

ANAIS

# IX Simpósio de Pesquisa em Sistemas de Infraestrutura Urbana

02 e 03 de Outubro de 2023



Organizadores:

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cláudia Cotrim Pezzuto  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Elisabete P. G. de A. Jacintho  
Prof. Dr. Érico Masiero  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Renata Kelly Mendes Valente  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Adriana Goulart dos Santos  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Melissa Graciosa

## ORGANIZAÇÃO



## APOIO



## FICHA CATALOGRÁFICA

S588

Simpósio de Pesquisa em Sistemas de Infraestrutura Urbana (9. : 2023 : Online)  
Anais do IX Simpósio de Pesquisa em Sistemas de Infraestrutura Urbana, 02 e 03  
de outubro de 2023, Online / coordenação geral: Cláudia Cotrim Pezzuto. –  
Documento eletrônico.  
169 p.

Modo de acesso: Internet

Disponível em: <https://www.ppgeu.ufscar.br/pt-br/publicacoes/livros>  
Organizado por PUC Campinas, UFSCar, UFABC e UDESC. ISBN  
978-65-00-87150-0

1. Infraestrutura urbana. 2. Sustentabilidade. 3. Inovação tecnológica. 4.  
Planejamento I. Título.

CDD – 711 (20ª)

Ficha catalográfica elaborada na Biblioteca Comunitária da UFSCar  
Bibliotecário responsável: Arildo Martins - CRB/8 7180

ISBN

978-65-00-87150-0

Ficha Técnica

Diagramação: Elza Luli Miyasaka

Arte Capa: Luis Gustavo Lucatelli

## Coordenação Geral

Profª Drª Cláudia Cotrim Pezzuto

Profª Drª Ana Elisabete P. G. de A. Jacintho (vice coordenadora)

## Coordenação Científica

Prof Dr Érico Masiero

### Sub Coordenação Científica

#### TÓPICO 1: INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E INFRAESTRUTURA URBANA

Sub-coordenação: Profª Drª Renata Kelly Mendes Valente

Sub-coordenação Adjunta: Profª Drª Ana Elisabete P. G. de A. Jacintho

Temas: Tecnologia do Ambiente Construído; Materiais de Construção; Transferência de Calor; Mecânica dos Fluidos; Estruturas de Concreto; Desempenho Térmico e Mecânico de Materiais; Simulação do Desempenho Energético de Construções E Modelagem Energética de Edificações; Conforto Ambiental; Iluminação Natural e Artificial; Inteligência Artificial; Geomática; Topografia; Fotogrametria; Georreferenciamento; BIM; Geotecnia; Geotecnologias; Escoamentos com Superfície Livre.

#### TÓPICO 2: SUSTENTABILIDADE E INFRAESTRUTURA URBANA

Sub-coordenação: Profª Drª Adriana Goulart dos Santos

Sub-coordenação Adjunta: Profª Drª Melissa Graciosa

Temas: Engenharia Sanitária e Ambiental; Hidrologia; Modelagem Hidrológico-Hidráulica de Águas Urbanas; Sustentabilidade da Construção Civil; Materiais de Construção Sustentáveis; Resíduos Sólidos; Tratamento de Água; Gestão de Recursos Hídricos; Gestão de Riscos e Desastres; Hidrogeoquímica Isotópica; Tratamento Biológico de Esgotos; Planejamento e Gestão Ambiental; Política Ambiental; Saúde Ambiental; Saúde Pública; Geologia; Áreas Antropizadas; Áreas Degradadas; Contaminação de Solo e Água Subterrânea; Ecologia Aplicada às Águas Continentais.

#### TÓPICO 3: PLANEJAMENTO E INFRAESTRUTURA URBANA

Sub-coordenação: Prof Dr Érico Masiero

Sub-coordenação Adjunta: Profª Drª Cláudia Cotrim Pezzuto

Temas: Mobilidade Urbana; Infraestrutura de Drenagem; Águas Urbanas; Recursos Hídricos; Drenagem Urbana; Planos Urbanísticos; Desenho Urbano; Planejamento Urbano; Acessibilidade; Espaços Públicos; Mapeamento de Perigo de Inundação; Infraestrutura de Saneamento; Planejamento Urbano; Mobilidade Urbana; Documentação; Gestão Urbana; Habitação de Interesse Social; Déficit Habitacional; Climatologia Urbana; Conforto Ambiental Urbano.

## APRESENTAÇÃO

O “IX Simpósio de Pesquisa em Sistemas de Infraestrutura Urbana” apresenta uma fração das pesquisas relacionadas à infraestrutura urbana no Brasil, de forma que enfatiza a necessidade da sociedade em se adaptar às drásticas transformações mundiais. Além dos já conhecidos problemas enfrentados pela comunidade científica em relação à expansão urbana, à desigualdade social, à degradação ambiental, à produção e ao consumo energético, as mudanças climáticas se impuseram como paradigma.

É de fundamental importância apresentar resultados da produção científica nacional, principalmente aquela relacionada à adaptação do habitat, sobretudo, pelos impactos das inovações tecnológicas nas edificações, na infraestrutura e na gestão das cidades.

Este evento objetivou expor e debater pesquisas científicas consolidadas e em andamento realizadas em prol da apresentação de problemas e indicação de soluções para a infraestrutura urbana de cidades de grande, médio e pequeno portes, sempre visando a inovação, sustentabilidade e a resiliência.

O evento foi organizado e conduzido por integrantes da Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC Campinas), da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC Campus Joinville), da Universidade Federal do ABC (UFABC) com o apoio do Comitê da Bacia do Alto Tietê e da Associação dos Engenheiros da Sabesp (AESabesp).

Os anais estão organizados em três tópicos e os trabalhos tratam de temas específicos em cada tópico, ou seja:

### TÓPICO 1: INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E INFRAESTRUTURA URBANA

Tecnologia do Ambiente Construído; os Materiais de Construção; as Estruturas; Desempenho Térmico e Mecânico de Materiais; Simulação do Desempenho Energético de Construções e Modelagem Energética de Edificações; Conforto Ambiental; Iluminação Natural e Artificial; Inteligência Artificial; Geomática; Topografia; Fotogrametria; Georreferenciamento; BIM; Geotecnia; Geotecnologias; Escoamentos com Superfície Livre.

### TÓPICO 2: SUSTENTABILIDADE E INFRAESTRUTURA URBANA

Temas: Engenharia Sanitária e Ambiental; Hidrologia; Modelagem Hidrológico-Hidráulica de Águas Urbanas; Sustentabilidade da Construção Civil; Materiais de Construção Sustentáveis; Resíduos Sólidos; Tratamento de Água; Gestão de Recursos Hídricos; Gestão de Riscos e Desastres; Hidrogeoquímica Isotópica; Tratamento Biológico de Esgotos; Planejamento e Gestão Ambiental; Política Ambiental; Saúde Ambiental; Saúde Pública; Geologia; Áreas Antropizadas; Áreas Degradadas; Contaminação de Solo e Água Subterrânea; Ecologia Aplicada às Águas Continentais.

### TÓPICO 3: PLANEJAMENTO E INFRAESTRUTURA URBANA

Temas: Mobilidade Urbana; Infraestrutura de Drenagem; Águas Urbanas; Recursos Hídricos; Drenagem Urbana; Planos Urbanísticos; Desenho Urbano; Planejamento Urbano; Acessibilidade; Espaços Públicos; Mapeamento de Perigo de Inundação; Infraestrutura de Saneamento; Planejamento Urbano; Mobilidade Urbana; Documentação; Gestão Urbana; Habitação de Interesse Social; Déficit Habitacional; Climatologia Urbana; Conforto Ambiental Urbano.



A cada edição, o rol de assuntos aumenta, simultaneamente à nossa visibilidade e responsabilidade como cientista.

Os resultados deste evento podem ser conferidos nestes anais, os quais foram organizados a partir de uma criteriosa avaliação de trabalhos acadêmicos produzidos majoritariamente por pesquisadores brasileiros.

Esperamos que esta coletânea de artigos possa contribuir para o aprimoramento de técnicas, de métodos e de soluções para nossas cidades, bem como seja uma referência para os setores público e privado no processo de tomada de decisões.

