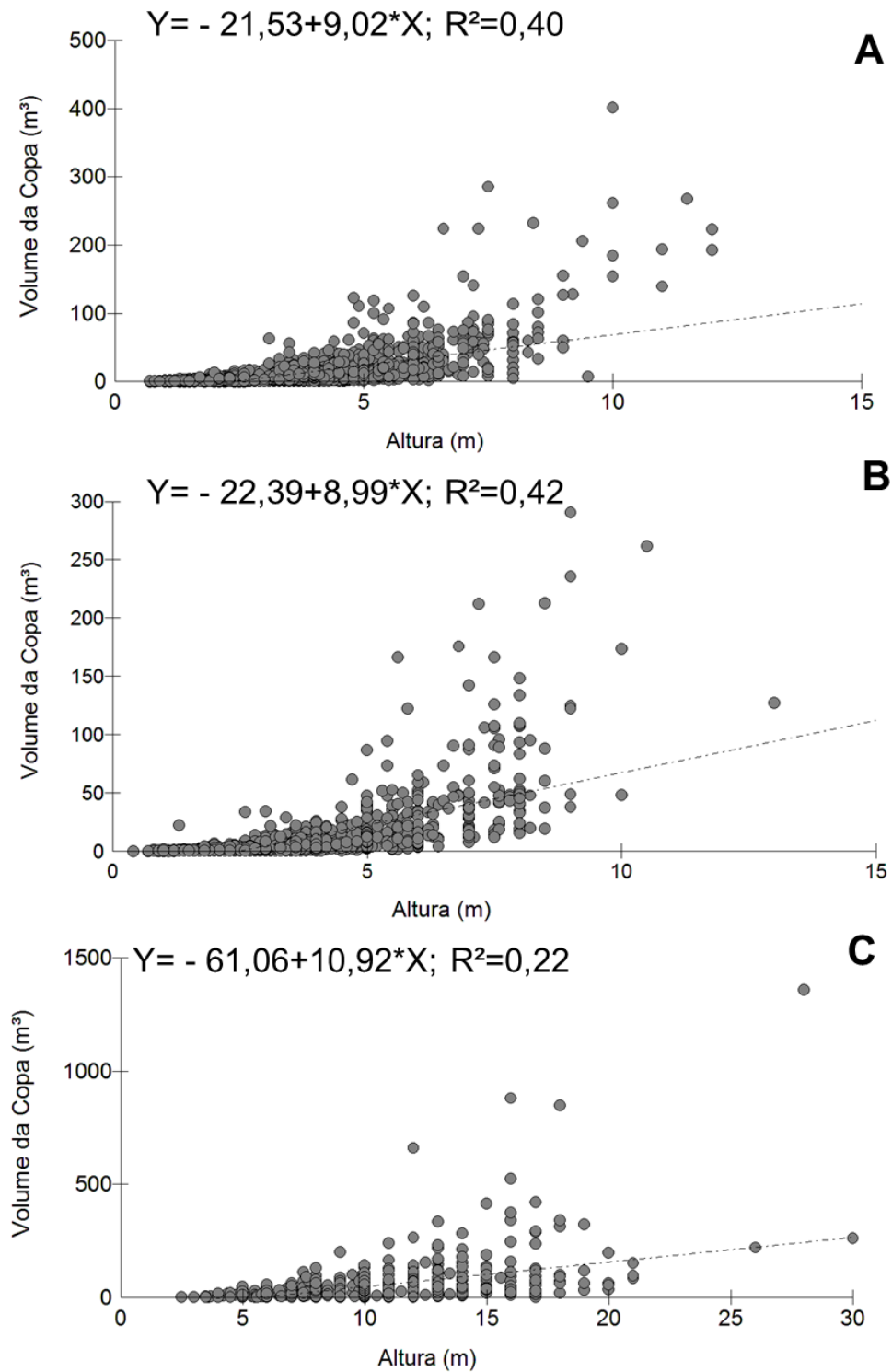


Figura 7: Relação entre altura e volume da copa da vegetação lenhosa de Cerrado coletada em três ambientes: cerrado *core* (A), cerrado transição (B) e floresta de transição (C). Valores estatisticamente significativos ($p < 0,0001$).

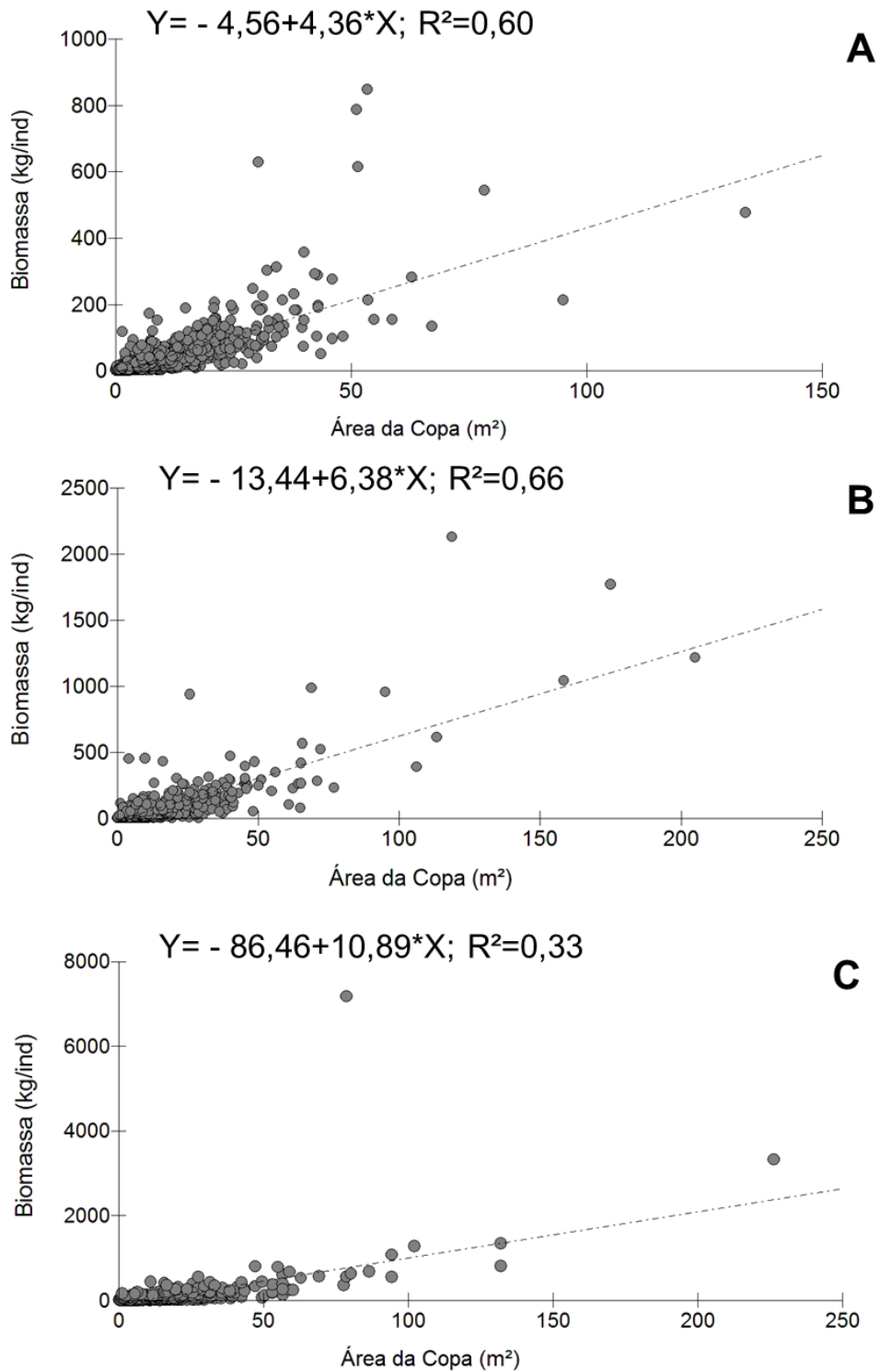


Figura 8: Relação entre área da copa e biomassa da vegetação lenhosa de Cerrado coletada em três ambientes: cerrado *core* (A), cerrado transição (B) e floresta de transição (C). Valores estatisticamente significativos ($p < 0,0001$).

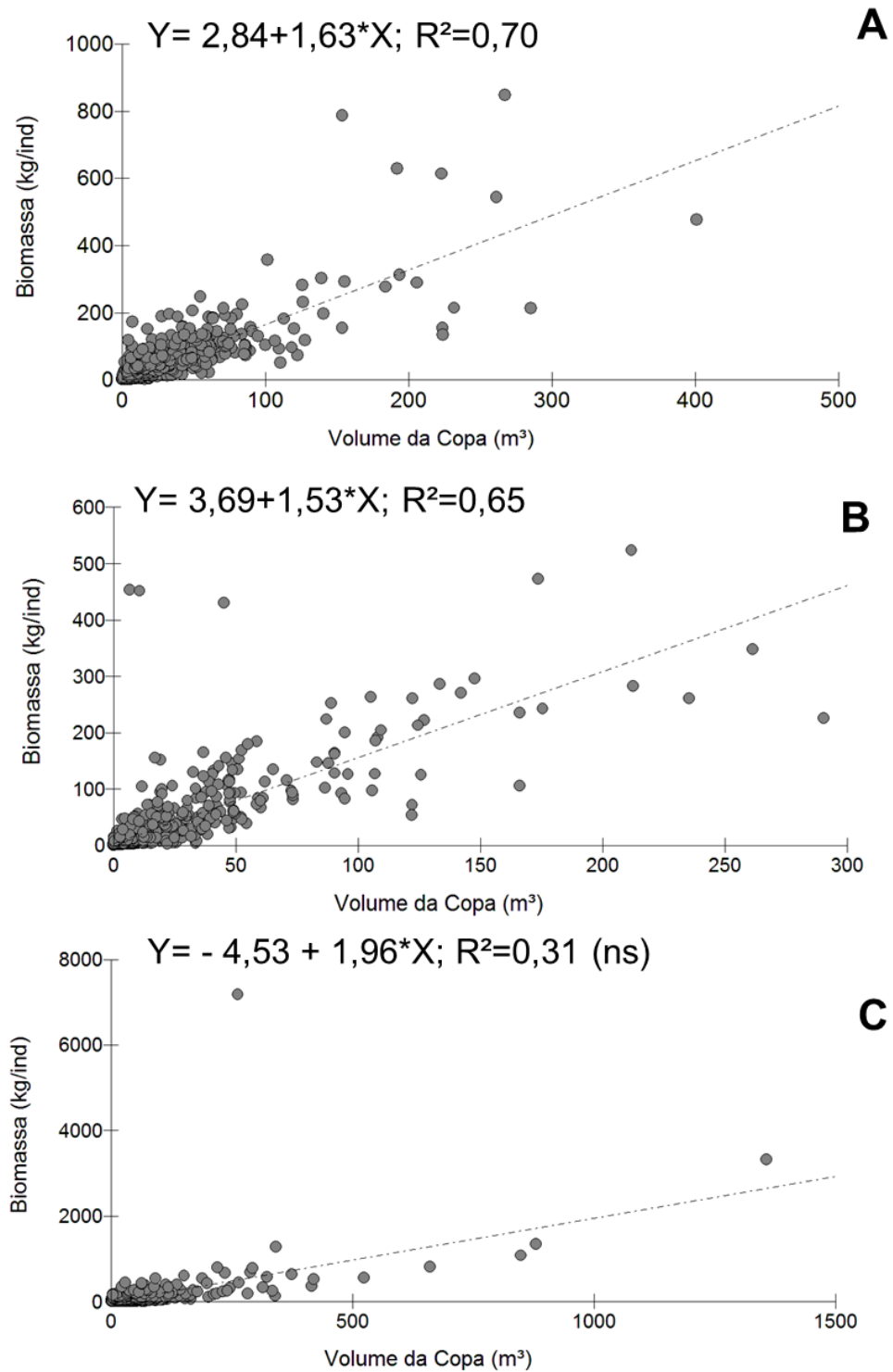


Figura 9: Relação entre volume da copa e biomassa da vegetação lenhosa de Cerrado coletada em três ambientes: cerrado *core* (A), cerrado transição (B) e floresta de transição (C). Para A e B valores estatisticamente significativos ($p < 0,0001$) e para C não significativo ($\alpha=0,05$).

4.0 Discussão

A vegetação lenhosa de cerrado amostrada na área *core* do Bioma apresentou ampla variação nos valores médios dos parâmetros biométricos analisados. Esta variação é reflexo da variabilidade estrutural natural do cerrado sentido restrito. Para descrever esta variação, Ribeiro & Walter (2008) dividiram o cerrado sentido restrito em quatro subtipos: cerrado ralo, típico, denso e cerrado rupestre. Os três primeiros subtipos refletem variações na forma de agrupamentos e espaçamento dos indivíduos lenhosos, já o cerrado rupestre é facilmente identificado pelo substrato, solos rasos, arenosos e com a presença de afloramentos rochosos (Ribeiro & Walter 2008).

Para o cerrado sentido restrito fatores abióticos locais como condições edáficas (textura e fertilidade do solo), inclinação do terreno (Eiten 1972), frequência de queimadas (Coutinho 1990, Mistry 1998, Moreira 2000) e ações antrópicas (Rawitscher 1948, Eiten 1972) são destacados como importantes determinantes estruturais da vegetação. A ampla variação encontrada nos parâmetros biométricos dos cerrados amostrados na área *core* do bioma reflete a variação abiótica a qual estas áreas estão submetidas.

De modo geral, os maiores valores médios para todos os parâmetros biométricos foram coletados no JBB-Vale, tipo raro de cerrado sentido restrito que ocorre em borda de mata de galeria (Silva Júnior & Sarmiento 2009). De acordo com Silva Júnior & Sarmiento (2009), o cerrado de vale ocorre em condições topográficas onde o lençol freático é inferido como superficial, assim sugerido com maior disponibilidade de água no solo. Além disso, os registros de queimadas mostraram que a frequência de fogo na área é baixa, ocorre em intervalos de cinco anos (Comunicação Pessoal Administração JBB). Provavelmente, os fatores mencionados podem ter contribuído para a diferenciação desta área em relação às demais comparadas, inclusive JBB-Centro de Visitação e JBB-Interflúvio que são adjacentes.

A vegetação de cerrado sentido restrito em áreas de transição também apresentou ampla faixa de variação nos parâmetros biométricos analisados, porém os limites inferiores dos parâmetros foram maiores em comparação aos mensurados no cerrado da área *core* do Bioma. Tais dados ratificam a heterogeneidade da fitofisionomia de cerrado sentido restrito independente da posição latitudinal (Felfili *et al.* 2004).

A vegetação lenhosa amostrada nas áreas de floresta de transição se diferenciou das demais principalmente pela presença de indivíduos com maior altura e conseqüentemente maior acúmulo de biomassa aérea. Do ponto de vista da manutenção do estoque de carbono, estas áreas são extremamente relevantes e precisam ser conservadas. As áreas de

transição Cerrado/Floresta Amazônica estão sob intensa pressão de mudança de uso da terra, fato corroborado pela formação do “arco de desmatamento” destacado por Fearnside *et al.* (2009).

A análise dos dados mostrou o gradiente de incremento, onde os menores valores para os parâmetros biométricos mencionados foram encontrados no cerrado sentido restrito na área *core* do Bioma e os maiores valores em áreas de floresta de transição. Variações nos valores médios de precipitação anual podem ter contribuído para este gradiente, na área *core* do Bioma a precipitação média anual varia de 1.100 mm (Correntina e São Desidério) a 1.300 mm (demais áreas), já nas localidades em áreas de transição com a Floresta Amazônica a precipitação é acima de 1.400 mm. A precipitação é um dos determinantes primários da vegetação savânica (Cole 1986), porém no caso do cerrado outros fatores como sazonalidade (ver Capítulo 1), topografia, solos e frequência de queimadas devem ser investigados para refinamento das análises.

Com relação aos dados de copas, a vegetação lenhosa nos três tipos de vegetação estudados pode ser significativamente diferenciada pela altura da copa e área da copa. Nas florestas de transição as árvores apresentaram copas mais altas e com maiores áreas e volumes, fato provavelmente relacionado à competição por luz que é um importante fator limitante neste tipo de ambiente (Alves & Santos 2002, Hoffmann & Franco 2003, Lau 2009).

Em áreas de floresta de transição a copa representou 35% da altura total do indivíduo lenhoso, já nos ambientes savânicos (cerrado *core* e cerrado transição) esta relação foi de 50%. Esta característica ratifica a diferenciação destes ambientes, nas áreas de floresta a vegetação aloca grande quantidade de biomassa para o tronco. Segundo Hoffmann & Franco (2003) espécies florestais, em estágio de mudas, além de investirem maior proporção de sua biomassa para caule, apresentaram razões de área foliar (área foliar total/massa da planta) maiores do que espécies de savana. Além disso, espécies de floresta, tanto em estágio de mudas (Hoffmann & Franco 2003), quanto adultas (Hoffmann *et al.* 2005) tendem a apresentar maior área foliar específica em comparação às espécies de savanas.

A PCA também mostrou que as áreas de floresta estão associadas aos maiores valores de altura total. Ratificando que em ambientes florestais a vegetação aloca grande quantidade de recursos para o crescimento em altura, esta característica é reflexo da competição por luz. Outro resultado interessante foi que em relação aos parâmetros estruturais analisados, de modo geral, as áreas de cerrado sentido restrito (*core* e transição)

ficaram sobrepostas, ou seja, apresentaram baixa diferenciação. Esta informação é extremamente útil para futuros estudos de monitoramento remoto da vegetação em ampla escala, conforme sugerido por Asner *et al.* (2005) e Sano *et al.* (2010).

Dados de copas das árvores são notoriamente difíceis de serem adquiridos em ambientes florestais, especialmente devido à altura das árvores. A coleta de dados é laboriosa e muitas vezes os dados apresentam erros (Asner *et al.* 2002). Tais fatores podem ter contribuído para os baixos valores de R^2 obtidos nas relações entre altura e área/volume das copas calculadas para os ambientes florestais. Para savanas este tipo de variável é relativamente mais fácil de ser obtida e com maior precisão já que se trata de ambientes abertos e com árvores de menor porte.

As relações encontradas entre os parâmetros biométricos analisados foram promissoras. Nos ambientes savânicos a biomassa foi fortemente relacionada com a área e volume das copas. Os valores de R^2 calculados foram semelhantes aos encontrados para a Floresta tropical úmida boliviana onde a relação entre área da copa e diâmetro (DAP) apresentou R^2 0,66 e entre altura e área da copa o R^2 foi 0,45, todas estatisticamente significativas ($p < 0,001$) (Broadbent *et al.* 2008). Para a Floresta Amazônica brasileira, Palace *et al.* (2008) relacionaram diâmetro e largura da copa e encontraram R^2 0,57 ($p < 0,0001$).

As análises apresentadas neste trabalho destacam semelhanças e diferenças entre a vegetação de cerrado sentido restrito localizada na área *core* do Bioma e no ecótono Cerrado-Floresta Amazônica. Estas informações são extremamente importantes, pois preenchem lacunas no conhecimento existentes para a porção nordeste do Cerrado (ver Capítulo 1). As análises referentes aos dados de copas da vegetação de Cerrado em escala regional são inéditas e mostraram relações fortes com diâmetro, parâmetro mais facilmente amostrado em campo. Além disso, nos ambientes savânicos verificou-se forte relação entre área da copa e biomassa, tais resultados podem servir para calibrar algoritmos automáticos para detecção de copas em imagens de satélites de alta resolução (Palace *et al.* 2008). O aprimoramento dessa técnica é fundamental para o monitoramento remoto de ecossistemas com grande extensão geográfica como o Cerrado (Asner *et al.* 2005, Sano *et al.* 2010).

5.0 Bibliografia

- ALVES, L., AND F. SANTOS, 2002. Tree allometry and crown shape of four tree species in Atlantic rain forest, South-East Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 18: 245-260.
- ARCHIBALD, S., AND W.J. BOND, 2003. Growing tall vs growing wide: tree architecture and allometry of *Acacia karroo* in forest, savanna, and arid environments. *Oikos* 102: 3-14.

- ASNER, G.P., M. PALACE, M. KELLER, R. PEREIRA JR., J. SILVA, AND J. ZWEEDE, 2002. Estimating Canopy Structure in an Amazon Forest from Laser Range Finder and IKONOS Satellite Observations. *Biotropica* 34: 483-492.
- BETTS, R.A., P.M. COX, S.E. LEE, AND F.I. WOODWARD, 1997. Contrasting physiological and structural vegetation feedbacks in climate change simulations. *Nature* 387: 796–799.
- BONDEAU, A., D.W. KICKLIGHTER, AND J. KADUK, 1999. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): importance of vegetation structure on seasonal NPP estimates. *Global Change Biol.* 5: 35–45.
- BROADBENT, E., G. ASNER, M. PENACLOS, M. PALACE, AND M. SORIANO, 2008. Spatial partitioning of biomass and diversity in a lowland Bolivian forest: Linking field and remote sensing measurements. *Forest Ecology and Management* 255: 2602-2616.
- CHAVE, J., C. ANDALO, S. BROWN, M.A. CAIRNS, J.Q. CHAMBERS, D. EAMUS, H. FÖLSTER, F. FROMARD, N. HIGUCHI, T. KIRA, J.-P. LESCURE, B.W. NELSON, H. OGAWA, H. PUIG, B. RIÉRA, AND T. YAMAKURA, 2005. Tree Allometry and Improved Estimation of Carbon Stocks and Balance in Tropical Forests. *Oecologia* 145: 87-99.
- CHEN, D.X., AND M.B. COUGHENOUR, 1994. GEMTM—A general model for energy and mass transfer of land surfaces and its application at the FIFE sites. *Agric. For. Meteorol.* 68: 145–171.
- COLE, M.M. 1986. The savannas: biogeography and geobotany. Academic Press. Pp. 1-58.
- COUTINHO, L.M. 1990. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. *In* GOLDAMMER, J.G. Fire in the tropical biota: ecosystem processes and global challenges. Berlin, Springer-Verlag, p. 82-103.
- DIRMEYER, P.A., AND J. SHUKLA. 1994. Albedo as a modulator of climate response to tropical deforestation. *J. Geophys. Res. Atmos.* 99: 20.863–20.877.
- EITEN, G., 1972. The Cerrado vegetation of Brazil. *Botanical Review* 38: 201-341.
- FEARNSIDE, P.M., C.A. RIGHI, P. GRAÇA, E.W.H. KEIZER, C.C. CERRI, E.M. NOGUEIRA, AND R.I. BARBOSA, 2009. Biomass and greenhouse-gas emissions from land-use change in Brazil’s Amazonian “arc of deforestation”: The states of Mato Grosso and Rondônia. *Forest Ecology and Management* 258: 1968-1978.
- FELFILI, J.M., M. CLÁUDIO, A.C. SEVILHA, C.W. FAGG, B. MACHADO, T. WALTER, AND P.E. NOGUEIRA, 2004. Diversity, floristic and structural patterns of cerrado vegetation in Central Brazil. *Plant Ecology* 175: 37-46.
- FIEDLER, N., D. MERLO, AND M. MEDEIROS, 2006. Ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás. *Ciência Florestal* 16: 153-161.
- FIELD, C.B., J.T. RANDERSON, AND C.M. MALMSTROM. 1995. Global net primary production: Combining ecology and remote sensing. *Remote Sens. Environ.* 51: 74–88.
- HOFFMANN, W. A., AND A.C. FRANCO, 2003. Comparative growth analysis of tropical forest and savanna woody plants using phylogenetically independent contrasts. *Journal of Ecology* 91: 475-484.
- HOFFMANN, W. A., A. C. FRANCO, M.Z. MOREIRA, AND M. HARIDASAN, 2005. Specific leaf area explains differences in leaf traits between congeneric savanna and forest trees. *Functional Ecology* 19: 932-940.
- KING, D., 1996. Allometry and Life History of Tropical Trees. *Journal of Tropical Ecology* 12: 25-44.

- LAU, O., 2009. *Evolution of tree architecture in the Brazilian Cerrado*. Master of Science. North Carolina State University. 55p.
- MCCUNE, B. AND M. J. MEFFORD. 2006. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 5.12 MjM Software, Glenden Beach, Oregon, U.S.A.
- MMA, IBAMA, AND PNUD, 2009. Relatório técnico de monitoramento do desmatamento no bioma cerrado, 2002 a 2008: Dados Revisados. Acordo de Cooperação Técnica. Brasília-DF.
- MISTRY, J., 1998. Fire in the cerrado (savannas) of Brazil: an ecological review. *Progress in Physical Geography* 22: 425-448.
- MOREIRA, A.G., 2000. Effects of Fire Protection on Savanna Structure in Central Brazil. *Journal of Biogeography* 27: 1021-1029.
- NOGUEIRA, E., P. FEARNside, B. NELSON, AND M. FRANÇA, 2007. Wood density in forests of Brazil's "arc of deforestation": Implications for biomass and flux of carbon from land-use change in Amazonia. *Forest Ecology and Management* 248: 119-135.
- PALACE, M., M. KELLER, G.P. ASNER, S. HAGEN, AND B. BRASWELL, 2008. Amazon Forest Structure from IKONOS Satellite Data and the Automated Characterization of Forest Canopy Properties. *Biotropica* 40: 141-150.
- POORTER, L., L. BONGERS, AND F., BONGERS, 2006. Architecture of 54 moist-forest tree species, traits, trade-offs, and functional groups. *Ecology* 87: 1289-1301.
- RAWITSCHER, F., 1948. The Water Economy of the Vegetation of the "Campos Cerrados" in Southern Brazil. *The Journal of Ecology* 36: 237-268.
- REZENDE, A.V., A.T. VALE, C.R. SANQUETTA, A.F. FILHO, AND J.M. FELFILI, 2006. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF. *Scientia Forestalis* 71: 65-76.
- RIBEIRO, J.F., AND B.M.T. WALTER, 2008. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. Pp.153-212. In: SANO, S.M., S.P. ALMEIDA, AND J.F. RIBEIRO (eds.). *Cerrado: ecologia e flora*. Embrapa Cerrados, Brasília-DF.
- SANO, E.E., R. ROSA, J.L.S. BRITO, AND L.G. FERREIRA, 2010. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment* 166: 113-124.
- SILVA JÚNIOR, M., AND T. SARMENTO, 2009. Comunidades lenhosas no cerrado sentido restrito em duas posições topográficas na Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília, DF, Brasil. *Rodriguésia* 60: 277-294.
- WESTOBY, M., AND I. WRIGHT, 2006. Land-plant ecology on the basis of functional traits. *Trends in Ecology & Evolution* 21: 261-268.
- ZAR, J.H. 1999 *Biostatistical Analysis*. 4th Ed. Prentice-Hall: Englewood Cliffs, New Jersey.

Capítulo IV - Variação multi temporal na biomassa aérea da vegetação lenhosa de cerrado sentido restrito

1.0 Introdução

O papel dos ecossistemas naturais na fixação de carbono é tema central de importantes discussões na atualidade. Nos ecossistemas terrestres, a vegetação e o solo são os principais drenos globais de carbono (Hessen *et al.* 2004). A vegetação, além de atuar na fixação de carbono, contribui para a estabilidade ambiental, principalmente com a mitigação das temperaturas extremas, aumento das precipitações regionais e prevenção da erosão do solo (Fearnside 2008).

Dentre os ecossistemas tropicais, as savanas merecem destaque pela extensão geográfica, 23 milhões de km², e ocupação humana, abrigam 20% da população mundial (Grace *et al.* 2006, Goedert *et al.* 2008). Estas características, somadas à presença histórica do fogo, aumentam a importância das savanas no ciclo global do carbono (Grace *et al.* 2006).

Nas savanas tropicais, o solo é o compartimento mais importante de carbono, pois abriga cerca de 80% do carbono orgânico total. Contudo, sua distribuição ocorre em manchas, com altos níveis sob as árvores (Scurlock & Hall 1998). O manejo inadequado das savanas pode promover degradação da vegetação e solo, e também pode levar a perdas líquidas de carbono para a atmosfera em longo prazo (Grace *et al.* 2006).

Dentre as savanas mundiais o Cerrado merece destaque, pois ocupa área de cerca de 2 milhões de km² e atualmente está sob intensa pressão de mudança de uso da terra (Sano *et al.* 2010). Em apenas 40 anos mais de 40% do Cerrado foram completamente desmatados e/ou convertidos para usos antrópicos intensivos (Dias 2008).

O papel da vegetação nos ciclos globais de importantes elementos como o carbono e, ainda, as respostas da vegetação às variações ambientais e aos distúrbios naturais e antrópicos são melhor compreendidos com o monitoramento de parcelas permanentes (Davidson *et al.* 2012). Para a Floresta Amazônica estudos dessa natureza apontam sua resiliência a secas anuais moderadas, entretanto, a interação entre desmatamento, fogo e seca potencialmente resultam em perdas no estoque de carbono, alteram os padrões regionais de precipitação e conseqüentemente a vazão dos rios (Baker *et al.* 2004; Aragão *et al.* 2009; Gloor *et al.* 2009; da Costa *et al.* 2010; Davidson *et al.* 2012).

Para o Cerrado, alguns estudos avaliaram a dinâmica da vegetação em parcelas permanentes de cerrado sentido restrito, formação vegetacional mais amplamente

distribuída no Cerrado (Felfili *et al.* 2004), a saber: Felfili *et al.* (2000) e Libano & Felfili (2006) no Distrito Federal, Roitman *et al.* (2008) na Bahia e Mews *et al.* (2011) no Mato Grosso. Estes estudos foram realizados em escala local, assim faz-se necessário avaliar a dinâmica da vegetação de cerrado em um contexto maior.

Este capítulo tem por objetivo quantificar a variação multi temporal na biomassa aérea da vegetação lenhosa de cerrado sentido restrito sobre diferentes tipos de solos e formas de manejo. Para tanto, parcelas amostradas na década de 1980 pelo projeto Biogeografia do Bioma Cerrado (BIO) foram reavaliadas.

2.0 Material e Métodos

2.1 Áreas de Estudo

O projeto BIO amostrou a partir da década de 1980 áreas de Cerrado em três unidades fisiográficas no Brasil Central (Cochrane *et al.* 1985) denominadas Chapada Pratinha, Chapada dos Veadeiros e Chapada do Espigão Mestre do São Francisco (Felfili *et al.* 1994). Estas unidades englobam, dentre outras fitofisionomias, cerrado sentido restrito sobre diferentes tipos de solos, históricos de fogo e pressões antrópicas.

Neste estudo foram reamostradas na unidade fisiográfica Chapada Pratinha nove parcelas em Silvânia, 15 parcelas na Fazenda Água Limpa (FAL) e 20 parcelas na Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília (JBB), sendo dez no Interflúvio e dez no Vale. As parcelas instaladas em Silvânia foram inicialmente amostradas em 1989, na FAL em 1985 e no JBB em 1997. Nestas áreas o cerrado sentido restrito ocorre principalmente sobre Latossolos Vermelho Escuro ou Vermelho Amarelo, são solos distróficos e com alta saturação por alumínio (Felfili *et al.* 1994).

Na Chapada dos Veadeiros foram remeidas dez parcelas em Alto Paraíso de Goiás e dez no Parque Nacional (PARNA) da Chapada dos Veadeiros, inicialmente amostradas em 1989. As parcelas em Alto Paraíso de Goiás ocorrem sobre Neossolos Litólicos, com afloramentos de arenito, e Latossolos; e no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros sobre Neossolos Litólicos arenosos e Latossolos Vermelho Amarelo (Felfili *et al.* 2007).

Na Chapada do Espigão Mestre do São Francisco foram revisitadas dez parcelas em Correntina e nove em São Desidério, inicialmente estudadas em 1989. Estas parcelas ocorrem, principalmente, sobre Neossolos Quartzarênicos (Felfili & Silva Júnior 2001).

Neste estudo foram amostradas 83 parcelas, 55,3% do total amostrado pelo Projeto BIO (Felfili *et al.* 2004). As parcelas remeidas se localizam em áreas de cerrado (Figura 1) sobre diferentes tipos de solos, históricos de fogo e pressões antrópicas. É importante

ressaltar que a maioria das parcelas não é considerada permanente (Felfili *et al.* 2005). Parcelas permanentes são georreferenciadas e possuem todos os indivíduos lenhosos com diâmetro medido a 30 cm do solo ($Db_{30cm} \geq 5$ cm) marcados com placas de alumínio sequencialmente numeradas (Felfili *et al.* 2005). As parcelas permanentes estudadas foram instaladas em 1985 na FAL e em 1997 na Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília (Interflúvio e Vale).

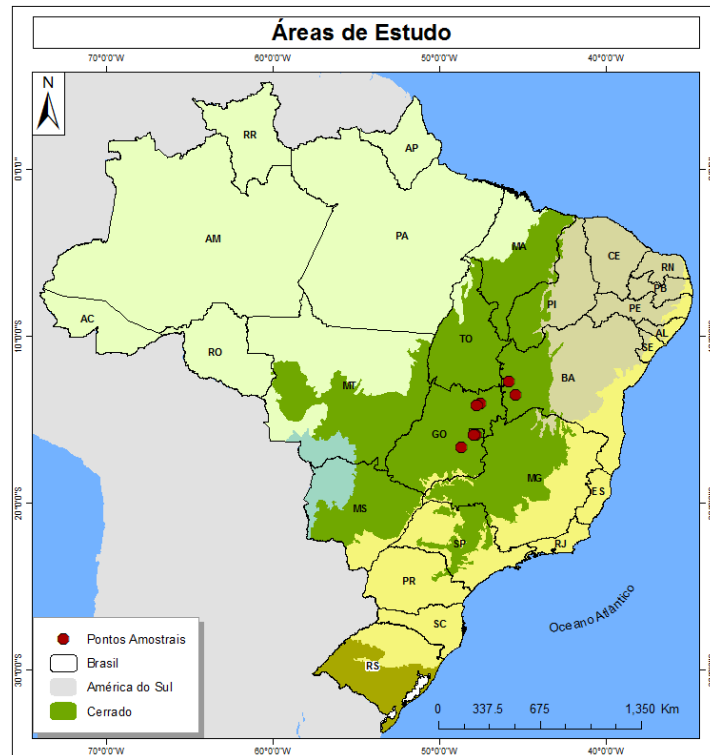


Figura 1: Distribuição geográfica das áreas de cerrado sentido restrito estudadas.

As parcelas não permanentes foram resgatadas com o apoio de participantes do projeto BIO e também com auxílio de mapas de localização publicados em Felfili & Silva Júnior (2001) e Felfili *et al.* (2007). Após sua localização em campo e georreferenciamento, as parcelas foram remedidas obtendo-se assim dados florísticos e estruturais.