Prof. Dr. Érico Masiero

Prof. Dra. Claudia Cotrim Pezzuto

Outubro 2023

## SUMÁRIO

1. Estudo da dosagem de concreto de alto desempenho (CAD) com utilização de sílica da casca do arroz e otimização do consumo de cimento Portland para aplicação em pilares .....	9
2. Levantamento de parâmetros otimizados no cultivo de microalgas para desenvolvimento de fotobiorreator .....	16
3. Ensaios experimentais com vigas de concreto armado com barras de gfrp.....	20
4. Aplicação dos métodos CBR e MeDiNa em uma amostra de solo tropical. ....	25
5. Estratégia para Arborização utilizando Tecnologia de Ciclo de Luz Controlado e LEDs Full Spectrum.....	30
6. Avaliação de sistema de medição de consumo hídrico por variação de nível em reservatório.....	35
7. Estabilização Mecânica e Química de Solo Argiloso Retrátil do Sul do Brasil.....	40
8. Infraestrutura e sustentabilidade: uma revisão sistemática sobre a intersecção de aspectos, avanços e aplicações .....	45
9. Projeto de biodigestor e fotobiorreator para produção e purificação de biogás a partir da codigestão anaeróbia .....	50
10. Estudo do comportamento mecânico da mistura solo e agregado reciclado da construção civil para utilização em vias não pavimentadas .....	54
11. Uso do software InVEST na avaliação por Serviços Ecossistêmicos nas ciências ambientais .....	59
12. Análise de desempenho mecânico do uhpc com adição de fibra pva e uso de resíduo de louça sanitária .....	63
13. Viabilidade técnica do resíduo de estação de tratamento de água calcinado como material cimentício suplementar.....	68
14. Análise da influência dos processos de cura térmica no desempenho do uhpc – uma revisão sistemática .....	72
15. Aplicação de análise envoltória de dados para avaliar a eficiência na prestação do serviço de manejo de resíduos sólidos urbanos dos municípios catarinenses com até 30.000 habitantes .....	77
16. Uso de wetlands para tratamento de esgoto. ....	82
17. Avaliação de Impactos Ambientais simplificada na Luvas Mineradora – Uberlândia-MG .....	86
18. Uso de tecnologias para gestão hídrica em ambientes urbanos e cidades inteligentes .....	90
19. Análise Multicritério e Geoprocessamento no Planejamento do Sistema de Espaços Livres Urbano. ....	94
20. Arborização no semiárido: Estudo de espaços públicos de lazer na cidade de Pau dos Ferros/RN.....	99
21. Influência das safras agrícolas na formação de ilhas de calor urbano.....	104

22. Análise Bibliométrica aplicada ao estudo de Ilhas de Calor Urbanas nos Distritos Industriais.....	108
23. O agrupamento de cidades similares como suporte para avaliação de cidades inteligentes. ....	114
24. Análise comparativa entre métodos de dimensionamento de pavimento flexível. Estudo de caso: Estrada municipal Boa Esperança em Campinas-SP.....	119
25. Cidades de pequeno porte e as barreiras para a mobilidade sustentável.....	124
26. Sistemas de drenagem sustentável e de infraestrutura verde-azul como alternativa ao uso exclusivo de piscinões: o caso da praça São Crispim.....	128
27. Índice de Integridade Biótica – estudo preliminar para Sorocaba - SP.....	133
28. Instrumento de avaliação da percepção de seguridade de pedestres no espaço urbano baseado no método AHP.....	137
29. Oferta de infraestrutura urbana e qualidade do ambiente urbano: diferenças a partir de dois estudos de caso - Conjunto Habitacional Sírius, Campinas/SP-BR e Conjunto Habitacional Västra Kattarpsvägen, Malmö/M-SE.....	142
30. Estabilização Mecânica e Química de Solo Argiloso Retrátil do Sul do Brasil	147
31. Desenvolvimento do sistema de gestão de energia (SGE) com implantação de indicadores de energia para tomada de decisão, aplicado a campus universitário .....	152
32. Desenvolvimento de um sensor eletroquímico para detecção de antibióticos em águas naturais .....	158
33. Índice de Perdas na rede de distribuição de água dos municípios das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá .....	160
34. Déficit Habitacionais: Análise e Verificação do método da Fundação João Pinheiro contraposto ao levantamento de campo .....	162
35. Análise da eficiência de sistemas de infraestrutura verde no manejo de águas pluviais para microbacias urbanas.....	164
36. Transição de sistemas sociotécnicos de infraestrutura urbana como perspectiva para uma governança metropolitana colaborativa .....	166
37. Condutividade térmica de concretos produzidos com RCD.....	167



# Estudo da dosagem de concreto de alto desempenho (CAD) com utilização de sílica da casca do arroz e otimização do consumo de cimento Portland para aplicação em pilares

**C.B. das Mercês<sup>1</sup>, R. Neves<sup>2</sup>, D. Ganasini<sup>3</sup>, C. Effting<sup>4</sup>, A. Schackow<sup>5</sup>**

1. Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, clovismerces.engengariacivil@gmail.com, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.
2. Engenheiro Civil, nevesruann@gmail.com, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.
3. Mestra, debiganasini@gmail.com Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.
4. Professora Doutora, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, carneane.effting@udesc.br, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.
5. Doutor, Departamento de Engenharia Civil, adilson.schackow@udesc.br, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

## Resumo:

O presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo sobre a dosagem de concretos de alto desempenho utilizando sílica da casca de arroz. Foram avaliados dois tipos de aditivos superplastificantes: o aditivo A e o aditivo B. A sílica da casca de arroz utilizada foi caracterizada através de sua composição química por fluorescência de raios-X e determinação do índice de desempenho com cimento Portland. A consistência dos concretos foi verificada através do abatimento de tronco de cone. No estado endurecido, foram realizados ensaios de resistência à compressão, absorção de água, índice de vazios e massa específica. Com os resultados obtidos, foi desenvolvida uma análise estatística incluindo intervalo de confiança Bootstrap e análise de variância multivariada (MANOVA). Foram executados cálculos estruturais comparativos entre o concreto de alto desempenho com maior resistência e um concreto convencional de 30 MPa, comprovando a viabilidade do material produzido. Pode-se constatar ainda a redução do consumo de cimento Portland, quando comparadas as categorias de concreto estudados.

**Palavras-chave:** CAD, otimização do consumo, cimento Portland.

## 1. Introdução

O concreto é o material de construção mais utilizado no mundo. Suas propriedades permitem com que ele seja uma ótima opção para os mais variados tipos de obras. Apesar disso, o advento de edifícios cada vez mais altos e arrojados exigiu o desenvolvimento de misturas com características técnicas e econômicas superiores ao concreto convencional. Para proporcionar projetos cada vez mais desafiadores, com elevadas solicitações mecânicas, físicas e químicas, desenvolveu-se o Concreto de Alto Desempenho (CAD, ou em inglês High Performance Concrete - HPC).

O CAD é um material que apresenta seu comportamento em um patamar bem mais elevado do que os concretos convencionais. Além de elevada resistência mecânica, ainda possui boa trabalhabilidade, qualidade estética, um bom acabamento e principalmente grande durabilidade

(Tutikian, 2011). O concreto de alto desempenho veio suprir a necessidade por estruturas duráveis (Aitcin, 1998).

De maneira geral, para conseguir uma melhoria efetiva nessas propriedades do concreto, é necessário diminuir a porosidade da mistura através da redução do fator água/cimento, do diâmetro máximo dos agregados graúdos e da quantidade total de água, utilização de aditivos superplastificantes e incorporação de adições minerais como a sílica ativa, o metacaulim ou a cinza de casca de arroz (Tutikian, 2011).

As adições minerais, podem ser utilizadas em substituição parcial ao cimento Portland, modificam as características microestruturais e as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido, e elevam as características técnicas do cimento (Senff, 2010; Dal Molin, 2011).

Nesse sentido, o uso de concretos com maiores resistências, tem grande importância para a redução do consumo do cimento Portland. Enquanto um concreto de 20 MPa consome cerca de 12KG de cimento/MPa, um concreto com 50 MPa consome cerca de 6 a 8 KG de cimento/MPa, por exemplo (Ribeiro, 2021).

Hoje, no cenário mundial observam-se obras emblemáticas em CAD. Pode-se citar o edifício Burj Khalifa, que leva o título de mais alto do mundo, ostentando 828 metros de altura e 160 pavimentos. No entanto, este material ainda tem um grande potencial a ser explorado, já que seu uso se limita a obras especiais (Mehta & Monteiro, 2014).

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um CAD utilizando sílica da casca do arroz e analisar seu emprego em pilares. Os concretos produzidos foram avaliados no estado fresco e no estado endurecido. Com os resultados obtidos foi realizada uma análise estatística incluindo análise de variância multivariada (MANOVA) e intervalo de confiança Bootstrap. Por fim, foi efetuado um cálculo estrutural comparativo entre concreto de alto desempenho e concreto convencional, verificando a redução da área de concreto em pilares e a redução de armaduras quando a seção do elemento é mantida constante, comprovando a eficácia e os benefícios de sua utilização.