2.2 Amostragem da vegetação lenhosa

No âmbito do projeto BIO as áreas de cerrado sentido restrito foram amostradas com metodologia padronizada. Em cada localidade foram instaladas parcelas disjuntas de 20 x 50 m (1.000 m²) onde todos os indivíduos lenhosos com $Db_{30cm} \geq 5$ cm foram mensurados, exceto lianas, palmeiras e velozáceas. O diâmetro foi medido com suta de alumínio e a altura com vara graduada em metros. Considerou-se como altura total a

projeção vertical da base do tronco até o ramo mais alto ou folhagem. Neste trabalho foi utilizada a mesma metodologia facilitando a comparação dos dados entre as amostragens.

2.3 Análises dos dados

A partir do levantamento realizado nas oito áreas de cerrado sentido restrito em dois tempos diferentes foram amostrados 17.262 indivíduos lenhosos, destes somente 815 (4,7% do total) foram identificados até gênero. Para não comprometer as comparações florísticas entre áreas/anos, estes indivíduos foram excluídos das análises. Apenas uma espécie não identificada, pertencente à família Myrtaceae, e coletada em Alto Paraíso foi mantida, pois apresentou alto Índice de Valor de Importância (IVI) em ambas as amostragens. As famílias botânicas foram classificadas de acordo com o sistema do *Angiosperm Phylogeny Group* III (APG III 2009) e os nomes dos autores de todas as espécies conferidos por meio de consultas ao “W3 Trópicos” (<http://www.mobot.org>).

O índice de diversidade de Shannon & Wiener e uniformidade de Pielou (Magurran & McGill 2011) foram calculados com o auxílio do programa MVSP (Kovach 1993). Os parâmetros fitossociológicos (densidade, frequência e dominância absolutas e relativas, e IVI) foram calculados de acordo com Müeller-Dombois & Ellenberg (1974). A análise da distribuição de diâmetros nas comunidades em cada área foi realizada utilizando-se intervalo entre classes de 5,0 cm, valor sugerido por outros estudos para facilitar comparações (Felfili 2001; Felfili & Rezende 2003).

O *turnover* temporal de espécies foi calculado através do índice proposto por Brown & Kodric-Brown (1977) discutido em Magurran & McGill (2011). Estes autores propuseram $t = b + c / S_1 + S_2$, onde b = número de espécies presentes apenas no 1º censo; c = número de espécies presentes apenas no 2º censo; S_1 = número total de espécies presentes no primeiro censo e S_2 = número de espécies presentes no segundo censo.

A similaridade florística entre as áreas/anos foi avaliada com base nos índices de Sørensen, baseado na presença de espécies (Magurran & McGill 2011), e Czekanowski (Kent & Coker 1992) baseado na densidade/dominância, ambos calculados pelo programa MVSP (Kovach 1993). Nunes *et al.* (2002) calcularam em 0,5 a mediana do índice de similaridade de Sørensen nas comparações entre 100 parcelas de cerrado sentido restrito no Distrito Federal, assim foram considerados elevados os valores acima de 0,5. O índice de Czekanowski varia de 0 a 1, e geralmente é apresentado na forma de percentagem (Kent & Coker 1992), considerando-se elevados os valores acima de 50% (Felfili & Rezende 2003).

Padrões florísticos na distribuição das espécies nas comunidades foram investigados através da aplicação do método TWINSpan (*Two-Way Indicator Species Analysis*) mediante o uso do programa PC-ORD (McCune & Mefford 2006). Este método classifica simultaneamente espécies e parcelas/áreas e evidencia espécies indicadoras e preferenciais por meio de dicotomizações sucessivas (Kent & Coker 1992). Os níveis de corte adotados foram 0, 2, 5, 10 e 20.

Métodos de ordenação foram aplicados com o intuito de identificar padrões na distribuição e abundância das árvores e nos fatores ambientais que controlam estes padrões (Felfili *et al.* 2011). Pelo fato de grande parte da variabilidade de conjuntos de dados ecológicos multivariados estar concentrada em poucos componentes, as técnicas de ordenação são satisfatoriamente utilizadas em Ecologia (Kent & Coker 1992).

Para tanto efetuou-se a ordenação dos dados da vegetação pelo método NMDS ou NMS (*Nonmetric MultiDimensional Scaling*) (Peck 2010) com o uso do programa PC-ORD (McCune & Mefford 2006). O NMS resume as relações entre objetos através da matriz de distâncias baseada nas características dos objetos. Essa ordenação constrói uma configuração de pontos que representam os objetos em um número pré-determinado de dimensões (vetores) (Vieira *et al.* 2008). O índice de *stress* mede diferenças entre as distâncias medidas na matriz de associação e os objetos, assim o objetivo é encontrar a ordenação com o menor estresse possível. Valores acima de 30 indicam que a ordenação final tem pouca correspondência com a matriz original de dados (Peck 2010).

Além da NMDS aplicou-se a CCA (*Canonical Correspondence Analysis*) para análise direta de gradientes. Esta ferramenta permite que as amostras e as espécies sejam simultaneamente ordenadas, esta ocorre com base na relação linear de padrões unimodais da redundante co-ocorrência nos dados das espécies e das variáveis explanatórias selecionadas. A CCA é uma técnica de ordenação que combina ordenação de média recíproca (*Reciprocal Averaging*) e regressão linear múltipla (Peck 2010).

Para se proceder a CCA variáveis bióticas foram relacionadas às características físicas e químicas dos solos. Em todas as localidades, exceto FAL por problemas de logística em campo, foram coletadas amostras simples do solo (0-10 cm). No ponto central de cada parcela coletou-se uma amostra do solo com o auxílio de trado metálico cilíndrico. As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Análises de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Foram realizados os seguintes procedimentos: pH em H₂O; teor percentual de matéria orgânica (MO) pelo método Walkley-Black; fósforo (P) e potássio (K) pelo extrator Mehlich 1; cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al)

pelo extrator KCl 1 mol/L; e enxofre (S) pelo extrator fosfato monocálcio em ácido acético. A análise granulométrica foi realizada no Laboratório de Solos da Universidade de Brasília, os teores percentuais de areia, silte e argila foram obtidos pelo método Densímetro Simplificado.

Para as análises de similaridade e classificação excluíram-se as espécies raras, ou seja, aquelas representadas por apenas 1 indivíduo. Para a classificação utilizou-se dados de densidade e na ordenação NMDS foram utilizados os dados de biomassa aérea da vegetação lenhosa, para diminuir discrepâncias aplicou-se a transformação logarítmica. Para a ordenação via NMDS montou-se uma matriz com 160 espécies por 16 “áreas” (oito áreas com dois tempos de amostragens). Para a CCA utilizou-se como matriz principal os dados de biomassa, excluiu-se das análises as espécies que ocorreram com densidade ≤ 2 indivíduos, o que resultou na matriz com 105 espécies por 68 parcelas. Na matriz secundária utilizou-se dados referentes às variáveis físicas e químicas dos solos (pH, P, K, Ca, Mg, Al, S, Matéria Orgânica, silte, areia e argila). Os dados da matriz principal e secundária foram transformados para diminuir as discrepâncias.

A biomassa aérea da vegetação lenhosa foi estimada através da equação proposta por Rezende *et al.* (2006) para o cerrado sentido restrito, $B=0,49129+0,02912*Db^2*Ht$. Onde: B=biomassa ($kg.ind^{-1}$), Db=diâmetro da base (cm) e Ht=altura (m). A fim de avaliar os estoques de carbono, foi utilizado o valor de 0,47 para converter biomassa em carbono, de acordo com as diretrizes do IPCC para inventários nacionais.

Aplicou-se teste *t* de Student's para avaliar se houve diferenças significativas ($\alpha=0,05$) nos parâmetros biométricos da vegetação lenhosa nas áreas de cerrado sentido restrito entre os anos de amostragem, esta análise foi feita com o programa JMP 9.0.2 (SAS Institute Inc.).

3.0 Resultados

3.1 Florística

No total as áreas de cerrado sentido restrito apresentaram 180 espécies distribuídas em 102 gêneros e 47 famílias (Anexo 1). Durante a primeira amostragem os valores de riqueza variaram de 42 (FAL) a 80 (Alto Paraíso) espécies lenhosas (Tabela 1). Na segunda amostragem o menor valor de riqueza foi 53 no JBB-Interflúvio e o maior 83 espécies em Alto Paraíso (Tabela 1).

Na primeira amostragem o menor índice de diversidade foi 3,16 no JBB-Interflúvio e o maior 3,50 em Correntina (Tabela 1). Na segunda amostragem o índice de diversidade variou de 3,10 no JBB-Interflúvio a 3,52 em Correntina (Tabela 1). Das oito áreas

estudadas, diferenças significativas nos valores de riqueza e diversidade entre os dois períodos de amostragem foram encontradas em Silvânia e FAL. Nestas áreas observou-se aumento nestes parâmetros biométricos (Tabela 1).

Tabela 1: Variação temporal nos valores de diversidade (H'), equitabilidade (J') e riqueza (S) nas áreas de cerrado sentido restrito. * Diferenças significativas entre os períodos de amostragem ($p < 0,05$).

Áreas	Estado	ANO	H'	J'	S
Alto Paraíso	GO	1989	3,38	0,77	80
		2010	3,44	0,78	83
1989		3,49	0,81	75	
PARNA Chapada dos Veadeiros		2010	3,19	0,76	66
Silvânia		1989	3,22*	0,77	64*
		2010	3,76*	0,85	81*
JBB-Interflúvio	DF	1997	3,16	0,80	53
		2009	3,10	0,78	53
JBB-Vale		1997	3,39	0,85	53
		2009	3,32	0,81	60
Fazenda Água Limpa		1985	3,24*	0,87	42*
		2009	3,50*	0,85	62*
Correntina	BA	1989	3,50	0,86	59
		2010	3,52	0,86	59
1989		3,27	0,84	49	
São Desidério		2010	3,50	0,85	62

Dentre as áreas amostradas na Chapada Pratinha, o *turnover* de espécies foi 0,11 e 0,19, respectivamente, no JBB-Interflúvio e JBB-Vale. Na FAL e Silvânia o *turnover* foi maior, 0,21 e 0,25, respectivamente. Na região da Chapada dos Veadeiros, as parcelas amostradas em Alto Paraíso apresentaram *turnover* de 0,36, valor superior ao encontrado no PARNA da Chapada dos Veadeiros (0,30). Em Correntina e São Desidério o *turnover* foi 0,25 e 0,32, respectivamente.

O índice de Sørensen mostrou alta similaridade florística entre as áreas, pois todos os valores ficaram acima de 0,50 (Figura 2). A integridade florística em cada uma das localidades foi mantida ao longo do tempo, porém é possível observar pequena variação na composição de espécies nas parcelas amostradas em Correntina e São Desidério na Chapada do Espigão Mestre do São Francisco (Bahia), e FAL na Chapada Pratinha (Distrito Federal) (Figura 2).

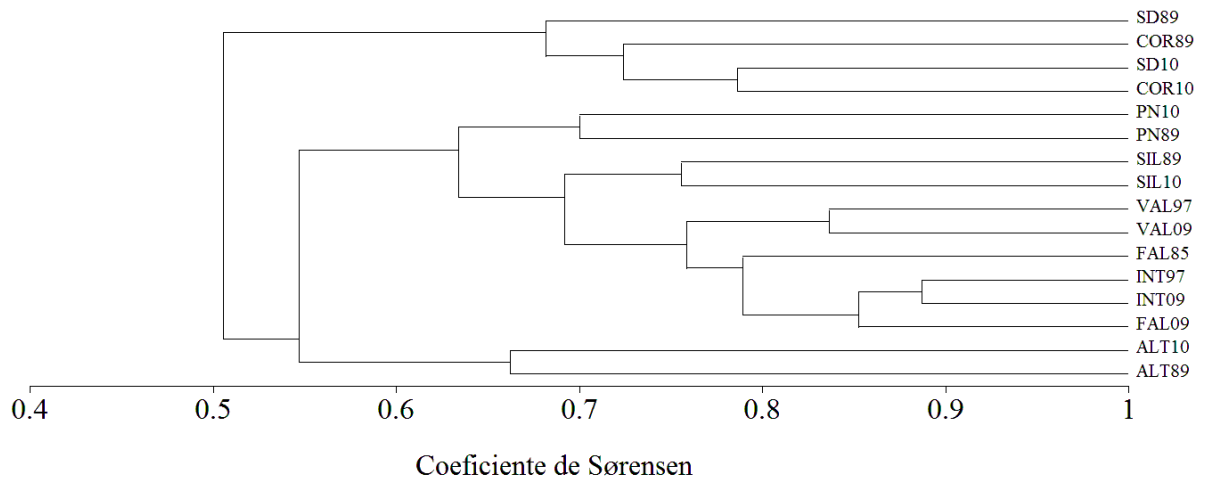


Figura 2: Dendrograma de classificação da vegetação lenhosa de cerrado sentido restrito produzido a partir do índice de Sørensen. Onde: 85, 89, 97, 09 e 10 são os anos de amostragem; ALT=Alto Paraíso de Goiás; PN=Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros; SIL=Silvânia; INT=JBB-Interflúvio; VAL=JBB-Vale; FAL=Fazenda Água Limpa; COR=Correntina; SD=São Desidério.

3.2 Estrutura

Na primeira amostragem realizada nas áreas de cerrado sentido restrito o diâmetro médio da vegetação lenhosa variou de 7,97 cm (JBB-Vale) a 9,49 cm (Silvânia). Na segunda amostragem o menor diâmetro médio encontrado foi 8,17 cm na FAL e o maior 10,04 cm em São Desidério (Figura 3). Nos cerrados de Silvânia, FAL e PARNA da Chapada dos Veadeiros o diâmetro médio dos indivíduos lenhosos diminuiu significativamente ao longo do tempo (Figura 3). Já no JBB-Vale e São Desidério os diâmetros médios da vegetação aumentaram significativamente ao longo do tempo (Figura 3).

Na primeira amostragem a altura média da vegetação lenhosa variou de 2,61 m (JBB-Interflúvio) a 3,97 m (São Desidério). Na segunda amostragem a menor altura média foi 2,71 m no JBB-Interflúvio e a maior 3,99 m em São Desidério (Figura 3). Nos cerrados de Silvânia, Alto Paraíso e PARNA da Chapada dos Veadeiros a altura média dos indivíduos lenhosos diminuiu significativamente ao longo do tempo (Figura 3). Já no JBB-Interflúvio, JBB-Vale e FAL a altura média da vegetação aumentou significativamente ao longo do tempo (Figura 3).

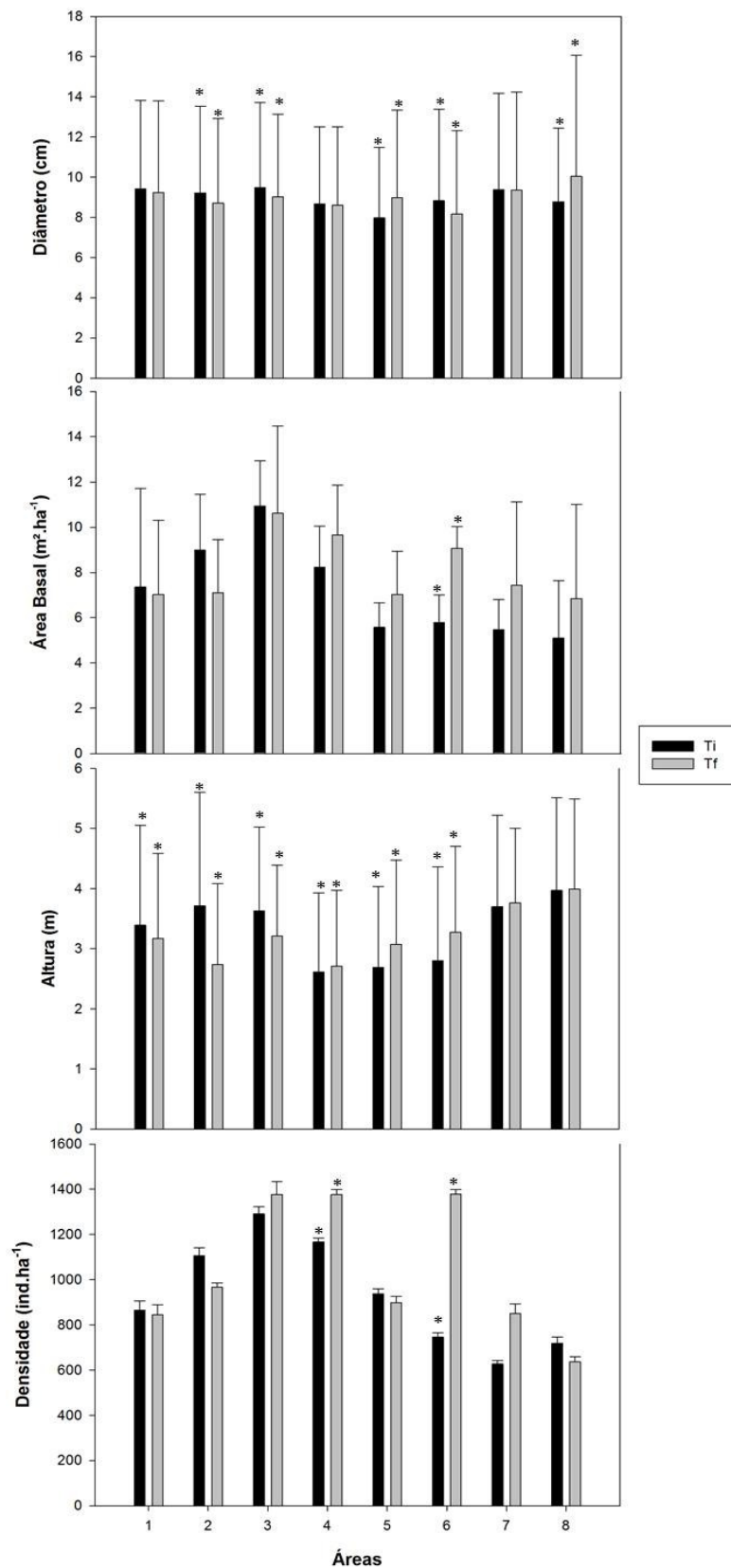
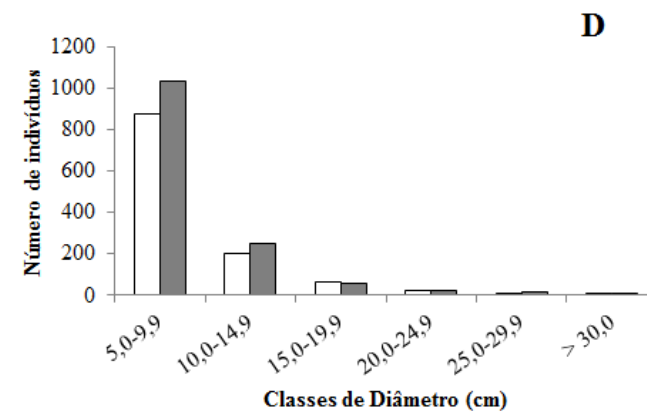
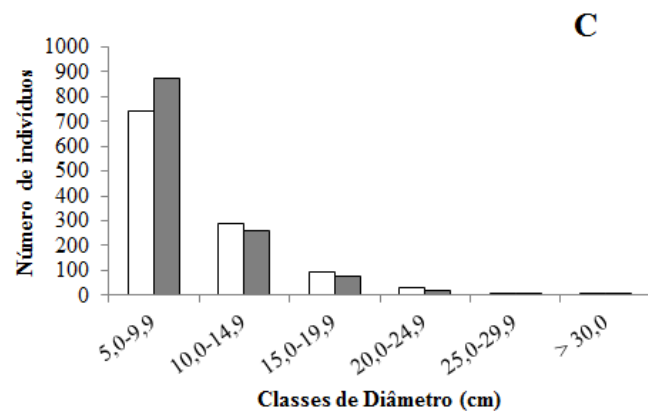
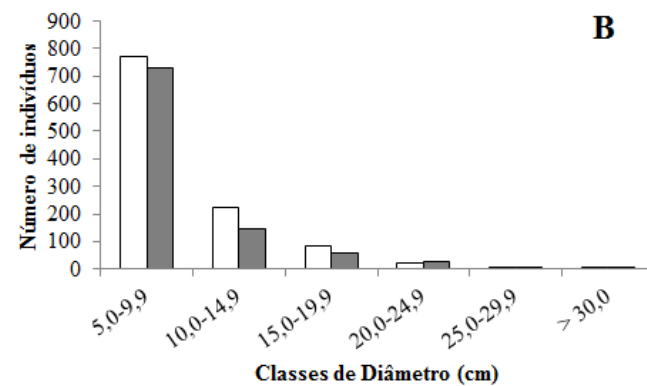
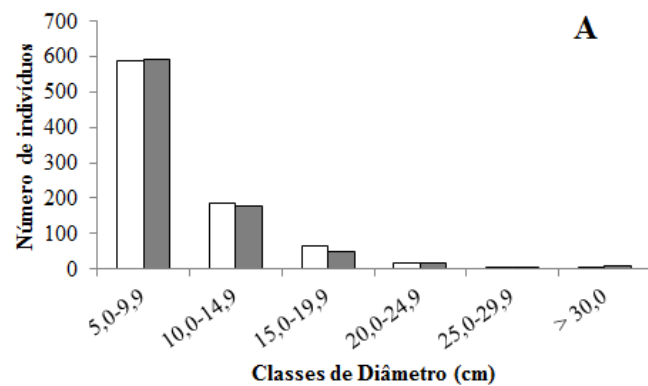


Figura 3: Parâmetros biométricos da vegetação lenhosa de cerrado sentido restrito ao longo do tempo. Média e (Desvio padrão). *Valores estatisticamente diferentes. Onde: Ti=1ª amostragem; Tf=2ª amostragem; 1=Alto Paraíso de Goiás; 2=PARNA da Chapada dos Veadeiros; 3=Silvânia; 4=JBB-Interflúvio; 5=JBB-Vale; 6=FAL; 7=Correntina; 8=São Desidério.

Na primeira amostragem os valores de área basal variaram de 5,10 m².ha⁻¹ (São Desidério) a 10,94 m².ha⁻¹ (Silvânia). Na segunda amostragem os menores valores de área basal foram encontrados em Alto Paraíso e JBB-Vale (7,03 m².ha⁻¹) e o maior em Silvânia (10,62 m².ha⁻¹). Na FAL a área basal da vegetação lenhosa aumentou significativamente ao longo dos anos (Figura 3).

Na primeira amostragem os valores de densidade variaram de 627 ind.ha⁻¹ em Correntina a 1.291 ind.ha⁻¹ em Silvânia. Na segunda amostragem a menor densidade foi encontrada em São Desidério (636 ind.ha⁻¹) e a maior em Silvânia (1.376 ind.ha⁻¹). A densidade no JBB-Interflúvio e FAL aumentou significativamente ao longo dos anos (Figura 3).

De modo geral, as comunidades apresentaram distribuição dos indivíduos em classes de diâmetro com aspecto *J-reverso* (Figura 4). A primeira classe diamétrica, representada por indivíduos com diâmetro da base < 10 cm, abriga mais de 70% dos indivíduos das comunidades de cerrado. A análise comparativa da distribuição diamétrica entre os anos mostrou que o número de indivíduos na primeira classe (5,0-9,9 cm) aumentou ao longo do tempo nos cerrados de Silvânia, JBB-Interflúvio, FAL e Correntina (Figura 4). Já no PARNA da Chapada dos Veadeiros, JBB-Vale e São Desidério o número de indivíduos na primeira classe de diâmetro diminuiu ao longo do tempo (Figura 4).



Continua na próxima página...

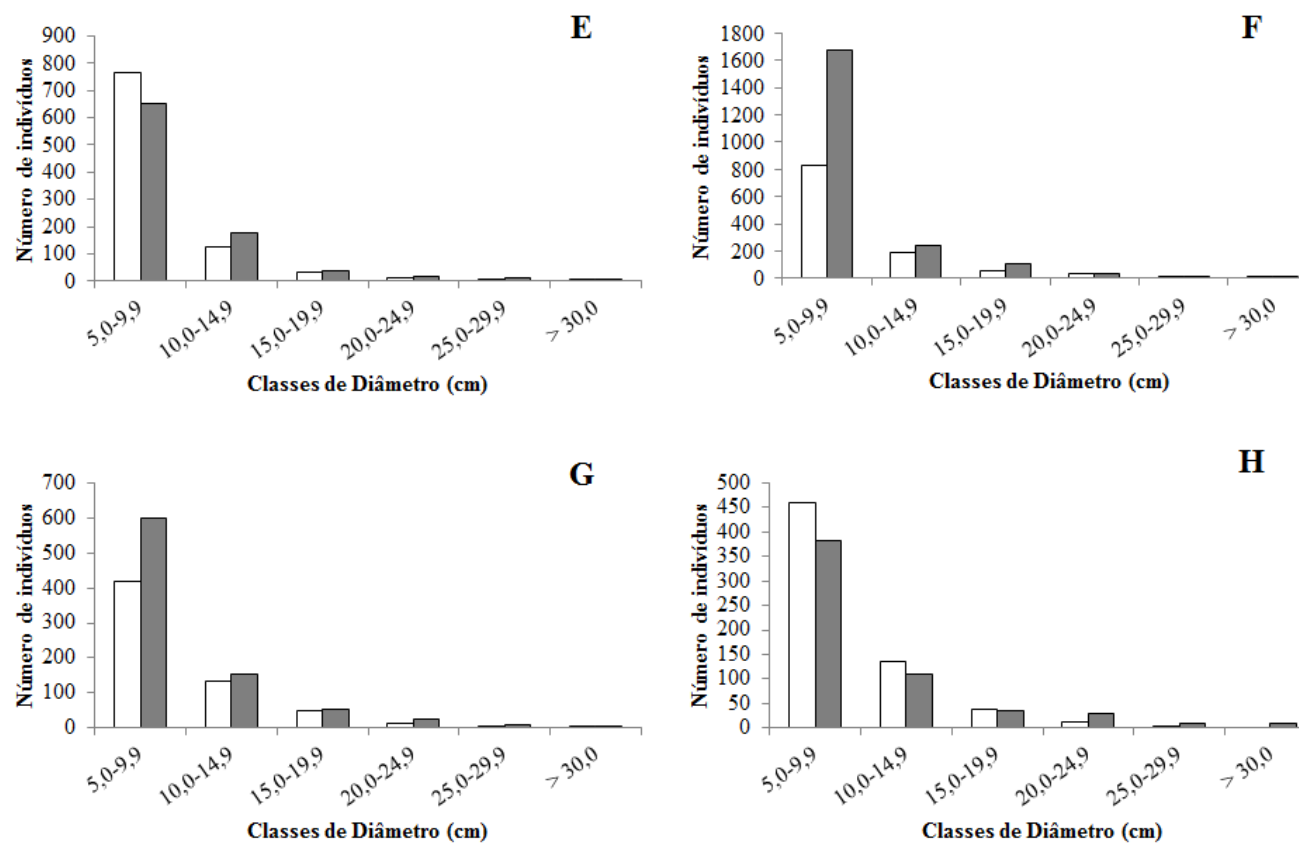


Figura 4: Distribuição diamétrica comparativa dos indivíduos lenhosos de cerrado sentido restrito.

Onde: □ =1ª amostragem; ■ =2ª amostragem; A=Alto Paraíso, B=PARNA da Chapada dos Veadeiros, C=Silvânia, D=JBB-Interflúvio, E=JBB-Vale, F=Fazenda Água Limpa, G=Correntina, H=São Desidério.

As áreas de cerrado sentido restrito apresentaram baixa similaridade florística com base na densidade e dominância, primeira separação com percentual de similaridade 27,5 (Figura 5A) e 28,4 (Figura 5B), respectivamente. Observou-se que os três grandes grupos de cerrados, Chapada Pratinha, Chapada dos Veadeiros e Chapada do Espigão Mestre do São Francisco, podem ser diferenciados com base nos parâmetros estruturais (densidade e dominância).

Apesar do tempo transcorrido entre as amostragens, de modo geral a integridade estrutural em cada uma das áreas foi mantida fato corroborado pelos valores acima de 50% de similaridade florística (densidade/dominância) (Figura 5A e 5B). Apenas em Alto Paraíso e PARNA da Chapada dos Veadeiros é possível observar variação na dominância das espécies nas parcelas amostradas entre os anos (Figura 5B).

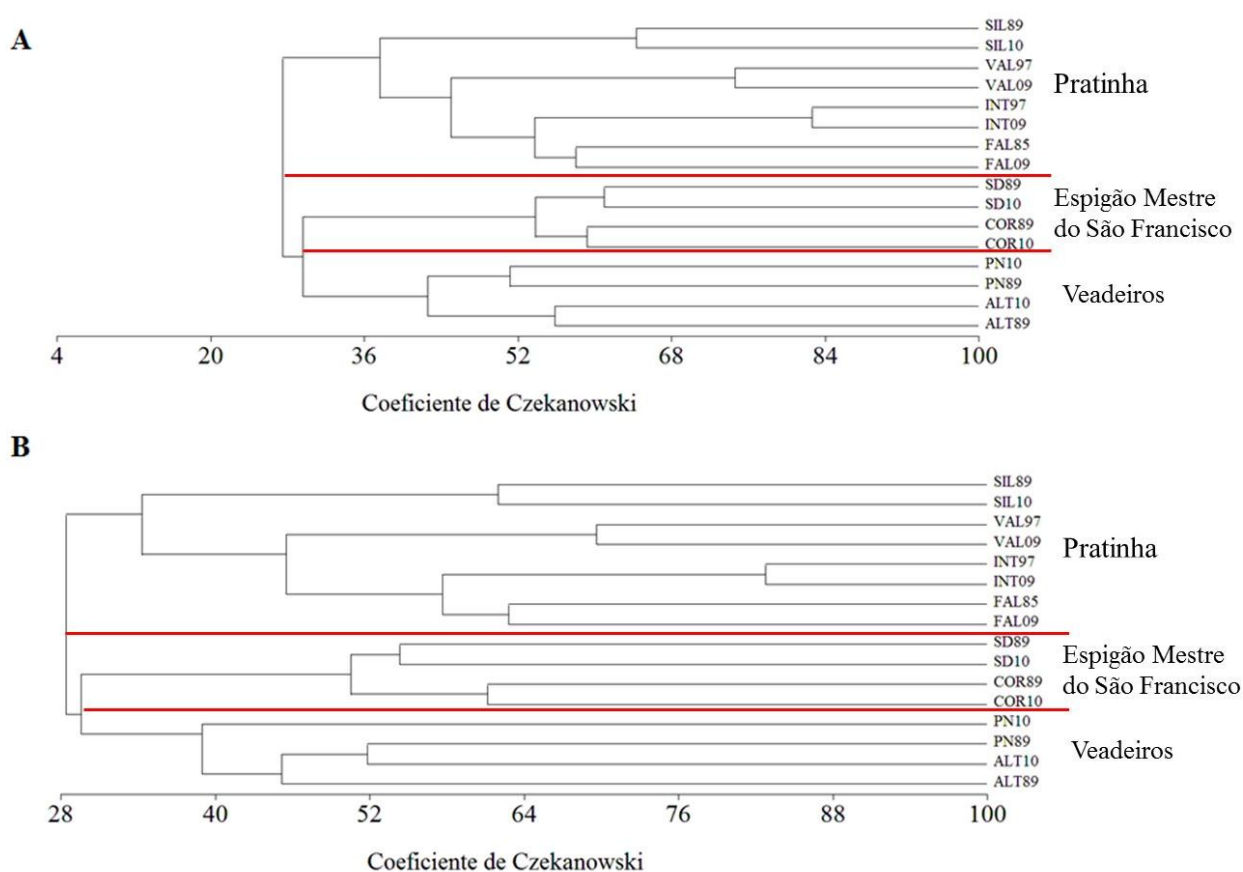


Figura 5: Dendrogramas de classificação da vegetação lenhosa de cerrado sentido restrito produzidos a partir do índice de Czekanowski. Classificação baseada nos dados de densidade (A) e dominância (B). Onde: 85, 89, 97, 09 e 10 são os anos de amostragem; ALT SIL=Silvânia; VAL=JBB-Vale; INT=JBB-Interflúvio; FAL=Fazenda Água Limpa; SD=São Desidério; COR=Correntina; PN=PARNA da Chapada dos Veadeiros; ALT=Alto Paraíso de Goiás.

A classificação pelo TWINSpan separou com autovalor significativo ($> 0,30$) (Felfili *et al.* 2007) os cerrados amostrados em Silvânia, PARNA da Chapada dos

Veadeiros, JBB-Interflúvio, JBB-Vale e FAL das demais áreas (Figura 6). Na segunda divisão Alto Paraíso foi separado dos cerrados de Correntina e São Desidério. A classificação corroborou os grupos gerados pelo índice de Sørensen e ressaltou peculiaridades florísticas em cada grupo.

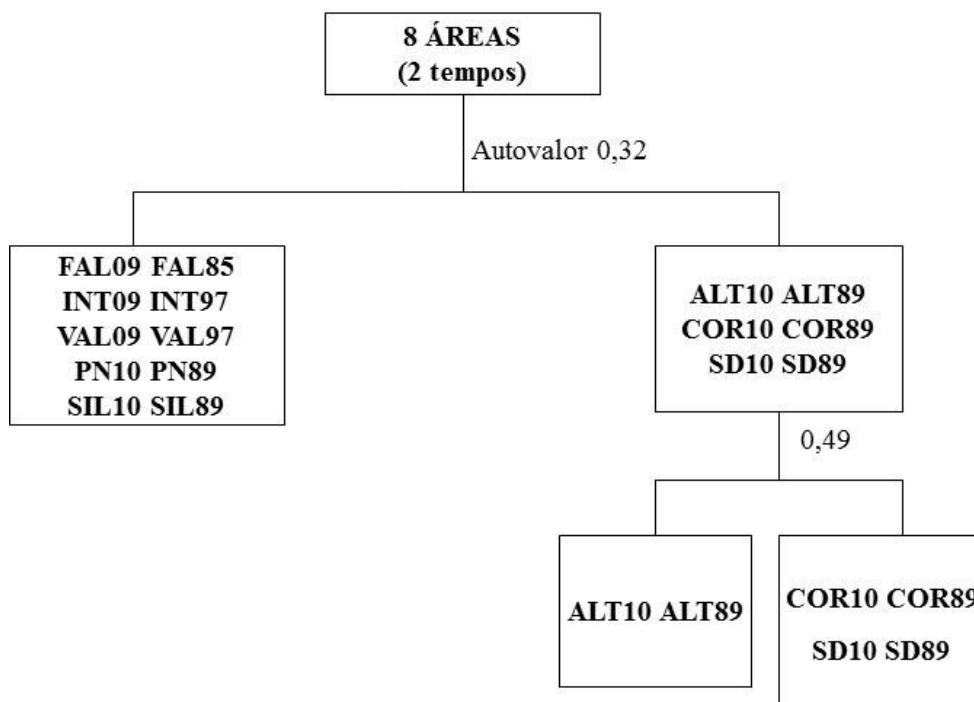


Figura 6: Classificação da vegetação lenhosa de cerrado sentido restrito pelo método TWINSpan. Onde: 85, 89, 97, 09 e 10 são os anos de amostragem; ALT SIL=Silvânia; VAL=JBB-Vale; INT=JBB-Interflúvio; FAL=Fazenda Água Limpa; SD=São Desidério; COR=Correntina; PN=PARNA da Chapada dos Veadeiros; ALT=Alto Paraíso de Goiás.