## 2. Metodologia

A metodologia para o desenvolvimento do estudo da dosagem de concretos de alto desempenho com adição de



cinza de casca de arroz incluiu uma análise do tipo experimental, com posterior análise estatística dos resultados.

Foram realizadas duas misturas de CAD: uma delas com o aditivo A e outra com o aditivo B. Com os concretos produzidos foram avaliadas as propriedades físicas e mecânicas no estado fresco e no estado endurecido.

Os materiais utilizados para confecção dos concretos de alto desempenho foram: cimento Portland CPV ARI, conforme especificações da NBR 16697 (2018); areia de rio extraída da região nordeste de Santa Catarina com módulo de finura igual a 2,92; brita 0, com diâmetro máximo limitado em 9,5 mm e módulo de finura igual a 5,95; sílica ativa da casca de arroz, obtida pela queima controlada em sistema de combustão via leito fluidizado; água potável fornecida pela concessionária local e aditivos superplastificantes.

A areia e a brita foram previamente lavadas em peneiras com abertura igual a 0,3 mm e 2,36 mm, respectivamente, para remoção do material pulverulento e das partículas muito finas, com posterior secagem em temperatura ambiente. De acordo com Aitcin (1998), a remoção do material pulverulento é uma etapa importante, pois ele consome parte da água de amassamento da mistura, prejudicando a hidratação dos componentes e a trabalhabilidade do concreto no estado fresco, o que é extremamente negativo para o CAD, onde os traços já possuem quantidades de água bastante reduzidas.

Foram utilizados dois tipos de aditivos superplastificantes para a produção dos concretos: o aditivo A composto de polímeros de polietercarboxilatos e o aditivo B com composição à base de naftaleno sulfonato e resinas melamínicas.

A sílica da casca de arroz foi caracterizada através da composição química por fluorescência de raios-X (Shimadzu EDX-90) e determinação do índice de atividade pozolânica com cimento Portland aos 28 dias, de acordo com a NBR 5752 (2014a). Este ensaio consiste na verificação da resistência à compressão de duas argamassas: uma argamassa padrão com cimento CP II-F 32, areia normal e água; e uma argamassa com 25% de substituição em massa do cimento por sílica da casca de arroz. Foram moldados 5 corpos de prova cilíndricos de 50 mm x 100 mm para cada argamassa.

Os concretos de alto desempenho foram produzidos a partir de um traço adaptado de Mehta e Monteiro (2014). A Tabela 1 apresenta a dosagem dos materiais utilizados.

A produção dos concretos foi realizada em uma betoneira de eixo inclinado, seguindo as recomendações da NBR 12821 (2009). Para cada mistura, foram moldados 8 corpos de prova cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Os corpos de prova foram adensados mecanicamente em uma mesa vibratória e posteriormente curados em um tanque com água saturada de hidróxido de cálcio, a 23°C.

Com os concretos no estado fresco foi feita a análise do índice de consistência através do ensaio de abatimento de tronco de cone (Slump test), de acordo com a NBR NM 67 (1998).

No estado endurecido, foram avaliados 6 corpos de prova para determinação da resistência à compressão aos 7 dias e aos 28 dias e 2 corpos de prova para a determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.

Para o ensaio de resistência à compressão foi utilizada uma prensa hidráulica com capacidade igual a 200 toneladas. Os corpos de prova foram previamente retificados e encontravam-se na condição saturada. O carregamento foi aplicado a uma taxa constante de 0,45 MPa/s até verificar a ruptura de cada amostra.

A determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica foi realizada segundo as especificações da NBR 9778 (2009).

Os resultados obtidos experimentalmente foram submetidos a análises estatísticas, incluindo análise de variância multivariada (MANOVA) e intervalo de confiança Bootstrap, realizadas com auxílio do software R (R CORE TEAM, 2017).

A MANOVA permite analisar o efeito de uma ou mais variáveis independentes na combinação linear de duas ou mais variáveis dependentes (Rahai et al., 2015). Esta análise foi utilizada para verificar o efeito significativo dos aditivos utilizados, nos resultados de resistência à compressão aos 28 dias e de absorção de água.

O nível de significância definido para este estudo estatístico foi igual a  $\alpha=0,05$ . A análise da significância foi realizada com auxílio do teste de Wilks.

Para os resultados da resistência à compressão foram determinados os intervalos de confiança com auxílio da técnica de reamostragem Bootstrap. O método Bootstrap consiste na simulação de um grande número de amostras por reamostragem dos dados originais com substituições. A técnica normalmente fornece resultados mais precisos e robustos do que os métodos tradicionais (Kass et al., 2014; Di Bella et al., Izquierdo & Ramalho).

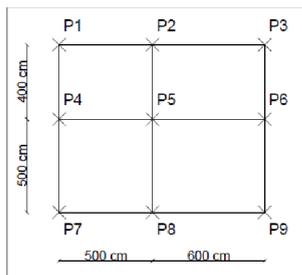
O intervalo de confiança foi definido pelo método dos percentis, com um nível de confiança de 95% e 500 reamostragens Bootstrap.

Para avaliar a aplicabilidade dos concretos de alto desempenho em pilares foi realizado um estudo comparativo entre a mistura que apresentou a maior resistência à compressão e um concreto convencional, com fck igual a 30 MPa.

Foram realizadas duas análises de aplicação dos concretos em pilares: na primeira análise foi considerada apenas a redução da área da seção transversal de um pilar através do emprego do CAD; e na segunda análise foi verificada a variação da taxa de armadura utilizada para os dois concretos, fixando a área da seção do pilar. Todos os cálculos foram realizados segundo a NBR 6118 (2014b).

Considerou-se um edifício com 20 pavimentos tipo, carregamento médio de 10 KN/m<sup>2</sup>, pé direito igual a 3 metros, vigas com dimensões de 50 cm x 20 cm e uma classe de agressividade ambiental do tipo II. As análises foram realizadas no pavimento mais solicitado, o pavimento térreo.

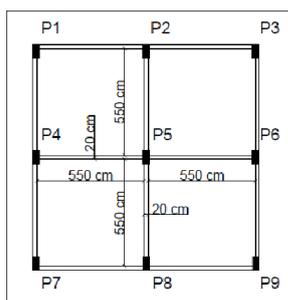
Na primeira análise, foi realizado um pré-dimensionamento da área de concreto necessária para o pilar mais solicitado, representado por P5 na Figura 1.



**Figura 1-** Planta baixa com a localização de pilares.

A área de concreto necessária para cada material foi encontrada por meio da área de influência, através de uma estimativa de cargas.

Na segunda análise foi utilizada a planta de forma da Figura 2 para determinação das taxas de armaduras necessárias para o concreto convencional e para o concreto de alto desempenho. A dimensão do pilar P5 foi fixada em 70 cm x 35 cm.



**Figura 2-** Planta de forma.

### 3. Resultados

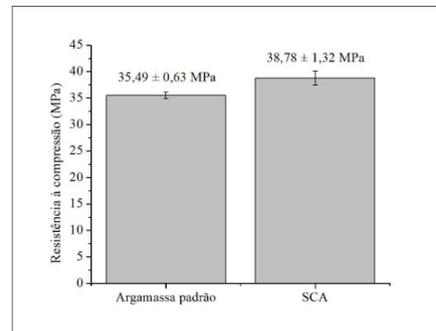
Os resultados da composição química da cinza da casca de arroz utilizada nesta pesquisa estão apresentados na Tabela 2. Nota-se um elevado teor de dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>), conferindo ao material características pozolânicas, segundo Tiboni (2007).

Na Tabela 1 são indicadas as propriedades químicas exigidas para um material pozolânico, de acordo com a NBR 12653 (2014c) e a ASTM C618-17a (2017). Pode-se observar que a cinza da casca de arroz analisada atendeu todos os critérios exigidos pelas duas normas, comprovando sua pozolanicidade.