Apesar da alta similaridade florística entre as áreas de cerrado sentido restrito, seis espécies, a saber: *Acosmium dasycarpum* (Vogel) Yakovlev, *Aspidosperma tomentosum* Mart., *Byrsonima coccolobifolia* Kunth, *Ouratea hexasperma* (A. St.-Hil.) Baill., *Pouteria ramiflora* (Mart.) Radlk. e *Qualea parviflora* Mart. foram consideradas não preferenciais ou generalistas, pois ocorreram em todas as áreas e em todos os anos.

3.3 Biomassa

Na primeira amostragem, a biomassa aérea da vegetação lenhosa nas áreas de cerrado sentido restrito variou de 7,94 Mg.ha⁻¹ no JBB-Vale a 18,84 Mg.ha⁻¹ em Silvânia, na segunda amostragem estes valores variaram de 10,21 Mg.ha⁻¹ no PARNA da Chapada dos Veadeiros a 15,97 Mg.ha⁻¹ na FAL. Em 24 anos a biomassa aérea lenhosa na FAL aumentou significativamente (Figura 7), + 6,74 Mg.ha⁻¹, a taxa de incremento foi de 0,28 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹. No JBB-Vale também observou-se aumento significativo na biomassa aérea

lenhosa (Figura 7), em 12 anos o incremento foi de $3,53 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ com taxa de $0,29 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. No cerrado do PARNA da Chapada dos Veadeiros a biomassa aérea diminuiu significativamente em 21 anos ($- 7,26 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Figura 7). Para o período a taxa de perda foi $0,35 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$.

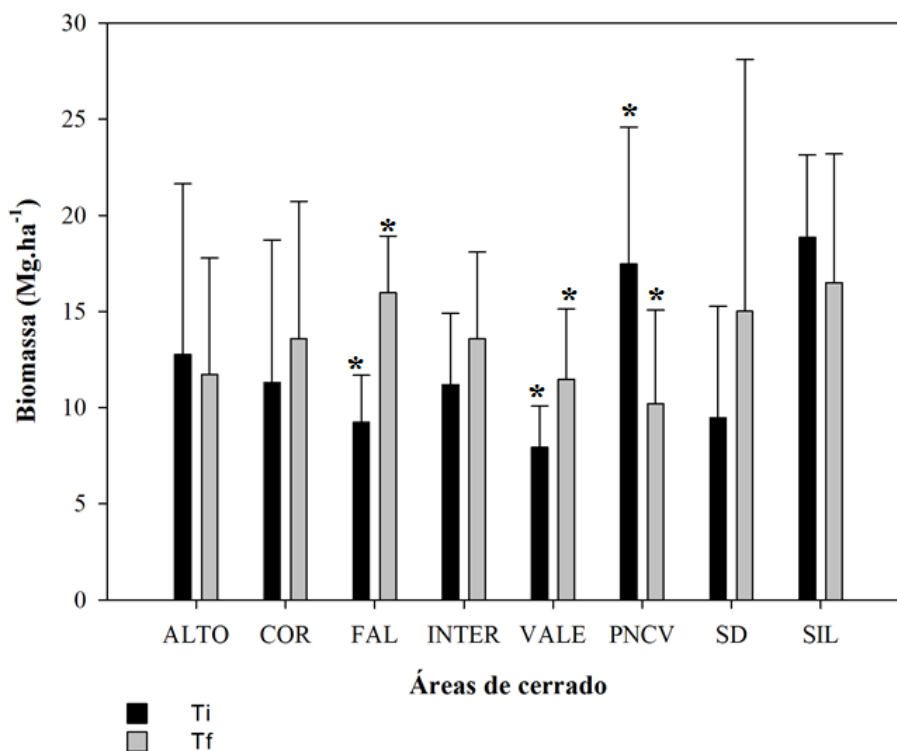


Figura 7: Variação temporal na biomassa aérea da vegetação lenhosa em cerrado sentido restrito. * Valores estatisticamente diferentes ($p < 0,05$). Onde: Ti=1^a amostragem; Tf=2^a amostragem.

Durante a primeira amostragem, os indivíduos lenhosos com diâmetro abaixo de 15 cm (classes de diâmetro 1 e 2) contribuíram com mais de 88,2% da densidade, 55,7% da área basal e 43,1% da biomassa aérea, e os menores valores foram encontrados em Correntina (Tabela 2). Na segunda amostragem, os indivíduos lenhosos com diâmetro < 15 cm contribuíram com mais de 86% da densidade, 44,3% da área basal e 30,9% da biomassa aérea lenhosa, e os menores valores foram encontrados em São Desidério (Tabela 2).

Tabela 2: Distribuição em classes de diâmetro dos parâmetros estruturais da vegetação lenhosa de cerrado sentido restrito. Onde: Ti= 1ª amostragem; Tf= 2ª amostragem. Onde: Classes de diâmetro (cm) 1=5,5-9,9; 2=10,0-14,9; 3=15,0-19,9; 4=20,0-24,9; 5=25,0-29,9 e 6=>30.

Áreas	Classes de Diâmetro (cm)	Densidade		Área Basal (m ²)		Biomassa (Mg)	
		Ti	Tf	Ti	Tf	Ti	Tf
Alto Paraíso	1	588	591	2,42	2,33	2,95	2,70
	2	186	179	2,11	2,11	3,50	3,19
	3	64	48	1,42	1,10	2,73	2,05
	4	18	17	0,68	0,67	1,39	1,47
	5	4	2	0,22	0,11	0,45	0,27
	6	5	8	0,50	0,72	1,74	2,03
Correntina	1	420	600	1,56	2,36	2,29	3,33
	2	133	153	1,48	1,68	2,58	2,79
	3	48	55	1,08	1,27	2,23	2,47
	4	15	27	0,59	1,03	1,63	2,17
	5	6	10	0,35	0,61	1,19	1,52
	6	5	6	0,41	0,50	1,38	1,32
FAL	1	827	1672	3,07	5,86	3,18	7,44
	2	193	239	2,16	2,64	3,11	4,00
	3	54	104	1,20	2,38	2,10	4,81
	4	36	32	1,36	1,18	2,91	2,93
	5	4	14	0,25	0,82	0,72	2,36
	6	7	7	0,66	0,73	1,82	2,42
JBB-Interflúvio	1	877	1032	3,44	3,98	3,37	4,11
	2	200	251	2,19	2,71	2,74	3,42
	3	63	58	1,45	1,33	2,67	2,41
	4	19	19	0,69	0,71	1,41	1,45
	5	7	14	0,39	0,79	0,90	1,88
	6	1	2	0,08	0,15	0,11	0,31
PNCV	1	770	729	3,07	2,72	4,13	2,81
	2	224	146	2,51	1,68	4,25	2,40
	3	82	57	1,82	1,25	4,06	2,12
	4	20	29	0,75	1,09	2,17	2,18
	5	5	3	0,27	0,18	0,79	0,36
	6	5	2	0,55	0,18	2,05	0,34
São Desidério	1	461	383	1,77	1,56	2,56	2,20
	2	136	109	1,52	1,17	2,96	1,97
	3	37	35	0,84	0,80	1,86	1,68
	4	11	28	0,41	1,08	0,98	2,39
	5	1	8	0,05	0,46	0,15	1,14
	6	0	9	0,00	1,09	0,00	4,11
Silvânia	1	742	872	2,98	3,41	3,95	4,11
	2	289	258	3,14	2,89	5,27	4,44
	3	93	77	2,04	1,72	4,01	3,05

Continua...

Áreas	Classes de Diâmetro (cm)	Densidade		Área Basal (m ²)		Biomassa (Mg)	
		Ti	Tf	Ti	Tf	Ti	Tf
Silvânia	4	29	21	1,07	0,85	2,26	1,70
	5	6	9	0,34	0,50	0,81	1,15
	6	3	2	0,27	0,20	0,65	0,40
JBB-Vale	1	766	652	2,77	2,57	3,01	2,94
	2	123	177	1,39	1,95	1,88	2,86
	3	32	39	0,74	0,92	1,31	1,77
	4	12	19	0,41	0,76	1,01	1,85
	5	3	9	0,18	0,54	0,47	1,29
	6	1	3	0,09	0,29	0,25	0,75

Do total de espécies amostradas, apenas 13 (7,2% do total) são representativas para o estoque de biomassa aérea lenhosa nas áreas de cerrado sentido restrito (Tabela 3), pois contribuíram com 10% ou mais da biomassa aérea lenhosa total em cada localidade. A densidade relativa destas espécies variou de 0,9%, *Emmotum nitens* em São Desidério (2010) a 26,1%, *Ouratea hexasperma* no JBB-Interflúvio (2009). Dentre as espécies representativas para biomassa, a família com maior número de representantes foi Vochysiaceae com quatro espécies: *Callisthene fasciculata*, *C. mollissima*, *Qualea grandiflora* e *Q. parviflora*, seguida por Myrtaceae com duas espécies: *Blepharocalyx salicifolius* e *Myrcia sellowiana*.

Tabela 3: Espécies com contribuição percentual $\geq 10\%$ dos valores de biomassa total em cada localidade. Entre parênteses estão os valores de densidade relativa. Onde: PNCV=Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros.

Espécies	Alto Paraíso		PNCV		Silvânia		JBB- Interflúvio		JBB-Vale		FAL		Correntina		São Desidério	
	1989	2010	1989	2010	1989	2010	1997	2009	1997	2009	1985	2009	1989	2010	1989	2010
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O. Berg								11,4 (3,3)								
<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.				15,9 (9,5)												
<i>Callisthene mollissima</i> Warm.	23,8 (24,6)	13,0 (12,4)	12,0 (15,2)													
<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers																16,8 (0,9)
<i>Eriotheca pubescens</i> (Mart. & Zucc.) Schott & Endl.									16,7 (8,3)	18,8 (12,0)						
<i>Hirtella gracilipes</i> (Hook. f.) Prance													11,3 (8,9)	10,1 (4,2)	11,4 (5,1)	
<i>Myrcia sellowiana</i> O. Berg																10,6
<i>Ouratea hexasperma</i> (A. St.-Hil.) Baill.									10,9 (26,1)							
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.					24,1 (15,7)	17,7 (12,8)					10,6 (7,8)					
<i>Qualea parviflora</i> Mart.		21,3 (14,6)	16,3	36,4 (25,5)	15,4 (11,4)					13,5 (5,3)	29,1 (10,9)			10,9 (7,4)		28,2 (12,9)
<i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel		10,0 (2,8)								11,0 (1,7)		15,5 (3,0)				17,4 (13,8)

Continua...

Espécies	Alto Paraíso		PNCV		Silvânia		JBB- Interflúvio		JBB-Vale		FAL		Correntina		São Desidério	
	1989	2010	1989	2010	1989	2010	1997	2009	1997	2009	1985	2009	1989	2010	1989	2010
<i>Terminalia fagifolia</i> Mart.													11,7			
													(2,5)			
<i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl												12,5				
												(1,6)				

A ordenação via NMDS mostrou que a segunda dimensional foi a que melhor explicou a variação no conjunto de dados (índice de *stress* 24,5; $p=0,004$ teste de aleatorização de Monte Carlo). Dois grupos bem distintos foram formados, um composto pelas áreas de cerrado sentido restrito localizadas em Silvânia, JBB (Interflúvio e Vale) e FAL, e outro composto por Correntina e São Desidério. Os cerrados amostrados no PARNA da Chapada dos Veadeiros e Alto Paraíso se diferenciaram das demais áreas e entre si (Figura 8).

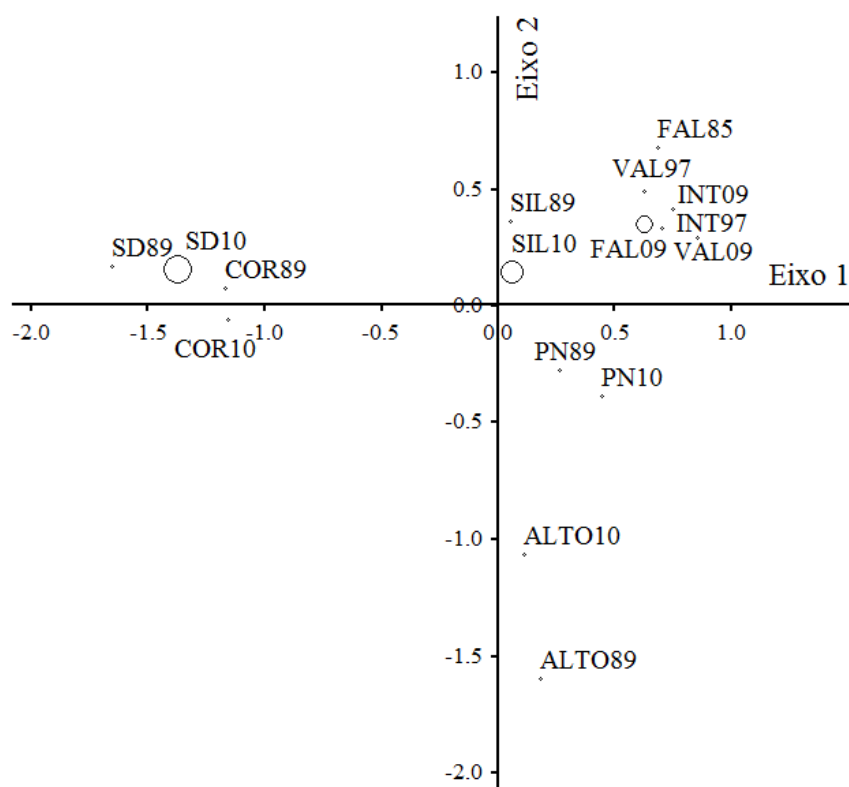


Figura 8: Diagrama de ordenação das áreas de cerrado sentido restrito por Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS). Onde: 85, 89, 97, 09 e 10 são os anos de amostragem; ALTO=Alto Paraíso de Goiás; PN=PARNA da Chapada dos Veadeiros; SIL=Silvânia; INT=JBB-Interflúvio; VAL=JBB-Vale; FAL=Fazenda Água Limpa; COR=Correntina; SD=São Desidério.

Todas as parcelas amostradas em Silvânia, JBB (Interflúvio e Vale) e FAL foram associadas aos Latossolos, solos com teor de argila entre 15% e 80% e teor de silte entre 10% e 20% (Reatto *et al.* 2008) (Anexo 2). Os solos coletados em Correntina e São Desidério apresentaram 100% das parcelas com teores de areia $\geq 72\%$ e percentual de silte $\leq 3,3\%$ (Anexo 2). Os solos coletados no PARNA da Chapada dos Veadeiros e Alto Paraíso de Goiás apresentaram ampla variação textural entre as parcelas. Em consideração aos teores de argila e silte definidos para Latossolos (Reatto *et al.* 2008), 30% das parcelas

amostradas em Alto Paraíso de Goiás e 40% das parcelas amostradas no PARNA da Chapada dos Veadeiros estão sobre Latossolos e as demais sobre solos arenosos (Neossolos) (Anexo 2). A biomassa aérea da vegetação lenhosa não foi correlacionada com a equitabilidade ($r=-0,11$; $p=0,14$) e apresentou baixa correlação com a diversidade ($r=0,28$; $p=0,0003$). Porém, a biomassa lenhosa foi correlacionada com riqueza, diâmetro, altura, densidade e área basal ($r \geq 0,49$; $p < 0,0001$).

Os dois primeiros eixos gerados pela CCA (Figura 9) explicaram 10,8% da variância dos dados (6,3% Eixo 1 e 4,5% Eixo 2). Estes dois eixos apresentaram autovalores 0,25 e 0,17, e as correlações espécie-ambiente foram de 0,80 e 0,91, respectivamente. O teste de Monte Carlo mostrou que as variáveis ambientais foram significativamente correlacionadas com as espécies ($p=0,03$).

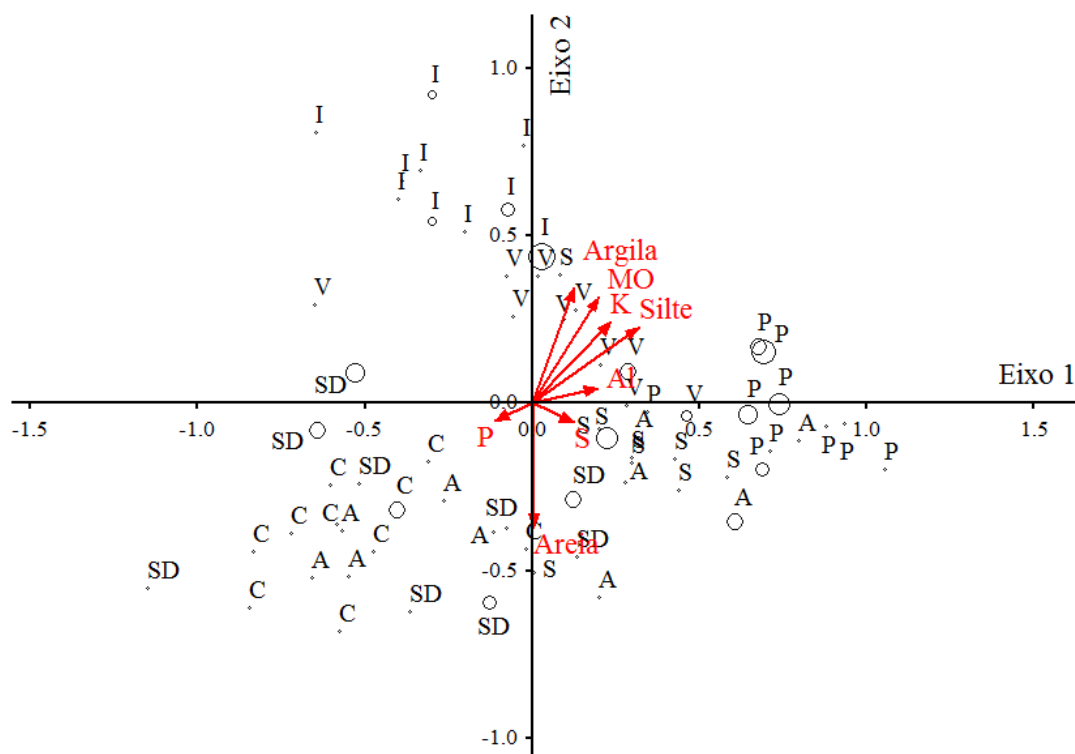


Figura 9: Diagrama de ordenação das áreas de cerrado sentido restrito por Análise de Correspondência Canônica (CCA). As letras representam as parcelas amostradas em A=Alto Paraíso, C=Correntina, I=JBB-Interflúvio, P=PARNA da Chapada dos Veadeiros, S=Silvânia, SD=São Desidério, V=JBB-Vale.

Apesar da variância explicada pelos eixos de ordenação ter sido baixa (10,8%) foi possível observar que as variáveis de maior influência na biomassa aérea lenhosa foram relacionadas com textura do solo e matéria orgânica (Figura 9). As áreas de cerrado associadas aos maiores teores de argila e matéria orgânica do solo estão localizadas no JBB

(Interflúvio e Vale) e os cerrados localizados em Correntina e São Desidério estão associados a solos com altos teores de areia.

4.0 Discussão

Os dados de riqueza encontrados corroboram que as espécies de cerrado sentido restrito apresentam distribuição em mosaico com combinação inferior a 120 espécies em cada localidade (Ratter *et al.* 1997, Libano & Felfili 2006). A riqueza e a diversidade das áreas sofreram pequenas modificações entre os levantamentos, de modo geral, o *turnover* de espécies foi baixo. Os menores valores de *turnover* foram observados nas áreas localizadas no JBB, fato provavelmente relacionado com o menor intervalo entre as amostragens (12 anos).

Apesar da entrada e saída de espécies ao longo do tempo e dos cerrados não estarem protegidos do fogo verificou-se alta similaridade florística (índice de Sørensen) entre as áreas. Outros estudos de longa duração realizados em áreas de cerrado corroboram que a vegetação lenhosa tende a manter sua composição florística ao longo do tempo mesmo sob frequência moderada de distúrbios como o fogo (Felfili *et al.* 2000, Libano & Felfili 2006).

Nos cerrados de Silvânia e PARNA da Chapada dos Veadeiros os indivíduos lenhosos da comunidade apresentaram diminuição significativa nos valores médios de diâmetro e altura em 21 anos. Em Silvânia quatro das nove parcelas amostradas estão localizadas na Floresta Nacional de Silvânia (FLONA) unidade de conservação com uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e pesquisa científica, e as demais parcelas estão no entorno da cidade. Observou-se sinais de corte seletivo de espécies nativas nas parcelas estudadas, além disso, a FLONA apresenta invasão por gramíneas exóticas, principalmente capim gordura, e plantações de *Pinus* sp. que invadiram as áreas de cerrado. A retirada das árvores de maior porte contribuiu para a redução no diâmetro e altura da comunidade, além disso, em longo prazo a presença de espécies invasoras pode descaracterizar e comprometer a regeneração da vegetação nativa.

O PARNA da Chapada dos Veadeiros é uma unidade de conservação que não está protegida do fogo. De acordo com Fiedler *et al.* (2006) entre 1992 e 2003 foram registradas 60 ocorrências de incêndios no interior do parque, a frequência do fogo é anual, 88% das causas dos incêndios são antrópicas e 64% dos incêndios ocorreram na época seca. Além disso, a maioria das parcelas amostradas está próxima à sede do parque, região com a segunda maior incidência de incêndios (Fiedler *et al.* 2006). Sugere-se que a alta

frequência de fogo contribuiu para a diminuição significativa no diâmetro e altura da comunidade lenhosa.

O cerrado no JBB-Vale apresentou aumento significativo nos valores médios de diâmetro e altura em 12 anos. Este cerrado ocorre próximo à mata de galeria do Córrego Gama Cabeça de Veado em condição topográfica em que o lençol freático foi inferido como superficial e sob baixa frequência de queimadas (Silva Júnior & Sarmento 2009). Provavelmente tais características favoreceram o aumento nos parâmetros biométricos da vegetação.

O aumento significativo nos valores de área basal e densidade registrado para os indivíduos lenhosos na FAL pode ter sido influenciado pelo fogo, pois a primeira amostragem foi realizada um ano após a ocorrência de uma queimada (Libano 2004). Com o tempo a baixa frequência local de fogo favoreceu o aumento em densidade e área basal.

Regimes de fogo exercem considerável controle sobre a proporção de plantas lenhosas e herbáceas no Cerrado (Mistry 1998, Moreira 2000) e a alta frequência de queimadas reduz a densidade e tamanho das plantas lenhosas (Hoffmann 1999). De acordo com Pivello & Coutinho (1992) intervalos de três anos entre queimadas sucessivas seria necessário e adequado para promover a ciclagem sem afetar negativamente o balanço nutricional do ecossistema. Os resultados apresentados mostraram que a baixa frequência de queimadas não afetou negativamente a estrutura das comunidades de cerrado.

A análise da distribuição diamétrica é importante ferramenta para a avaliação da estrutura de tamanho das comunidades vegetais. A frequência nas classes de diâmetro reflete a situação atual das comunidades em estudo, possibilita inferir sobre perturbações ocorridas como incêndios, desmatamentos, baixos índices de polinização e germinação, ataque de pragas, dentre outros, que se apresentam como descontinuidades na sequência de classes dos histogramas (Felfili & Silva Júnior 1988, Silva Júnior & Silva 1988). De modo geral, as distribuições de frequência nas classes diamétricas, para todas as áreas de cerrado, apresentaram elevada concentração de indivíduos nas menores classes e redução acentuada em direção às maiores, o que caracteriza a distribuição como exponencial negativa ou *J*-reverso. Com base nestas características o recrutamento é maior que a mortalidade e as comunidades podem ser consideradas auto regenerativas (Felfili & Silva Júnior 1988, Felfili 2001).

O índice de Czekanowski mostrou que as áreas estudadas apresentaram baixa similaridade entre si. Tais dados confirmam que a diversidade beta no cerrado é elevada quando aspectos estruturais como densidade e dominância são levados em consideração.

Assim, a maior diferenciação entre as comunidades está no tamanho das populações (Felfili & Silva Júnior 1993, 2005).

A classificação pelo TWINSpan revelou a formação de dois grupos com alta similaridade florística e estrutural entre si, um composto pelos cerrados amostrados na Chapada Pratinha sobre Latossolos (Silvânia, JBB-Vale, JBB-Interflúvio e FAL) e outro formado pelos cerrados localizados na Chapada do Espigão Mestre do São Francisco sobre Neossolos Quartzarênicos (Correntina e São Desidério). Os cerrados localizados na Chapada dos Veadeiros (Alto Paraíso de Goiás e PARNA da Chapada dos Veadeiros) apresentaram características intermediárias entre estes grupos. Verificou-se que estas áreas estão relacionadas com solos que possuem teores variáveis de argila e areia. Estes resultados ratificam a importância da textura dos solos na seleção de espécies e estruturação das comunidades de cerrado (Felfili *et al.* 2004).

Das 180 espécies amostradas em todas as áreas de cerrado sentido restrito nos dois períodos, apenas seis (3,3% do total) podem ser consideradas generalistas, pois ocorreram em todas as localidades estudadas. Estas espécies estão dentre as 38 espécies amplamente distribuídas no cerrado *sensu lato*, pois ocorreram em 50% ou mais das áreas analisadas por Ratter *et al.* (2003). As seis espécies consideradas generalistas devem ser priorizadas em futuros estudos sobre recuperação de áreas degradadas de cerrado sentido restrito, pois possuem atributos morfofisiológicos que lhes permitem desenvolver em diferentes tipos de solos e sobreviver a condições diversas de distúrbios.

As áreas de cerrado estudadas apresentaram biomassa aérea média 12,27 Mg.ha⁻¹ na primeira amostragem e 13,51 Mg.ha⁻¹ na segunda amostragem. Estes valores foram inferiores à biomassa aérea lenhosa média calculada para o cerrado sentido restrito em escala regional (24,25 Mg.ha⁻¹), resultado apresentado no Capítulo 1. É importante ressaltar que os dados compilados da literatura não foram amostrados com metodologia padronizada e incluem coletas em ecótonos Cerrado/Floresta Atlântica, o que provavelmente influenciou no maior valor médio calculado.

A amplitude dos valores de biomassa encontrada nas amostragens realizadas neste estudo está dentro do intervalo considerado representativo para o cerrado sentido restrito (10-20 Mg.ha⁻¹) (Resende & Felfili 2004). A ampla variação nos valores de biomassa é reflexo da variabilidade estrutural inata ao cerrado sentido restrito, fitofisionomia mais amplamente distribuídas no bioma Cerrado (PROBIO 2007), que pode ser encontrada em áreas de transição com biomas florestais como Floresta Amazônica e Floresta Atlântica, além disso, ocupa áreas com ampla variação na precipitação média anual (ver Capítulo 1).

Os cerrados amostrados na FAL e JBB-Vale apresentaram aumento significativo na biomassa aérea lenhosa. São áreas inseridas em unidades de conservação e experimentam baixa frequência de queimadas. Por outro lado, no cerrado do PARNA da Chapada dos Veadeiros a biomassa aérea lenhosa diminuiu significativamente, apesar de também estar em uma unidade de conservação, este cerrado experimenta alta frequência de queimadas (Fiedler *et al.* 2006). Assim, os dados corroboram que o fogo é importante agente na estruturação das comunidades de Cerrado (Mistry 1998, Moreira 2000). De acordo com Miranda *et al.* (2002), a vegetação do cerrado mostra-se resiliente ao fogo com frequência em intervalos de cinco anos, por outro lado regimes bianuais de fogo tendem a modificar a fisionomia para formações mais abertas.

Característica interessante observada foi que das 180 espécies amostradas, apenas 13 (7,2% do total) são representativas para o acúmulo de biomassa aérea lenhosa no cerrado sentido restrito. Destas, *Blepharocalyx salicifolius*, *Callisthene fasciculata*, *Emmotum nitens*, *Eriotheca pubescens*, *Hirtella gracilipes*, *Sclerolobium paniculatum*, *Terminalia fagifolia* e *Vochysia thyrsoidea* apresentaram densidade relativa média abaixo de 10% nas localidades de ocorrência, não são espécies amplamente distribuídas no cerrado (Ratter *et al.* 2003), porém geralmente são representadas por indivíduos de maior porte. Já as espécies *C. molissima*, *Myrcia sellowiana*, *Ouratea hexasperma*, *Qualea grandiflora* e *Q. parviflora* contribuíram com mais de 10% da densidade relativa nas localidades de ocorrência, a alta representatividade em número de indivíduos influenciou o acúmulo de biomassa destas espécies.

Dentre as espécies representativas para o acúmulo de biomassa, *O. hexasperma* e *Q. parviflora* também compõem o grupo de espécies generalistas nas comunidades de cerrado sentido restrito. Com base nestas informações sugere-se que estas espécies sejam incluídas em futuros estudos de avaliação de traços funcionais, além de variabilidade intraespecífica (Cianciaruso *et al.* 2009), que podem influenciar o funcionamento das comunidades de cerrado, por exemplo, ciclagem de nutrientes, resistência a perturbações e produtividade.

A análise dos dados corroborou que as comunidades de cerrado sentido restrito são caracterizadas principalmente por indivíduos lenhosos de pequeno porte com diâmetro abaixo de 15 cm (Felfili *et al.* 2000, Felfili 2008, Vale & Felfili 2005). Pelo fato de representarem a maioria dos indivíduos nas comunidades de cerrado, os indivíduos de pequeno porte são importantes para a manutenção dos estoques de biomassa aérea lenhosa e conseqüente funcionamento do ecossistema.

A ordenação via NMDS corroborou a classificação pelo TWINSpan, houve a formação de dois grupos, um composto pelas áreas de cerrado na Chapada Pratinha e outro composto pela Chapada do Espigão Mestre do São Francisco. Os cerrados da Chapada dos Veadeiros, Alto Paraíso de Goiás e PARNA da Chapada dos Veadeiros, foram intermediários entre os grupos formados, fato principalmente relacionado a alta variabilidade local na textura dos solos.

Estrutural e floristicamente os dois grupos formados apresentaram importantes diferenças, os cerrados sobre Latossolos apresentaram maior riqueza e diversidade de espécies. Os cerrados associados aos Latossolos possuem densidade $> 1.000 \text{ ind.ha}^{-1}$ e os cerrados sobre Neossolos Quartzarênicos abaixo de 800 ind.ha^{-1} , quanto à área basal em Latossolos os valores são superiores a $8 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ e em Neossolos Quartzarênicos abaixo de $7 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$.

Os dois primeiros eixos gerados na ordenação via CCA explicaram apenas 10,8% da variação na biomassa aérea lenhosa. As principais variáveis relacionadas com a biomassa lenhosa foram textura e matéria orgânica. Este resultado sugere que a biomassa é fruto da interação de mais fatores abióticos locais, sendo necessários outros estudos para investigar, por exemplo, a influência de temperatura e precipitação na variação da biomassa aérea lenhosa de cerrado sentido restrito.

Com base nas análises apresentadas tem-se que a vegetação lenhosa de cerrado sentido restrito pode armazenar ou liberar carbono principalmente na dependência da frequência de fogo. Onde as queimadas ocorreram em intervalos de cinco anos, FAL e JBB-Vale, os valores de biomassa aumentaram significativamente ao longo do tempo, a taxa média de incremento em carbono foi $0,13 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. É importante destacar que não se sabe a duração e a robustez deste dreno de carbono. A redução na frequência do fogo pode propiciar o crescimento de lenhosas, mas possivelmente a limitação local por nutrientes irá saturar este dreno. Faz-se necessário a continuidade dos estudos de longa duração visando diminuir as incertezas sobre o papel da vegetação de Cerrado no ciclo global de carbono.

5.0 Bibliografia

- APG III, 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161: 105-121.
- ARAGÃO, L.E.O.C. ET AL., 2009. Above- and below-ground net primary productivity across ten Amazonian forests on contrasting soils. *Biogeosciences* 6: 2759-2778.

- BAKER, T.R., O.L. PHILLIPS, Y. MALHI, S. ALMEIDA, L. ARROYO, A. DI FIORE, T. ERWIN, T.J. KILLEEN, S.G. LAURANCE, W.G. LAURANCE, S. LEWIS, J. LLOYD, A. MONTEAGUDO, D.A. NEILL, S. PATINO, N.C.A. PITMAN, J.M.N. SILVA, AND R.V. MARTINES, 2004. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass, *Global Change Biol.* 10: 545–562.
- CIANCIARUSO, M., I. SILVA, AND M. BATALHA, 2009. Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. *Biota Neotropica* 9: 1-11.
- COCHRANE, T.T., L.G., SANCHEZ, J.A., PORRAS, AND C.L. GARVER, 1985. Land in tropical America. CIAT-EMBRAPA-CPAC, Cali. (3 vols.).
- DA COSTA, A.C.L., D. GALBRAITH, S. ALMEIDA, B.T.T. PORTELA, M. DA COSTA, J.D.A. SILVA JUNIOR, A.P. BRAGA, P.H.L. DE GONÇALVES, A. A R. DE OLIVEIRA, R. FISHER, O.L. PHILLIPS, D.B. METCALFE, P. LEVY, AND P. MEIR, 2010. Effect of 7 yr of experimental drought on vegetation dynamics and biomass storage of an eastern Amazonian rainforest. *The New Phytologist* 187: 579-91.
- DAVIDSON, E. A., A.C. DE ARAÚJO, P. ARTAXO, J.K. BALCH, I.F. BROWN, M.M. C BUSTAMANTE, M.T. COE, R.S. DEFRIES, M. KELLER, M. LONGO, J.W. MUNGER, W. SCHROEDER, B.S. SOARES-FILHO, C.M. SOUZA, AND S.C. WOFSEY, 2012. The Amazon basin in transition. *Nature* 481: 321-328.
- DIAS, B.F.S. 2008. Conservação da biodiversidade no bioma Cerrado: histórico dos impactos antrópicos no bioma Cerrado. In FALEIRO, F.G., AND A.L. FARIAS NETO (Eds.). *Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados. p. 303-33.
- FEARNSIDE, P. 2008. Quantificação do serviço ambiental do carbono nas florestas amazônicas brasileiras. *Oecologia Brasileira* 12(4): 743-756.
- FELFILI, J.M., 2001. Distribuição de diâmetros de quatro áreas de cerrado *sensu stricto* na Chapada do Espigão Mestre do São Francisco. In FELFILI, J.M., AND M.C. SILVA JÚNIOR. *Biogeografia do bioma Cerrado: estudo fitofisionômico da Chapada do Espigão mestre do São Francisco*. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal. 152p.
- FELFILI, M.C., 2008. Proposição de critérios florísticos, estruturais e de produção para o manejo do cerrado *sensu stricto* do Brasil Central. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal. 133p.
- FELFILI, J.M., F.A. CARVALHO, AND R.F. HAIDAR, 2005. Manual para o monitoramento de nos biomas cerrado e pantanal. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal. 60p.
- FELFILI, J.M., F.A. CARVALHO, A.M. LIBANO, F. VENTUROLI, AND B.A.S. PEREIRA, 2007. Análise multivariada em estudos de vegetação. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal. 60p.
- FELFILI, J.M., F.A. CARVALHO, A.M. LIBANO, F. VENTUROLI, B.A.S. PEREIRA, AND E.L.M. MACHADO, 2011. Análise Multivariada: princípios e métodos em estudos de vegetação. In FELFILI, J.M., P.V. EISENLOHR, M.M.R.F. MELO, L.A. ANDRADE, AND J.A.A. MEIRA NETO (Orgs.). *Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de casos*. Volume I. Viçosa-MG, Editora da UFV.
- FELFILI, J.M., M. HARIDASAN, R.C. MENDONÇA, T.S. FILGUEIRAS, M.C. SILVA JÚNIOR, AND A.V. REZENDE. 1994. Projeto biogeografia do bioma Cerrado: vegetação e solo. *Caderno de Geociências* 12: 75-166.
- FELFILI, J.M., AND R.P. REZENDE, 2003. Conceitos e métodos em fitossociologia. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal. 68p.