**Tabela 1 - Propriedades químicas de materiais pozolânicos**

Propriedades	NBR 12653	ASTM C618-17 <sup>a</sup>	Sílica da casca de arroz
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	≥70%	≥70%	93,22%
SO <sub>3</sub>	≤4%	≤4%	1,29%
Teor de umidade	≤3%	≤3%	-
Perda ao fogo	≤10%	≤10%	Realizar ensaio

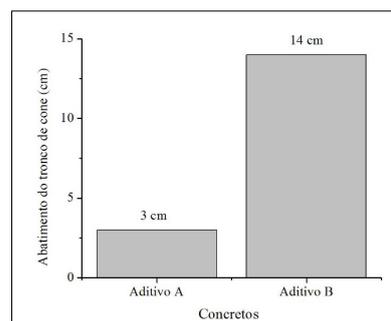
Os valores da resistência à compressão obtidos no ensaio de índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias das argamassas padrão e das argamassas com 25% de substituição de cinza de casca de arroz, com os respectivos erros-padrão, estão indicados na Figura 3.



**Figura 3-** Resultados do ensaio de determinação do índice de desempenho - cimento Portland aos 28 dias.

O índice de desempenho da cinza da casca de arroz foi igual a 109,27%, superior ao valor mínimo de 90% estabelecido pela NBR 12653 (2014c) e ASTM C618-17a (2017). Desta forma, comprovou-se que a cinza da casca de arroz em estudo apresenta atividade pozolânica e pode ser utilizada como substituto parcial do cimento Portland.

A Figura 4 apresenta os resultados do ensaio de abatimento de tronco de cone dos dois concretos produzidos. É possível observar que o concreto produzido com o aditivo A não apresentou uma trabalhabilidade satisfatória, impossibilitando sua utilização em peças densamente armadas.



**Figura 4-** Abatimento de tronco de cone.

Além disso, a dosagem dos materiais apresentada na Tabela 2 mostra que essa mistura já havia requerido mais água do que a segunda, confirmando o baixo rendimento do aditivo A.

**Tabela 2 - Dosagem dos materiais - confecção do CAD**

Kg	Concreto A	Concreto B
Cimento Portland CP-V	10,227	10,227
Sílica da casca do arroz	0,987	0,987
Agregado Graúdo (dm máx: 9,5 mm)	22,428	22,582
Agregado Miúdo	14,196	14,118

Água Total	3,955	3,177
Relação água/ materiais cimentícios	0,35	0,29

Por outro lado, a mistura com o aditivo B apresentou uma trabalhabilidade adequada, possibilitando a utilização deste concreto em peças com maior densidade de armaduras. A Figura 5 apresenta os resultados da resistência à compressão aos 7 dias e aos 28 dias.

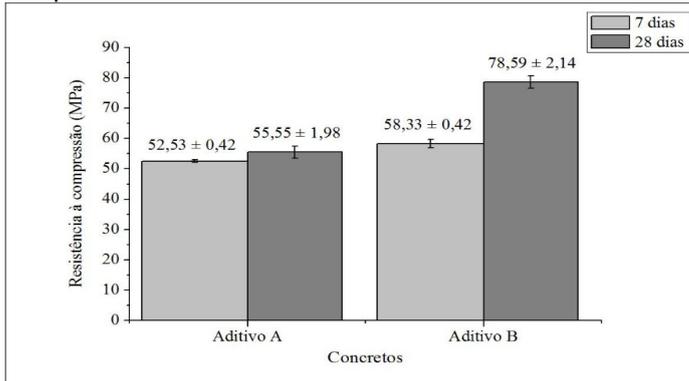


Figura 5- Resistência à compressão aos 7 e 28 dias.

Observa-se que os resultados da resistência à compressão do concreto produzido com o aditivo B foram significativamente superiores aos resultados obtidos com o aditivo A. Isso está possivelmente associado com a quantidade maior de água requerida pela mistura A e o melhor desempenho do aditivo B, tanto na propriedade de resistência à compressão quanto no abatimento do tronco de cone.

É possível notar também que o concreto A não apresentou uma diferença significativa na resistência à compressão aos 7 dias e aos 28 dias. O valor aos 7 dias foi igual a 95% do valor obtido aos 28 dias. Segundo a NBR 6118 (2014b), a resistência à compressão com a idade de 7 dias foi aproximadamente 82% da resistência com 28 dias. Sendo assim, era esperado um aumento mais significativo do que o ocorrido. Esse fato pode indicar uma incompatibilidade do aditivo A com o cimento utilizado (CPV ARI).

Para a mistura com aditivo B os resultados foram satisfatórios. Os corpos de prova alcançaram com 7 dias uma resistência média igual a 75% do valor com 28 dias e apresentaram um aumento de resistência superior ao definido pela norma (NBR 6118, 2014b). Esse crescimento pode ser justificado pela presença de um material pozzolânico - a cinza da casca de arroz, que transforma o hidróxido de cálcio (C-H) proveniente da hidratação do cimento Portland em silicato de cálcio hidratado (C-S-H), e resulta no aumento da resistência à compressão do concreto em idades avançadas (ASTM C618-17a, 2017). Em ambas as misturas, a elevada carga aplicada no ensaio de resistência à compressão fez com que os corpos de prova produzidos entrassem em colapso quando rompidos no ensaio de resistência à compressão. Ressalta-se que para o concreto comum não é visto esse colapso, esporadicamente observam-se apenas algumas trincas.

A Tabela 3 mostra os valores obtidos para absorção de água, índice de vazios e massa específica dos dois concretos.

Tabela 3- Absorção de água, índice de vazios e massa específica dos concretos produzidos

Propriedades	Aditivo A			Aditivo B		
	A.A. (%)	I.V. (%)	M.E. (g/cm <sup>3</sup> )	A.A. (%)	I.V. (%)	M.E. (g/cm <sup>3</sup> )
CP1	3,73	8,88	2,38	2,27	5,54	2,44
CP2	4,14	9,84	2,38	2,70	6,51	2,41
Média ± Erro padrão	3,94 ± 0,21	9,36 ± 0,48	2,38 ± 0,00	2,49 ± 0,21	6,02 ± 0,48	2,43 ± 0,01

SIGLAS: A.A: Absorção de água; I.V: Índice de vazios; M.E: Massa específica.

Comparando o índice de vazios das misturas A e B, observou-se que a média da mistura B foi 35,63% inferior a da mistura A. Sabe-se que a relação água/cimento possui papel fundamental no índice de vazios presentes na mistura, e que quando aumentado esse fator, tem-se uma porcentagem maior de vazios (Aïtcin, 1998).

Além disso, comparando os valores de índice de vazios encontrados nesse trabalho com um estudo realizado por Izquierdo (2016), onde foram obtidos índices de 13,7% e 12,8% para concretos comuns com fck de 20 e 40 MPa respectivamente, pode-se notar uma redução significativa do índice de vazios do CAD quando comparado ao concreto convencional. Essa menor ocorrência de vazios proporciona propriedades de alto desempenho à pasta, assim como elevada resistência mecânica para as misturas. As adições minerais, por apresentarem elevada finura, colaboram para a mitigação dos vazios do concreto. Dessa forma, possivelmente a adição da cinza de casca de arroz utilizada nas misturas contribuiu para que a porosidade do concreto fosse reduzida significativamente (Mehta & Monteiro, 2014). Com relação à absorção de água e porosidade, os dois concretos apresentaram valores bem reduzidos. A mistura B por apresentar um índice de vazios menor que a mistura A, obteve uma massa específica maior.

Com relação à análise estatística, a MANOVA relacionando o efeito do aditivo nas variáveis dependentes de absorção de água e resistência à compressão está apresentada na Tabela 4.

Tabela 4- Análise de variância multivariada (MANOVA)

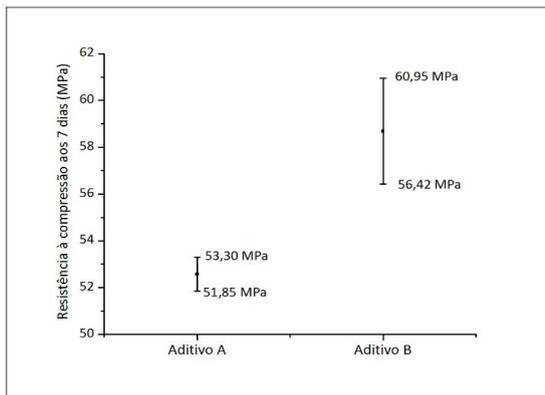
Propriedades	G. L.	Estat. Wilks	Estat. F	G.L. Numerador	G.L. Denominador	p-valor
Aditivo	1	0,032093	15,08	-	-	1,01791
Resíduos	2	-	-	-	-	-

Os resultados indicam que não há uma diferença significativa nas variáveis de absorção de água e resistência à compressão devido ao tipo de aditivo utilizado

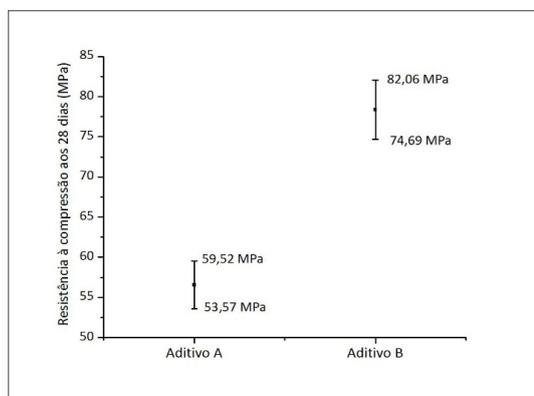
na produção dos concretos de alto desempenho ( $p$ -valor $>0,05$ ).