- FELFILI, J.M., A. REZENDE, M.C. SILVA JÚNIOR, AND M. SILVA, 2000. Changes in the floristic composition of cerrado sensu stricto in Brazil over a nine-year period. *Journal of Tropical Ecology* 16: 579-590.
- FELFILI, J.M., A. REZENDE, AND M.C. SILVA JÚNIOR, 2007. *Biogeografia do bioma Cerrado: vegetação e solos da Chapada dos Veadeiros*. Brasília: Editora Universidade de Brasília. Finatec. 256p.
- FELFILI, J.M., AND M.C. SILVA JÚNIOR, 1988. Distribuição dos diâmetros numa faixa de cerrado na Fazenda Água Limpa (FAL) em Brasília-DF. *Acta botânica brasílica* 2(1-2):85-104.
- FELFILI, J.M., AND M.C. SILVA JÚNIOR, 1993. A comparative study of cerrado (*sensu stricto*) vegetation in Central Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 9: 277-289.
- FELFILI, J.M., AND M.C. SILVA JÚNIOR, 2001. *Biogeografia do bioma Cerrado: estudo fitofisionômico da Chapada do Espigão Mestre do São Francisco*. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal.
- FELFILI, J.M., AND M.C. SILVA JÚNIOR. 2005. Diversidade alfa e beta no cerrado *sensu strictu*, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Bahia. In SCARIOT, A., J. C. SOUSA-SILVA, and J. M. FELFILI (Ed.). *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.
- FELFILI, J.M., M.C. SILVA JÚNIOR, A.C. SEVILHA, C.W. FAGG, B. MACHADO, T. WALTER, AND P.E. NOGUEIRA, 2004. Diversity, floristic and structural patterns of cerrado vegetation in Central Brazil. *Plant Ecology*: 7-46.
- FIEDLER, N., D. MERLO, AND M. MEDEIROS, 2006. Ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás. *Ciência Florestal* 16: 153-161.
- GLOOR, M. ET AL., 2009. Does the disturbance hypothesis explain the biomass increase in basin-wide Amazon forest plot data? *Global Change Biology* 15: 2418-2430.
- GOEDERT, W.J., E. WAGNER, AND A.O. BARCELLOS. 2008. Savannas Tropicais: dimensão, histórico e perspectivas. In FALEIRO, G., AND A.L. FARIAS NETO (Ed.). *Savannas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*.
- GRACE, J., J. SAN JOSE, P. MEIR, H.S. MIRANDA, AND R.A. MONTES. 2006. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. *Journal of Biogeography* 33: 387-400.
- HESSEN, D.O., G.I. AGREN, T.R. ANDERSON, J.J. ELSER, P.C. DE, S. ECOLOGY, AND N. MAY, 2004. Carbon Sequestration in Ecosystems: The Role of Stoichiometry. *Ecology* 85: 1179-1192.
- KENT, M., AND P. COKER, 1992. *Vegetation description and analysis: a practical approach*. Belhaven Press: London. 363p.
- KOVACH, W.L. 1993. *MVSP – Multivariate Statistical Package, version 3.1*. Kovach Computing Services, Pentraeth.
- LIBANO, A.M. 2004. *Mudanças na composição florística e na fitossociologia da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto na Fazenda Água Limpa (FAL) DF, em um período de 18 anos (1985-2003)*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Instituto de Biologia, Departamento de Botânica, Brasília. 110 p.
- LIBANO, A.M., AND J.M. FELFILI, 2006. Mudanças temporais na composição florística e na diversidade de um cerrado sensu stricto do Brasil Central em um período de 18 anos (1985-2003). *Acta Botanica Brasilica* 20: 927-936.
- MAGURRAN, A.E., AND B.J. MCGILL, 2011. *Biological Diversity: frontiers in measurement and assessment*. Oxford University Press. 345p.
- MCCUNE, B. AND M.J. MEFFORD. 2006. *PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 5.12*. MjM Software, Glenden Beach, Oregon, U.S.A

- MEWS, H., B. MARIMON, L. MARACAHIPES, D. FRANSZAK, AND B. MARIMON-JUNIOR, 2011. Dinâmica da comunidade lenhosa de um cerrado típico na região Nordeste do Estado de Mato Grosso, Brasil. *Biota Neotrópica* 11: 1-10.
- MIRANDA, H.S., M.M.C. BUSTAMANTE, AND A.C. MIRANDA, 2002. The fire factor. *In* OLIVEIRA P.S., AND R.J. MARQUIS (eds.). *The Cerrados of Brazil*. Columbia University Press, N.Y. p.51-68.
- MISTRY, J., 1998. Fire in the cerrado (savannas) of Brazil: an ecological review. *Progress in Physical Geography* 22: 425-448.
- MOREIRA, A.G., 2000. Effects of Fire Protection on Savanna Structure in Central Brazil. *Journal of Biogeography* 27: 1021-1029.
- MÜLLER-DOMBOIS, D., AND H. ELLENBERG, 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. New York: J. Wiley & Sons. 574 p.
- NUNES, R.V., M.C. SILVA JÚNIOR, J.M. FELFILI, AND B.M.T. WALTER, 2002. Intervalos de classe para a abundância, dominância e frequência do componente lenhoso do cerrado sentido restrito no Distrito Federal. *Revista Árvore* 26(2): 173-182.
- PECK, J.E. 2010. *Multivariate Analysis for Community Ecologists: step-by-step using PC-Ord*. MjM Software Design, Gleneden Beach, OR. 162p.
- PIVELLO, V.R., AND L. COUTINHO, 1992. Transfer of macro-nutrients to the atmosphere during experimental burnings in an open cerrado (Brazilian Savanna). *Journal of Tropical Ecology* 8: 487-497.
- PROBIO. 2007. *Mapeamento da Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado. Relatório Final, Brasília-DF*.
- RATTER, J.A., S. BRIDGEWATER, AND J.F. RIBEIRO, 2003. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. *Edinburgh Journal of Botany* 60: 57-109.
- RATTER, J.A., J.F. RIBEIRO, AND S. BRIDGEWATER, 1997. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. *Annals of Botany* 80: 223-230.
- REATTO, A., J.R. CORREIA, S.T. SPERA, AND E.S. MARTINS. 2008. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. *In* SANO, S.M., S.P. ALMEIDA, AND J.F. RIBEIRO (Ed.). *Cerrado: ecologia e flora*. Embrapa – CPAC. Planaltina, DF, pp.109-149.
- RESENDE, A.V., AND J.M. FELFILI, 2004. Avaliação do estoque de carbono do Cerrado *sensu stricto* do Brasil Central. *Comunicações técnicas florestais* 6(2), 27p.
- REZENDE, A., A. VALE, C. SANQUETTA, A.F. FILHO, AND J.M. FELFILI. 2006. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF. *Scientia Forestalis* 71: 65-76.
- ROITMAN, I., J.M. FELFILI, AND A.V. REZENDE, 2008. Tree dynamics of a fire-protected cerrado *sensu stricto* surrounded by forest plantations, over a 13-year period (1991-2004) in Bahia, Brazil. *Plant Ecology* 197: 255-267.
- SANO, E.E., R. ROSA, J.L.S. BRITO, AND L.G. FERREIRA, 2010. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment* 166: 113-124.
- SCURLOCK, J.M.O., AND D.O. HALL. 1998. The global carbon sink: a grassland perspective. *Global Change Biology* 4: 229-233.
- SILVA JÚNIOR, M.C., AND A.F. SILVA, 1988. Distribuição dos diâmetros dos troncos das espécies mais importantes do cerrado na Estação Florestal de Experimentação de Paraopeba (EFLEX)-MG. *Acta Botânica Brasílica* 2(1-2): 107-126.
- SILVA JÚNIOR, M., AND T. SARMENTO, 2009. Comunidades lenhosas no cerrado sentido restrito em duas posições topográficas na Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília, DF, Brasil. *Rodriguésia* 60: 277-294.

- VALE, A.T., AND J.M. FELFILI, 2005. Dry biomass distribution in a cerrado *sensu stricto* site in Central Brazil. *Revista Árvore* 29: 661-669.
- VIEIRA, L., F.S. LOPES, W.D. FERNANDES, AND J. RAIZER, 2008. Comunidade de Carabidae (Coleoptera) em manchas florestais no Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil. *Iheringia. Série Zoologia* 98(3): 317-324.

Anexo 1: Lista florística das espécies amostradas em áreas de cerrado sentido restrito.

Famílias	Espécies
Anacardiaceae	<i>Anacardium occidentale</i> L. <i>Anacardium othonianum</i> Rizzini <i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng. <i>Lithrea molleoides</i> (Vell.) Engl. <i>Tapirira guianensis</i> Aubl.
Annonaceae	<i>Annona coriacea</i> Mart. <i>Annona crassiflora</i> Mart. <i>Cardiopetalum calophyllum</i> Schlttdl. <i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart. <i>Xylopia emarginata</i> Mart. <i>Xylopia sericea</i> A. St.-Hil.
Apocynaceae	<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart. <i>Aspidosperma parvifolium</i> A. DC. <i>Aspidosperma subincanum</i> Mart. ex A. DC. <i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart. <i>Hancornia speciosa</i> Gomes <i>Himatanthus drasticus</i> (Mart.) Plumel <i>Himatanthus obovatus</i> (Müll. Arg.) Woodson
Aquifoliaceae	<i>Ilex congesta</i> H.W. Li <i>Ilex pseudovaccinium</i> Reissek
Araliaceae	<i>Schefflera macrocarpa</i> (Cham. & Schlttdl.) Frodin <i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire, Steyerl. & Frodin
Asteraceae	<i>Eremanthus glomerulatus</i> Less. <i>Eremanthus goyazensis</i> (Gardner) Sch. Bip. <i>Piptocarpha rotundifolia</i> (Less.) Baker <i>Vernonia ferruginea</i> Less. = <i>Vernonanthura ferruginea</i> (Less.) H. Rob. <i>Wunderlichia mirabilis</i> Riedel ex Baker
Bignoniaceae	<i>Cybistax antisiphilitica</i> (Mart.) Mart. <i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos <i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S. O. Grose <i>Jacaranda cuspidifolia</i> Mart. <i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore
Calophyllaceae	<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc. <i>Kielmeyera lathrophyton</i> Saddi <i>Kielmeyera rubriflora</i> Cambess. <i>Kielmeyera speciosa</i> A. St.-Hil. <i>Kielmeyera variabilis</i> Mart. & Zucc.
Caryocaraceae	<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess. <i>Caryocar coriaceum</i> Wittm. <i>Caryocar cuneatum</i> Wittm.
Celastraceae	<i>Plenckia populnea</i> Reissek <i>Salacia crassifolia</i> (Mart. ex Schult.) G. Don <i>Salacia elliptica</i> (Mart. ex Schult.) G. Don
Chrysobalanaceae	<i>Couepia grandiflora</i> (Mart. & Zucc.) Benth. ex Hook. f. <i>Hirtella ciliata</i> Mart. & Zucc.

Continua...

	<i>Hirtella glandulosa</i> Spreng.
	<i>Hirtella gracilipes</i> (Hook. f.) Prance
Combretaceae	<i>Buchenavia capitata</i> (Vahl) Eichler
	<i>Terminalia argentea</i> Mart.
	<i>Terminalia brasiliensis</i> (Cambess. ex A. St.-Hil.) Eichler
	<i>Terminalia fagifolia</i> Mart.
Connaraceae	<i>Connarus suberosus</i> Planch.
	<i>Rourea induta</i> Planch.
Dilleniaceae	<i>Curatella americana</i> L.
	<i>Davilla elliptica</i> A. St.-Hil.
Ebenaceae	<i>Diospyros burchellii</i> Hiern
	<i>Diospyros hispida</i> A. DC.
	<i>Diospyros sericea</i> A. DC.
Emmotaceae	<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers
Ericaceae	<i>Agarista chapadensis</i> (Kin.-Gouv.) Judd
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum campestre</i> A. St.-Hil.
	<i>Erythroxylum daphnites</i> Mart.
	<i>Erythroxylum deciduum</i> A. St.-Hil.
	<i>Erythroxylum suberosum</i> A. St.-Hil.
	<i>Erythroxylum tortuosum</i> Mart.
Fabaceae	<i>Acosmium dasycarpum</i> (Vogel) Yakovlev = <i>Leptolobium dasycarpum</i> Vogel
	<i>Andira cujabensis</i> Benth.
	<i>Andira vermifuga</i> Mart. ex Benth.
	<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth
	<i>Cassia ferruginea</i> (Schrad.) Schrader ex DC.
	<i>Chamaecrista clausenii</i> (Benth.) H.S. Irwin & Barneby
	<i>Chamaecrista orbiculata</i> (Benth.) H.S. Irwin & Barneby
	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.
	<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.
	<i>Dimorphandra gardneriana</i> Tul.
	<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.
	<i>Dipteryx alata</i> Vogel
	<i>Enterolobium ellipticum</i> Benth.
	<i>Enterolobium gummiferum</i> (Mart.) J.F. Macbr. = <i>Pithecellobium gummiferum</i> Mart.
	<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne
	<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel
	<i>Machaerium opacum</i> Vogel
	<i>Mimosa clausenii</i> Benth.
	<i>Mimosa manidea</i> Barneby
	<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.
	<i>Pterodon emarginatus</i> Voge
	<i>Pterodon pubescens</i> (Benth.) Benth.
	<i>Sclerolobium aureum</i> (Tul.) Baill. = <i>Tachigali aurea</i> Tul.
	<i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel = <i>Tachigali vulgaris</i> L.F. Gomes da Silva & H.C. Lima

Continua...

	<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville
	<i>Stryphnodendron rotundifolium</i> Mart.
	<i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth.) Ducke
Lamiaceae	<i>Aegiphila lhotskiana</i> Cham.
	<i>Hyptidendron canum</i> (Pohl ex Benth.) Harley
Lauraceae	<i>Nectandra cissiflora</i> Nees
	<i>Nectandra lanceolata</i> Nees
Lecythidaceae	<i>Eschweilera nana</i> (O. Berg) Miers
Loganiaceae	<i>Strychnos pseudoquina</i> A. St.-Hil.
Lythraceae	<i>Lafoensia pacari</i> A. St.-Hil.
Malpighiaceae	<i>Byrsonima affinis</i> W.R. Anderson
	<i>Byrsonima coccolobifolia</i> Kunth
	<i>Byrsonima intermedia</i> A. Juss.
	<i>Byrsonima pachyphylla</i> A. Juss.
	<i>Byrsonima rotunda</i> Griseb.
	<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC.
	<i>Heteropterys byrsonimifolia</i> A. Juss.
Malvaceae	<i>Eriotheca gracilipes</i> (K. Schum.) A. Robyns
	<i>Eriotheca pubescens</i> (Mart. & Zucc.) Schott & Endl.
	<i>Pseudobombax longiflorum</i> (Mart. & Zucc.) A. Robyns
	<i>Pseudobombax tomentosum</i> (Mart. & Zucc.) Robyns
Marcgraviaceae	<i>Norantea adamantium</i> Cambess.
Melastomataceae	<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Steud.
	<i>Miconia burchellii</i> Triana
	<i>Miconia ferruginata</i> DC.
	<i>Miconia irwinii</i> Wurdack
	<i>Miconia pohliana</i> Cogn. = <i>Acinodendron pohlianum</i> (Cogn.) Kuntze
	<i>Mouriri glazioviana</i> Cogn.
	<i>Mouriri pusa</i> Gardner ex Gardner
	<i>Stenodon suberosus</i> Naudin
	<i>Tibouchina nodosa</i> Cogn.
Moraceae	<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O. Berg
	<i>Eugenia aurata</i> O. Berg
	<i>Eugenia dysenterica</i> DC.
	<i>Eugenia puniceifolia</i> (Kunth) DC.
	<i>Gomidesia lindeniana</i> O. Berg = <i>Myrcia lindeniana</i> (O. Berg) C. Wright
	<i>Hexachlamys edulis</i> (O. Berg) Kausel & D. Legrand = <i>Myrcianthes edulis</i> O. Berg
	<i>Myrcia canescens</i> O. Berg
	<i>Myrcia multiflora</i> (Lam.) DC.
	<i>Myrcia ochroides</i> O. Berg
	<i>Myrcia sellowiana</i> O. Berg
	<i>Myrcia subcordata</i> DC.
	<i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC.
	<i>Myrcia variabilis</i> DC.

Continua...