Os dados analisados apresentaram distribuição normal, verificada por meio do teste de Shapiro ( $p$ -valor $>0,05$ ), e variância constante.

Os intervalos de confiança Bootstrap de 95% para as resistências aos 7 dias e 28 dias estão apresentados nas Figura 6 e 7.



**Figura 6-** Intervalo de confiança Bootstrap de 95% para a resistência à compressão aos 7 dias.



**Figura 7-** Intervalo de confiança Bootstrap de 95% para a resistência à compressão aos 28 dias.

Observa-se que os intervalos obtidos para os dois concretos não se sobrepõem em nenhum ponto. Nas duas idades o limite inferior da resistência à compressão do aditivo B foi maior que ao limite superior obtido com o aditivo A. Isso mostra que a resistência à compressão do aditivo B é consideravelmente superior aos valores obtidos com o aditivo A.

O concreto de alto desempenho selecionado para o dimensionamento da seção transversal do pilar e determinação da taxa de armadura foi o concreto produzido com o aditivo B. A resistência característica adotada foi igual a 80 MPa, valor inteiro mais próximo da resistência à compressão média obtida aos 28 dias,  $78,59 \pm 2,14$  MPa. Para o dimensionamento da área do pilar P5, os valores obtidos para os dois concretos são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5 -** Valores obtidos para a área de concreto utilizada em P5

Fck (MPa)	Área de concreto necessária (cm <sup>2</sup> )
30	5821
80	2183

Observou-se uma considerável redução na seção do pilar utilizando o concreto de maior resistência. A seção transversal calculada para o CAD é 2,67 vezes inferior à seção do concreto convencional. Isso indica que à medida que o fck aumenta, a área de concreto necessária diminui na mesma proporção.

A Tabela 6 apresenta os valores da quantidade de armadura necessária para os dois tipos de concreto, apresentando também a área mínima e máxima estipulada por norma para a seção estudada do pilar P5 (70 cm x 35 cm).

**Tabela 6-** Área de aço calculada para o pilar P5

Fck	Área de concreto necessária (cm <sup>2</sup> )
30 MPa	120,75
80 MPa	12,88
Armadura mínima	31,38
Armadura máxima	196

Vale ressaltar que, como a área calculada para o concreto de 80 MPa ficou abaixo do mínimo estipulado por norma, adota-se a área mínima para a taxa de armadura deste pilar. Mesmo adotando a área mínima, verificou-se uma redução de 3,84 vezes na armadura com o uso do CAD em relação ao concreto convencional, mostrando a alta economia desse concreto especial.

Dessa análise, é possível observar ainda, a redução expressiva no consumo de cimento Portland. Embora o Cad possua maior solicitação desse material, quando relacionamos a resistência mecânica à compressão com a redução de consumo de concreto no CAD, a redução do consumo fica em torno de 33%.

Além disso, percebe-se que a utilização de um concreto de 30 MPa para o pilar em estudo resultou em uma taxa de armadura muito elevada, o que torna sua construção inviável, mesmo que o valor calculado esteja abaixo do valor máximo estipulado por norma.

Através das duas análises pode-se comprovar que a utilização de concretos de alto desempenho em pilares de concreto armado contribui para diminuir consideravelmente o consumo de concreto através da redução da seção transversal de pilares.

#### 4. Considerações Finais

- A cinza da casca de arroz utilizada na confecção dos concretos de alto desempenho apresentou um elevado índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias,



e classificou o material como pozolânico, o que resulta em uma grande reatividade para a pasta cimentícia.

- Comparando os dois aditivos utilizados, o aditivo B apresentou um melhor desempenho, tanto na propriedade de abatimento de tronco de cone quanto na resistência à compressão.

- Nos ensaios de determinação da absorção de água e índice de vazios, o concreto de alto desempenho apresentou valores baixos, o que confere ao material uma elevada resistência mecânica e uma ótima aplicação em concreto armado, onde se deseja limitar ao máximo a penetração de agentes nocivos, que possam atingir a armadura e danificá-la.

- A MANOVA mostrou que não há uma diferença significativa nas variáveis de absorção de água e resistência à compressão devido ao tipo de aditivo utilizado na produção dos concretos de alto desempenho.

- A construção de intervalos de confiança com o método de Bootstrap comprovou que a resistência à compressão do aditivo B é consideravelmente superior aos valores obtidos com o aditivo A.

- Os cálculos estruturais comparativos comprovaram as vantagens técnicas e econômicas do CAD. A redução da área de concreto com o CAD foi bem significativa, bem como a diminuição da taxa de armadura necessária, comprovando a aplicabilidade do concreto de alto desempenho em pilares.

- Para os cálculos estruturais comparativos, concluiu-se um rendimento largamente maior do CAD. Os resultados obtidos no cálculo para a área de concreto utilizada, mostraram que à medida que é aumentado o fck, tem-se um diminuição na mesma ordem para a área de concreto. Ou seja, o fck e a área da seção do pilar apresentaram uma relação inversamente proporcional. Com isso, também foi possível quantificar a redução no consumo de cimento final, em cerca de 33%. Apesar de o CAD possuir maiores teores de cineto Portland, na mistura, com a redução da seção, os materiais totais são empregados em menores quantidades quando comparados ao concreto convencional.

## Referências

AÏTCIN, Pierre-Claude. **Concreto de Alto Desempenho**. São Paulo: Pini, 1998. 667 p. Tradução de Geraldo G. Serra.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2014c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12821**: Preparação de concreto em laboratório-procedimentos. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 16697**: Cimento Portland – requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

**NBR NM 79**: Preparação de concreto em laboratório. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpo-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2001b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

ASTM COMMITTEE C-09 ON CONCRETE AND CONCRETE AGGREGATES. **Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete**. ASTM international, 2017.

DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho. Adições Mineraias. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011. Cap. 8. p. 261-305. 1v.

DI BELLA, C. WRYZKOWSKI, M.; LURA, P. **Materials and Structures**, v. 50-52, 2016; p. 1-13.

IZQUIERDO, S. I.; RAMALHO, M. A. **Use of residual powder obtained from organic waste to partially replace cement in concrete**. *Dyna*, v. 83, n. 195, 2016; p. 147-155.

KASS, R. E.; EDEN, U. T.; BROWN, E. N. **Analysis of neural data**. New York: SPRINGER, 2014.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 782 p.

**R CORE TEAM R**. A language and environment for statistical computing. Versão 3.4.2 R Foundation for Statistical Computing Vienna, Austria, 2010.

RAHAI, A.; DOLATI, A.; KAMEL, M. E. Studying the effect of various parameters on mechanical properties of lightweight aggregate concrete using MANOVA. **Materials and Structures**, v. 48, n. 1, 2015; p. 2353-2365.

RIBEIRO, Daniel Vêras. **Princípios da ciência dos materiais cimentícios: produção, reações, aplicações e avanços tecnológicos**. Editora Appris, 2021.

ROSSIGNOLO, J. A. Avaliação da zona de transição interfacial pasta-agregado leve em concretos com sílica ativa e látex SBR. **Revista Matéria**, v. 12, n. 3, p. 532-540, 2007.

SENF, L.; HOTZA, D.; REPETTE, W. L. Comportamento reológico de pastas de cimento com adição de sílica ativa, nanossílica e dispersante policarboxílico. **Revista Matéria**, Florianópolis, v. 15, n. 1, p.012-020, 2010.

SJOSTROM, C. Durability and sustainable use of building materials. In: LLEWELLY, J. W.; DAVIES, H. LLEWELLY, J. W.; DAVIES, H. **Sustainable of materials**. 1. Ed. Londres



(Inglaterra): RILEM. 1992. p.129-153.