	Myrtaceae sp.
	<i>Psidium laruotteanum</i> Cambess.
	<i>Psidium myrsinites</i> Mart. ex DC.
	<i>Psidium pohlianum</i> O. Berg
Nyctaginaceae	<i>Guapira graciliflora</i> (Mart. ex J.A. Schmidt) Lundell
	<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lundell
	<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz
	<i>Neea theifera</i> Oerst.
	<i>Ouratea hexasperma</i> (A. St.-Hil.) Baill. = <i>Polyouratea hexasperma</i> (A. St.-Hil.) Tiegh.
Ochnaceae	<i>Ouratea parviflora</i> Engl
Olacaceae	<i>Heisteria ovata</i> Benth.
Opiliaceae	<i>Agonandra brasiliensis</i> Miers ex Benth. & Hook. f.
Pentaphragmaceae	<i>Ternstroemia carnosa</i> Cambess.
Primulaceae	<i>Cybianthus glaber</i> A. DC.
	<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze
Proteaceae	<i>Roupala montana</i> Aubl.
Rubiaceae	<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A. Rich. ex DC.
	<i>Ferdinandusa elliptica</i> (Pohl) Pohl
	<i>Palicourea rigida</i> Kunth
	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltld.) K. Schum.
Rutaceae	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.
Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.
Sapindaceae	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum marginatum</i> (Hook. & Arn.) Radlk.
	<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.
	<i>Pouteria torta</i> (Mart.) Radlk.
Simaroubaceae	<i>Simarouba versicolor</i> A. St.-Hil.
Solanaceae	<i>Solanum lycocarpum</i> A. St.-Hil.
Styracaceae	<i>Styrax ferrugineus</i> Nees & Mart.
	<i>Styrax subcordatus</i> Moric.
Symplocaceae	<i>Symplocos nitens</i> (Pohl) Benth.
	<i>Symplocos rhamnifolia</i> A. DC.
Vochysiaceae	<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.
	<i>Callisthene major</i> Mart
	<i>Callisthene mollissima</i> Warm.
	<i>Qualea grandiflora</i> Mart.
	<i>Qualea multiflora</i> Mart.
	<i>Qualea parviflora</i> Mart.
	<i>Salvertia convallariodora</i> A. St.-Hil.
	<i>Vochysia cinnamomea</i> Pohl
	<i>Vochysia elliptica</i> Mart.
	<i>Vochysia gardneri</i> Warm.
	<i>Vochysia haenkeana</i> Mart.
	<i>Vochysia rufa</i> Mart.
	<i>Vochysia thyrsoides</i> Pohl
	<i>Vochysia tucanorum</i> Mart.

Anexo 2: Variáveis químicas e físicas de 68 amostras de solo superficial (0-10 cm) coletadas em áreas de cerrado sentido restrito. Onde: INTER=JBB-Interflúvio; VALE=JBB-Vale; SIL=Silvânia; ALTO=Alto Paraíso de Goiás; PNCV=PARNA da Chapada dos Veadeiros; COR=Correntina; SD=São Desidério; MO=Matéria Orgânica.

Parcelas	pH (H ₂ O)	P	K	S	Ca	Mg	Al	MO	Silte	Areia	Argila
INTER 01	4,76	1,30	31,00	10,50	0,02	0,07	0,88	6,13	6,98	20,33	72,69
INTER 02	4,90	1,30	43,00	10,70	0,01	0,10	0,68	6,65	7,77	20,09	72,14
INTER 03	4,93	1,20	33,00	11,00	0,03	0,08	0,68	6,78	7,29	25,57	67,14
INTER 04	4,89	1,50	33,00	11,00	0,03	0,10	0,59	6,13	6,98	20,33	72,69
INTER 05	4,90	1,40	31,00	10,60	0,00	0,08	0,68	5,74	6,98	18,11	74,91
INTER 06	4,67	1,60	28,00	12,90	0,11	0,11	1,07	7,70	6,66	18,98	74,36
INTER 07	4,90	1,40	37,00	8,50	0,00	0,09	0,68	6,13	7,53	18,11	74,36
INTER 08	4,94	1,40	37,00	9,40	0,00	0,09	0,68	6,65	7,22	13,98	78,80
INTER 09	4,77	1,90	48,00	7,80	0,02	0,10	1,17	7,56	6,66	20,09	73,25
INTER 10	4,71	1,70	43,00	13,20	0,02	0,10	1,27	9,46	6,66	17,87	75,47
VALE 01	5,15	3,10	49,00	0,50	0,15	0,20	0,98	12,72	8,33	58,96	32,71
VALE 02	5,05	1,70	45,00	11,10	0,13	0,11	0,59	7,83	10,00	32,70	57,31
VALE 03	4,64	3,50	85,00	10,10	1,08	0,52	0,88	14,02	5,55	42,30	52,15
VALE 04	4,97	1,60	51,00	10,70	0,03	0,15	0,88	7,83	7,77	32,07	60,16
VALE 05	4,82	2,80	41,00	14,30	0,80	0,30	1,27	7,50	3,89	57,06	39,06
VALE 06	5,01	1,20	32,00	8,90	0,00	0,08	0,49	5,87	8,33	44,28	47,39
VALE 07	4,92	1,60	44,00	8,70	0,02	0,10	0,68	6,00	8,33	36,27	55,40
VALE 08	5,06	1,30	43,00	7,00	0,02	0,10	0,59	6,85	8,33	30,40	61,27
VALE 09	4,90	1,50	51,00	7,60	0,01	0,11	0,88	7,50	8,33	32,86	58,81
VALE 10	5,10	1,50	25,00	10,20	0,05	0,09	0,59	5,35	11,66	33,18	55,16
SIL 01	5,05	1,10	38,00	7,70	0,18	0,12	0,29	4,04	9,76	33,42	56,83
SIL 02	5,04	1,80	27,00	14,00	0,00	0,05	0,39	3,78	7,22	48,97	43,82
SIL 03	4,95	1,00	35,00	11,30	0,02	0,08	0,49	4,30	7,22	50,08	42,70
SIL 04	4,90	1,20	24,00	13,20	0,01	0,07	1,17	2,61	3,65	60,63	35,73
SIL 05	4,91	1,10	31,00	9,10	0,04	0,09	0,59	6,20	5,83	54,24	39,93
SIL 06	5,48	2,40	60,00	8,30	2,49	0,88	0,20	8,80	5,00	60,07	34,93
SIL 07	4,96	0,90	19,00	7,50	0,03	0,07	0,39	3,52	6,42	42,30	51,27
SIL 08	4,80	1,30	30,00	7,90	0,02	0,08	0,78	4,83	8,65	22,86	68,49
SIL 09	4,81	1,10	22,00	11,90	0,00	0,07	0,49	3,39	6,30	44,25	49,45
ALTO 01	4,72	4,00	18,00	8,90	0,13	0,08	0,88	1,43	3,33	91,01	5,66
ALTO 02	4,35	9,00	33,00	7,10	0,27	0,14	0,88	3,52	5,72	90,29	4,00
ALTO 03	4,89	2,90	27,00	17,30	0,15	0,14	1,07	2,48	1,67	88,15	10,18
ALTO 04	5,03	1,70	67,00	17,90	0,14	0,47	1,85	1,96	15,35	55,66	28,99
ALTO 05	4,97	2,80	64,00	17,80	0,03	0,15	1,85	2,74	11,35	63,48	25,17
ALTO 06	4,97	1,20	58,00	13,50	0,37	0,30	1,85	2,61	14,99	42,69	42,31
ALTO 07	4,63	2,00	30,00	20,00	0,02	0,06	1,66	4,04	3,33	83,47	13,20
ALTO 08	4,77	1,90	22,00	15,90	0,03	0,06	1,37	3,00	1,67	87,67	10,66
ALTO 09	4,70	1,30	20,00	14,40	0,04	0,06	1,27	3,00	1,67	87,67	10,66
ALTO 10	4,93	1,60	19,00	23,90	0,01	0,04	0,78	1,70	6,66	85,69	7,64
PNCV 01	4,80	1,10	27,00	13,30	0,04	0,07	1,07	6,00	8,89	59,11	32,00

Continua...

Continuação...

Parcelas	pH (H ₂ O)	P	K	S	Ca	Mg	Al	MO	Silte	Areia	Argila
PNCV 02	4,85	1,30	24,00	11,00	0,02	0,06	0,68	5,61	14,44	50,23	35,33
PNCV 03	4,87	0,80	25,00	7,30	0,00	0,07	0,68	5,35	11,11	52,13	36,76
PNCV 04	4,70	1,50	17,00	27,90	0,01	0,05	1,56	3,39	2,78	76,57	20,66
PNCV 05	4,80	1,50	23,00	25,10	0,00	0,05	1,56	3,52	11,11	67,68	21,21
PNCV 06	4,78	2,00	27,00	25,70	0,01	0,07	1,85	5,48	8,89	70,22	20,90
PNCV 07	4,85	1,10	29,00	15,60	0,00	0,06	1,27	4,83	7,22	61,33	31,45
PNCV 08	4,80	1,10	31,00	11,50	0,01	0,06	0,98	4,96	17,77	55,54	26,69
PNCV 09	4,17	6,50	62,00	20,10	0,06	0,13	3,22	8,48	6,66	76,96	16,38
PNCV 10	4,52	2,40	60,00	14,40	0,15	0,20	2,34	5,09	5,00	69,66	25,34
COR 01	4,87	1,80	9,00	9,00	0,05	0,05	0,39	1,04	2,22	90,84	6,94
COR 02	4,98	2,30	13,00	14,50	0,03	0,05	0,88	1,57	1,67	84,49	13,84
COR 03	4,97	2,20	10,00	10,30	0,19	0,06	0,59	1,57	1,49	88,26	10,25
COR 04	4,88	2,10	9,00	12,90	0,06	0,06	0,78	1,30	1,25	87,37	11,38
COR 05	4,80	2,40	14,00	14,00	0,05	0,06	0,88	1,70	1,35	88,38	10,27
COR 06	4,73	3,10	18,00	18,50	0,09	0,08	1,27	2,74	2,22	86,95	10,82
COR 07	5,00	2,20	10,00	9,80	0,08	0,05	0,59	1,17	1,67	89,93	8,41
COR 08	4,80	1,80	14,00	13,10	0,02	0,05	0,88	1,96	2,78	84,49	12,73
COR 09	5,00	1,70	9,00	12,40	0,06	0,05	0,68	0,26	0,56	88,70	10,75
COR 10	4,85	2,40	12,00	13,30	0,06	0,07	0,98	1,70	3,33	88,86	7,81
SD 01	4,70	1,80	9,00	6,40	0,13	0,11	0,39	1,43	2,22	79,34	18,43
SD 02	5,01	2,10	9,00	13,50	0,04	0,06	0,39	1,04	0,56	92,36	7,09
SD 03	4,75	1,10	7,00	9,60	0,01	0,05	0,88	1,96	2,54	80,06	17,40
SD 04	4,73	1,20	9,00	7,40	0,01	0,06	0,59	1,17	0,87	84,27	14,86
SD 05	4,64	1,30	7,00	6,90	0,06	0,06	0,78	1,57	2,22	80,93	16,84
SD 06	4,62	1,30	9,00	9,60	0,03	0,06	0,88	1,96	0,87	78,47	20,66
SD 07	4,93	2,80	13,00	15,90	0,06	0,11	0,78	1,96	1,43	81,73	16,84
SD 08	4,98	2,50	10,00	16,80	0,23	0,16	0,78	2,09	0,80	77,68	21,53
SD 09	4,90	4,50	20,00	19,70	0,17	0,21	1,17	3,00	1,67	72,12	26,21

CONCLUSÕES FINAIS

A proposta de realização desta tese surgiu a partir da necessidade de estudos que objetivassem diminuir incertezas sobre as estimativas de biomassa e estoque de carbono para o Cerrado, e também da necessidade de se compreender a variação espacial e temporal da biomassa vegetal neste bioma. A partir desta demanda, extenso levantamento na literatura foi realizado. A compilação e análise dos dados mostrou que há considerável número de estudos sobre estoque de carbono e biomassa no Cerrado, porém estes se concentraram principalmente na porção centro-sul do bioma. Dentre as formações vegetacionais, o cerrado sentido restrito foi a mais estudada, fato relacionado à alta representatividade natural desta fitofisionomia.

A maioria das equações alométricas mencionadas nos trabalhos utilizou como variáveis independentes o diâmetro e a altura da vegetação lenhosa, provavelmente devido à facilidade de coleta destas medidas em campo. Poucos estudos abordaram a densidade da madeira, com base nestes percebeu-se que dentre as espécies amplamente distribuídas no cerrado *sensu lato* têm-se representantes que possuem madeira dura, assim este parâmetro pode alterar as estimativas de estoque de carbono para o Cerrado. Com base nestas informações, destacamos a importância e a relevância de futuros estudos que objetivem compreender a variação na densidade da madeira de espécies com ampla distribuição no cerrado, além de sua relação com os fatores ambientais.

Com o levantamento de dados na literatura percebeu-se que o gradiente de adensamento da vegetação arbórea corresponde ao gradiente de biomassa aérea lenhosa que varia das formações campestres até as formações florestais. As formações savânicas e florestais são relevantes reservatórios de carbono na biomassa aérea lenhosa, já as formações campestres abrigam importantes estoques de carbono na porção subterrânea da vegetação. Tais resultados justificam a necessidade de conservação das várias formações vegetacionais do Cerrado, priorizando a manutenção de diferentes estoques de carbono e funcionamento do ecossistema.

Os maiores valores de biomassa aérea lenhosa de cerrado sentido restrito foram encontrados nas zonas de transição com os biomas florestais (Floresta Atlântica e Floresta Amazônica). Assim, estimativas baseadas apenas em amostragens realizadas nestes ecótonos superestimam os valores regionais de biomassa. Além disso, as áreas de cerrado localizadas no ecótono Cerrado/Floresta Amazônica devem ser priorizadas para a instalação de unidades de conservação visando a manutenção dos reservatórios de carbono.

As análises dos dados mostraram que para o cerrado típico a precipitação não é o principal determinante da variação de biomassa aérea da vegetação lenhosa. Além disso, destacamos a importância da sazonalidade, pois nas áreas de cerrado típico onde a seca é severa a quantidade de precipitação que cai durante o período seco é relevante para a manutenção dos estoques de carbono. Diante disso, as alterações previstas pelos modelos climáticos poderão alterar os estoques de carbono na porção aérea da vegetação lenhosa nestas áreas. Os dados corroboraram que a vegetação do Cerrado apresenta grande complexidade de determinantes e convivência histórica com o fogo, fatores que devem ser levados em consideração para a aplicação de mecanismos do tipo REDD e REDD+.

O levantamento de dados na literatura também revelou que os estudos sobre biomassa subterrânea no cerrado foram todos realizados em áreas sobre Latossolos. Com esta informação viu-se a necessidade de estudar a biomassa subterrânea em solos arenosos do Cerrado. A partir desta demanda amostramos a biomassa radicular de cerrado sentido restrito sobre Neossolos Quartzarênicos em Correntina e São Desidério, no oeste da Bahia. Os dados mostraram que as duas áreas não apresentaram diferenças significativas quanto à biomassa radicular, atribuiu-se este resultado à semelhança na textura dos solos que apresentaram alto teor percentual de areia. Além disso, Correntina e São Desidério são próximas geograficamente e estão sob condições abióticas muito semelhantes, fatores que provavelmente influenciaram o investimento em biomassa radicular.

A comparação dos dados de biomassa radicular coletada em Latossolos e Neossolos Quartzarênicos mostrou que, de modo geral, a vegetação de cerrado sobre Latossolos investe mais em biomassa subterrânea em relação ao cerrado sobre Neossolos Quartzarênicos. Porém, é importante destacar que os Neossolos Quartzarênicos são altamente susceptíveis a erosão, assim a presença da vegetação nestas garante a manutenção dos estoques de carbono e integridade dos solos. As raízes amostradas nos cerrados sobre Neossolos Quartzarênicos apresentaram altos estoques de nitrogênio. É importante ressaltar que os cerrados amostrados no oeste baiano estão inseridos em uma matriz ambiental fragmentada e circundada por monoculturas, principalmente de algodão. Acredita-se que há lixiviação de nutrientes advindos da fertilização destas culturas, sendo necessários estudos específicos para mensurar e avaliar o efeito deste aporte alóctone na estrutura e funcionamento da vegetação nativa.

O levantamento de dados realizado na literatura também mostrou a necessidade de estudos na porção nordeste do bioma. Além disso, o atual cenário de pressões de mudança de uso da terra no Cerrado ressalta a necessidade de desenvolvimento de tecnologias para o

monitoramento da vegetação em escala regional via sensoriamento remoto. Para tanto, o entendimento da variação da biomassa vegetal, e consequente estoque de carbono, são fundamentais. Assim, dados de copas da vegetação foram coletados em três ambientes distintos: cerrado sentido restrito na área *core* do bioma, cerrado em transição e floresta de transição no ecótono Cerrado/Floresta Amazônica.

A biomassa aérea da vegetação foi fortemente relacionada com área e volume das copas nos ambientes savânicos. Estes resultados são extremamente relevantes e servirão para calibrar algoritmos automáticos para detecção de copas em imagens de satélites de alta resolução e, conseqüentemente, aprimorar o monitoramento remoto do Cerrado.

Outra importante contribuição deste estudo foi que, em longo prazo, a vegetação lenhosa de cerrado sentido restrito pode armazenar ou liberar carbono na dependência da frequência de queimadas. Sugere-se que a ocorrência de queimadas em intervalos de cinco anos não compromete a manutenção dos estoques de carbono na vegetação nativa. Porém, faz-se necessário a continuidade destes estudos para se avaliar a duração e a robustez deste dreno de carbono no cerrado.