TÉCHNE. **Concreto de alto desempenho com adições minerais e químicas**. Brasil: Pini, v. 1, n. 163, dez. 2010. Mensal.

TIBONI, R. **A utilização da cinza da casca de arroz de termoelétrica como componente do aglomerante de compósitos a base de cimento Portland**, São Paulo, 2007, Dissertação (mestrado) - Universidade de São Paulo, 196 p.

TUTIKIAN, Bernardo F.; ISAIA, Geraldo Cechella; HELENE, Paulo. Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011. Cap. 36. p. 1282-1322. 2v.

## Levantamento de parâmetros otimizados no cultivo de microalgas para desenvolvimento de fotobiorreator

Leandro Zuin Quibao<sup>1</sup>, Ademar Takeo Akabane<sup>2</sup>.

1. Pós-graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, leandro.zq@puccampinas.edu.br, PUC Campinas
2. Professor Doutor, ademar.akabane@puc-campinas.edu.br, PUC Campinas

**Resumo:** A busca por fontes de energia alternativas é fomentada pela crescente demanda energética, devido ao enorme interesse em substituir o uso de combustíveis fósseis por fontes renováveis e menos poluentes como o biogás. Este é um forte candidato na transformação sustentável da matriz energética mundial. Vale ressaltar que ainda é um desafio técnico e econômico a aplicação do biogás em geração de energia elétrica ou térmica de forma eficiente como substituição ao gás natural do petróleo, demandando processos de purificação que reduzam a concentração de dióxido de carbono na mistura gasosa. Como alternativa viável a esse processo, são empregados os cultivos de microalgas que realizam a captura fotossintética de CO<sub>2</sub> e os convertendo em biomassa, com diferentes níveis de eficiência de acordo com a evolução populacional destes microorganismos. Ao buscar parâmetros que melhor estimulam o desenvolvimento de microalgas, a pesquisa busca contribuir para o desenvolvimento de processos mais eficientes e sustentáveis.

**Palavras-chave:** sensores, purificação, biogás.

### 1. Introdução

O uso de combustíveis fósseis associados a altas taxas de desmatamentos e utilização de fertilizantes e protetivos agrícolas, contribuíram significativamente para o aumento da concentração de gases da classe que compõe o efeito estufa. No ano de 2020 a concentração média de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) na atmosfera era de 412,5 ± 0,1 ppm, valor considerado alto e maior do que o observado no ano anterior (BLUNDEN & BOYER, 2021).

É crescente o interesse em fontes alternativas de energia, estimulado pela busca por sustentabilidade e características que as classificam como renováveis, presentes em biocombustíveis como o bioetanol, biodiesel e biogás (MONLAU et al. 2015).

O elemento combustível que mais contribui para o poder calorífico do biogás é o metano (CH<sub>4</sub>), e quanto maior sua concentração, maior será o potencial energético de sua queima. Da mesma forma que uma maior concentração do componente CO<sub>2</sub> no biogás, por consequência, reduz o seu poder calorífico (SAFARI & DINCER, 2019).

Como microrganismos unicelulares fotoautotróficos, as microalgas são responsáveis por aproximadamente 40% da fotossíntese global, requisitando o CO<sub>2</sub> do ambiente para promover seu crescimento e, dessa forma, reduzir a concentração desse gás que contribui para o efeito estufa na atmosfera (VAZ et al. 2019).

A utilização de microalgas para a captura de CO<sub>2</sub> pode então ser uma tecnologia de uso potencial na otimização de biogás combustível devido ao seu alto poder de fixação, taxa de crescimento e adaptação a diversas condições de cultivo (GUO et al. 2018).

Assim, o objeto de estudo deste artigo visa o levantamento de diferentes processos experimentais que buscam avaliar a taxa de crescimento populacional de microalgas em ambientes de cultivo com parâmetros controlados, para construir uma base teórica da solução proposta. Após essa etapa espera-se desenvolver um protótipo de pequena escala de um fotobiorreator de placa plana com um sistema de controle de estímulos luminosos, além do monitoramento da temperatura e pH. Sensores que avaliam a concentração de CO<sub>2</sub> na mistura gasosa medirão de forma quantitativa a atuação da colônia de microalgas em adsorver tal componente e evoluir a qualidade do biogás.

Ao reconhecer parâmetros otimizados para o cultivo de microalgas no dispositivo de pequena escala, tais definições poderão ser adaptadas para utilização em meio produtivo e de maior produção.

### 2. Metodologia

O presente estudo possui caráter experimental associado a parâmetros iniciais otimizados buscados em literatura científica especializada. Os procedimentos aqui traçados fazem parte do processo de desenvolvimento do projeto em que se constrói um sistema de purificação de biogás provido por um biodigestor de pequena escala demonstrado em projeção na Figura 1.

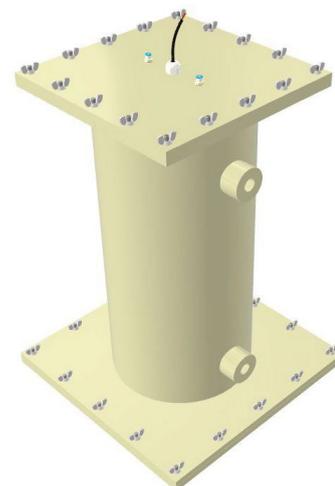


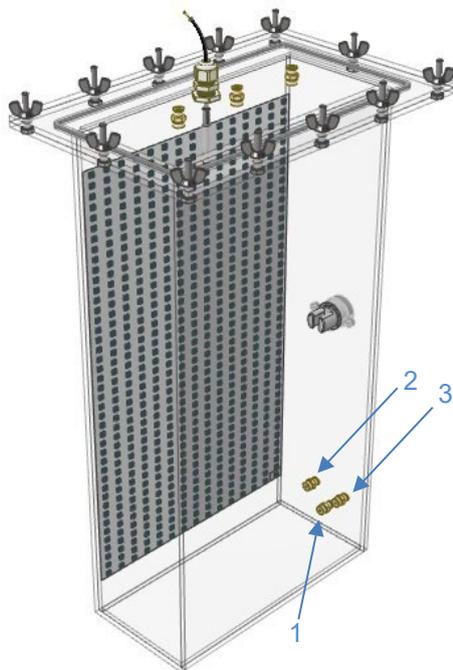
Figura 1 - Representação em 3D do biodigestor a ser utilizado

A primeira fase do projeto consiste na revisão bibliográfica de publicações científicas que tratam de temas relacionados à busca de parâmetros otimizados para o estímulo ao desenvolvimento de determinadas espécies de microalga em sistemas de cultivo fechado. A Tabela 1 apresenta algumas das literaturas consultadas, selecionadas de bases de dados de publicações científicas a partir de palavras chave que remetem a cultivo de microalgas em sistemas fechados e que trazem parâmetros importantes relacionados pelos autores visando o maior crescimento populacional em suas respectivas observações.

**Tabela 1** – Parâmetros de cultivo analisados por cada autor.

Autor	Parâmetros avaliados		
	Temperatura	pH	Iluminação
ACIÉN et al (2017)	✓		✓
ZANETTA (2018)	✓	✓	✓
YAN (2014)			✓

Os parâmetros levantados na primeira fase serão aplicados na operação de um fotobiorreator representado pela Figura 2, com elementos que permitam o controle ou medição de parâmetros listados na Tabela 1.



**Figura 2** – Projeção em 3D do fotobiorreator

O modelo construtivo do fotobiorreator é um sistema fechado de placa plana devido a simplicidade de confecção a partir da disponibilidade de materiais e ferramentas. Todos os componentes serão confeccionados em policarbonato transparente de 5 mm de espessura, usinados em fresa CNC. A dimensão útil do dispositivo será de 250 mm de largura por 500 mm de altura e 110 mm de profundidade, comportando um volume de cultivo de até 10 litros até seu nível máximo. As peças que correspondem às laterais, fundo e aba de fixação serão soldadas por uso de solvente químico específico para o tipo de material

selecionado. A tampa possui um sulco para posicionamento de um anel de vedação de borracha e será fixada por meio de 12 parafusos M6 com porcas borboleta. É importante garantir a vedação adequada do sistema, realizando testes de estanqueidade e verificando que existe passagem de gases apenas pelos acopladores das mangueiras pneumáticas.

Em uma das laterais do dispositivo, na parte inferior, está previsto 3 acopladores pneumáticos, por onde é injetado o gás proveniente do biodigestor (1), injeção auxiliar de CO<sub>2</sub> (2) e injeção auxiliar de outros gases (3). Mais acima, está posicionado um sensor de turbidez modelo ST100, responsável por permitir a estimativa da evolução populacional de microalgas no dispositivo.

A tampa do dispositivo possui três acopladores pneumáticos por onde irá ocorrer a saída do gás que percorre o sistema. Há também um prensa-cabos por onde serão inseridos sensores como o de temperatura e pH. Em uma das laterais do fotobiorreator estão fixadas diversas barras de LED de diferentes tipos. Visto que as barras de LED selecionadas possuem uma densidade de 60 LEDs por metro, estima-se que seja instalado um total de 645 LEDs em 43 segmentos com 15 LEDs cada, compostos por 10 segmentos de LED branco frio (6000-6500K), 10 segmentos de LED branco quente (2500K), 10 segmentos de LED Ultravioleta e 13 segmentos de LEDs endereçáveis RGB. O controle será feito através de *drivers* PWM para os LEDs brancos e ultravioleta, e por meio de sinal digital para os RGB endereçáveis. Parâmetros que caracterizam a iluminação poderão ser definidos e controlados, tal como o *duty-cycle* (razão entre tempo ligado/desligado durante período de 24 horas), comprimento de onda (de acordo com acionamento e controle das cores de LED RGB) e intensidade (através da modulação da potência fornecida aos LEDs).

O sensor de temperatura utilizado é o DS18B20, um dispositivo que permite medições na faixa de -10°C a 85°C com precisão de ±0,5°C e é a prova d'água no encapsulamento tipo sonda. Por possuir comunicação 1-wire, pode ser ligado diretamente em um controlador sem utilizar entradas analógicas, permitindo maior flexibilidade e comunicação com vários sensores no mesmo barramento. Para realizar medições de pH, utiliza-se o módulo PH4502C com saída analógica, possui tempo de resposta de cinco segundos e trabalha em temperaturas entre 0 e 60°C. Como a saída pode atuar em um *range* de 0 a 5 Volts e o microcontrolador selecionado trabalha em tensões de 3,3 Volts, será necessário um circuito de conversão de nível de tensão.

O controle do sistema será executado por um *firmware* desenvolvido e programado em um ESP-32-Wrover Devkit, responsável por receber os dados de leitura dos sensores de temperatura, turbidez, pH e concentração de CO<sub>2</sub>. Os LEDs RGB endereçáveis serão controlados diretamente por sinal digital enviado pelo dispositivo, enquanto que *drivers* PWM recebem o sinal do controlador para modular a intensidade luminosa dos LEDs brancos e ultravioleta. A interface homem máquina se dá por um *display touchscreen* comunicando com a controladora via porta



serial, além de comunicação e envio de informações através de conexão 4G.

A microalga inoculada no cultivo será a *Chrorella Sp.*, selecionada de acordo com a disponibilidade, sua boa capacidade de captura de CO<sub>2</sub>, bem como o uso da espécie em diversos estudos que avaliam o poder de melhoria de um biogás através do uso dessa cultura.

### 3. Resultados

Foram considerados como parâmetros válidos para este estudo aqueles que poderiam ser medidos ou manipulados por um sistema de controle. De acordo com o observado em estudos de diferentes autores, pode-se considerar de alta relevância controle e monitoramento de temperatura, luminosidade e pH.

Segundo Acién (2017), microalgas de água doce possuem temperatura ótima entre 25 a 35 °C, suportando temperaturas de até 40 °C por curtos períodos de tempo. Quanto ao controle da luminosidade, Acién (2017) cita que os organismos foto-autotróficos interagem com as fontes com comprimento de onda entre 400 e 700 nm, ocorrendo até mesmo a saturação entre 100 e 500  $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e fotoinibição em irradiações acima de 1000  $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , o que indica que aumentar o fluxo luminoso deliberadamente poderá demandar energia desnecessária ou até mesmo inibir o processo. Já Zanetta (2018) postula a necessidade de mistura em seu sistema visto a atenuação óptica em colônias maiores, porém o estado atual do projeto alvo deste artigo não compreenderá mecanismo de mistura ativo, salvo a injeção de biogás através de borbulhamento. De acordo com Yan (2014), existe uma relação importante também na razão entre iluminação de diferentes cores, de forma que em estudos comparativos entre luz branca, e diferentes configurações que combinam iluminação azul e vermelha em diferentes proporções. Segundo o autor, os tratamentos realizados na razão de vermelho/azul nas proporções de 3:7, 5:5 e 7:3 foram os que apresentaram performance adequada na melhoria do biogás através da redução de CO<sub>2</sub>, sendo que outras configurações do sistema se mostraram adequadas para outras aplicações como a redução de nutrientes e o próprio crescimento de microalgas.

Com relação a características de pH, Zanetta (2018) cita o controle através da injeção de CO<sub>2</sub> para garantir a regulação do sistema. Por mais que seja necessária a redução do pH através desse método, o foco do projeto do fotobiorreator citado neste artigo é de capturar o dióxido de carbono e assim melhorar a condição do biogás, sendo até mesmo contraintuitivo a adição de referido gás na mistura enquanto a circulação de gás esteja em circuito fechado. Através do monitoramento contínuo de pH, será avaliado durante a operação se o borbulhamento do biogás no sistema já oferece níveis de CO<sub>2</sub> que possam contribuir com a manutenção do pH, e caso isso seja insuficiente, será utilizado uma das entradas auxiliares para a injeção de CO<sub>2</sub> enquanto o fluxo de biogás possa ser interrompido e o sistema aberto para liberar o residual deste procedimento.

Vale apontar que, em sistemas onde o foco é o desenvolvimento de microalgas e, principalmente, a melhoria do biogás através da redução da proporção de CO<sub>2</sub>, todos os autores avaliados apresentam o controle da luminosidade como a característica principal para o aumento da eficiência do processo, seguida pelo controle de temperatura e o pH.

Após a construção e início da operação do conjunto fotobiorreator e sistemas de monitoramento e controle, espera-se que sejam coletados dados que demonstrem a evolução populacional de microalgas, bem como a taxa de redução da concentração de CO<sub>2</sub> na amostra gasosa durante a operação do sistema em cada conjunto de parâmetros analisados. Espera-se obter uma relação direta entre a turbidez do líquido de cultivo com a população de microalga presente, visto que quanto maior a presença de microalgas, ocorrerá o aumento da turbidez e com isso a detecção através de medidores que avaliam a transmitância no meio aquoso. Mesmo que não seja possível determinar com exatidão a população de microalgas através desse método, pode este ser utilizado como uma condição de parada a fim de se realizar coleta de material para análise especializada, avaliando o tempo entre a inoculação e a coleta do material é definida então a taxa de crescimento em função de quanto tempo levou para chegar à condição avaliada

### 4. Considerações Finais

As informações apresentadas nesse artigo correspondem a observações publicadas por diferentes autores que focam em um ou mais parâmetros de cultivo de microalgas, tendo em comum sempre a busca por uma maior taxa de crescimento populacional da espécie analisada e também a captura de CO<sub>2</sub>. Ao selecionar parâmetros para aplicação no desenvolvimento do sistema de purificação de biogás, espera-se obter um cenário inicial para posterior otimização através do controle das variáveis de processo, em um primeiro momento avaliando e combinando o que é trazido pela literatura, podendo expandir para novas configurações de acordo com as características técnicas do sistema.

A principal contribuição do artigo é atuar no suporte ao desenvolvimento de sistemas fechados de cultivo, buscando apresentar um panorama das características controláveis do sistema e que atuam diretamente em sua eficiência, sendo uma análise fundamental para o cultivo de microalgas que visa essencialmente a captura de dióxido de carbono. Vale ressaltar que os parâmetros ótimos de cultivo variam de acordo com a espécie de microalga selecionada, sendo assim, valores como o fluxo luminoso, temperatura e pH devem levar isso em consideração.

Por meio dos dados levantados no artigo e os resultados a serem obtidos no projeto de pesquisa após montagem do referido fotobiorreator, espera-se que seja avaliada a viabilidade de aplicação do cultivo de microalgas para a purificação e melhoria de biogás em pequena escala, contribuindo para a sustentabilidade e viabilização do processo que poderá, posteriormente, ser expandido para maior escala.



## Referências

ACIÉN, F. G. et al. Photobioreactors for the production of microalgae. In: GONZALEZ-FERNANDEZ, Cristina; MUÑOZ, Raúl (Eds.). *Microalgae-Based Biofuels and Bioproducts*. Woodhead Publishing Series in Energy. Woodhead Publishing, 2017. p. 1-44. ISBN 9780081010235. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101023-5.00001-7>.

BLUNDEN, J.; BOYER, T. State of the Climate in 2021. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 103, p. S1-S465, 2022. <https://doi.org/10.1175/2022BAMSStateoftheClimate.1>.

GUO P, ZHANG Y, ZHAO Y. Biocapture of CO<sub>2</sub> by Different Microalgal-Based Technologies for Biogas Upgrading and Simultaneous Biogas Slurry Purification under Various Light Intensities and Photoperiods. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(3):528. doi:10.3390/ijerph15030528

MONLAU F. et al. (2015) New opportunities for agricultural digestate valorization: current situation and perspectives. *Energy Environ Sci* 8:1–20.

SAFARI F., DINCER I. (2019) Development and analysis of a novel biomass-based integrated system for multigeneration with hydrogen production. *International Journal Hydrogen Energy*

VAZ B. D. S., COSTA J.A.V., MORAIS M.G. (2019) Innovative nanofiber technology to improve carbon dioxide biofixation in microalgae cultivation. *Bioresource Technology* 273:592–598.

YAN, Cheng; ZHENG, Zheng. Performance of mixed LED light wavelengths on biogas upgrade and biogas fluid removal by microalga *Chlorella* sp. *Applied Energy*, v. 113, p. 1008-1014, 2014. ISSN 0306-2619. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.07.012>

ZANETTA, Marco Del Lian. *Desenvolvimento de fotobiorreatores tipo Flat Panel para o cultivo superintensivo de microalgas*, 2018. 58 p.



# ENSAIOS EXPERIMENTAIS COM VIGAS DE CONCRETO ARMADO COM BARRAS DE GFRP

Luis Felipe Oliveira Santos<sup>1</sup>, Nádia Cazarim da Silva Forti<sup>2</sup>, Daniel Carlos Taissum Cardoso<sup>3</sup>

1. Graduação, luis.fos@puccampinas.edu.br, Pontifícia Universidade Católica de Campinas
2. Doutorado, nadia.cazarim@puc-campinas.edu.br, Pontifícia Universidade Católica de Campinas
3. Doutorado, dctcardoso@puc-rio.br, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

**Resumo:** As barras de polímero reforçado com fibras (FRP) são materiais compósitos formados pela união de fibras longas com uma matriz polimérica. Elas estão sendo utilizadas, nas últimas décadas, como reforço para estruturas de concreto, apresentando boas propriedades mecânicas, um baixo peso específico, características anticorrosivas e transparência eletromagnética. Contudo, esses materiais apresentam baixo módulo de elasticidade e comportamento elástico-linear até a ruptura (material frágil). As recomendações internacionais e nacionais, juntamente com as normas internacionais apresentam duas possibilidades de dimensionamento para estruturas de concreto armado com barras de polímero reforçado com fibras de vidro (GFRP): pela falha por ruptura das barras ou pela falha por esmagamento do concreto. O primeiro caso, dado o uso de uma baixa taxa de armadura, resulta em altas deformações e aberturas de fissuras em elementos fletidos. Diante disso, esse artigo tem como objetivo apresentar o comportamento a flexão de vigas armadas com barras de GFRP dimensionadas pelo critério de falha por tração na barra, fazendo uso da técnica de correlação digital de imagem para análise do comportamento à fratura. O uso da correlação digital de imagem apresentou bons resultados, sendo consistentes com os observados experimentalmente.

**Palavras-chave:** vigas armadas com GFRP, ruptura por tração, DIC

## 1. Introdução

Levantamentos a respeito de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado são realizados ao redor do mundo. E a corrosão das barras de armaduras de aço é uma causa comum de deterioração (BASTIDAS-ARTEAGA et al., 2011; ROLLAND et al., 2021).

Neste cenário, a durabilidade de estruturas de concreto armado é uma grande preocupação para a infraestrutura. As barras de polímero reforçado com fibras (FRP) têm sido utilizadas como um novo material de reforço para estruturas de concreto, substituindo a armadura tradicional (Cai; Pan; Zhou, 2017).

Barras de FRP são materiais anisotrópicos (suas propriedades mecânicas diferem conforme a direção) formados pela combinação de fibras e resina. A resina atua como uma matriz unindo e distribuindo as cargas entre as fibras e protegendo-as contra impactos e danos devido a

condições ambientais (ACI 440.1R, 2015; Benmokrane et al., 2015).

O uso de materiais compósitos poliméricos na construção civil, como reforço para estruturas de concreto armado, traz benefícios estruturais e econômicos para as construções. Esses materiais apresentam uma alta relação rigidez/peso e resistência/peso, além de ser resistentes a fadiga e a degradação corrosiva (OU et al., 2016).

Entretanto, barras de FRP apresentam ruptura frágil, perda de resistência em regiões dobradas, altas deformações, baixo módulo de elasticidade e suas propriedades podem ser afetadas por condições de temperatura, umidade, exposição a raios ultravioletas e exposição a ambientes alcalinos (Cardoso et al., 2021).

Elementos estruturais, como vigas, reforçados com barras de FRP, geralmente, são projetados para falhar por esmagamento da região comprimida do concreto, contudo projetos por ruptura por tração da barra são aceitos, desde que atendam os critérios de resistência e serviço (Abdelkarim et al., 2019; ACI 440.1R, 2015).

Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento à flexão de vigas de concreto armadas com barras de polímero reforçados com fibra de vidro (GFRP) dimensionadas para falhar por tração na barra, a partir de um ensaio de flexão de três pontos. Correlação Digital de Imagem (DIC do inglês "Digital Image Correlation") foi utilizada para auxiliar nas análises realizadas e promover melhor entendimento desse comportamento.

## 2. Metodologia

Três vigas de concreto armado com barras de GFRP foram utilizadas para análise do seu comportamento a flexão.

O traço de concreto utilizado é de 1:2.35:2.85:0.64 (cimento:areia:brita:a/c) com consumo de cimento de 360.57 kg/m<sup>3</sup>, definido utilizando o método IPT/EPUSP. O agregado miúdo possui dimensão máxima de 2.36 mm e módulo de finura de 2.68. O agregado graúdo possui dimensão máxima de 19 mm e módulo de finura de 6.41.

O concreto utilizado apresentou resistência a compressão de aproximadamente 35 MPa, resistência a tração de 4 MPa e módulo de elasticidade de 36 GPa. A **Tabela 1**

apresenta os resultados dos ensaios de caracterização do concreto.

**Tabela 1** – Resultados dos ensaios de caracterização do concreto

	<b>Resist. à compressão (MPa)</b>	<b>Módulo de Elasticidade (GPa)</b>	<b>Resist. à tração (MPa)</b>
<b>Média</b>	35,49	35,79	3,94
<b>Desv. Padrão</b>	2,22	2,05	0,31
<b>COV</b>	6,27%	5,73%	7,94%

O diâmetro efetivo das barras utilizadas foi de 5.95 mm e a área efetiva de 27.8 mm<sup>2</sup>, se enquadrando nos limites impostos pela Prática Recomendada IBRACON/ABECE (2021).

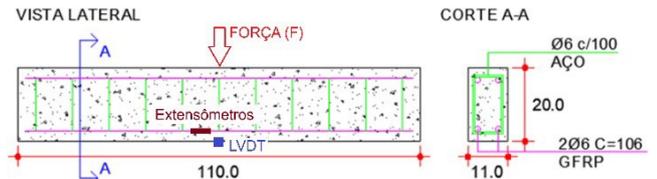
As barras de GFRP apresentaram resistência a tração de aproximadamente 1020 MPa e módulo de elasticidade de 51 GPa. A **Tabela 2** apresenta os resultados dos ensaios de caracterização das barras de GFRP.

**Tabela 2** – Resultados dos ensaios de caracterização da barra de GFRP

	<b>Resist. à tração (MPa)</b>	<b>Módulo de Elasticidade (GPa)</b>
<b>Média</b>	1017,91	51,12
<b>Desv. Padrão</b>	59,82	1,15
<b>COV</b>	5,88%	2,25%

O dimensionamento das vigas seguiu as prescrições da ACI 440.1R de 2015 utilizando uma taxa de armadura inferior a taxa de armadura balanceada ( $\rho < \rho_{fb}$ ), com objetivo de observar o comportamento de ruptura da viga por tração nas barras. A taxa de armadura balanceada foi de 0.00310 e a taxa de armadura utilizada de 0.00290.

Foi dimensionada uma viga de 11x20x110 cm (base x altura x comprimento), armada longitudinalmente com duas barras de GFRP de 6 mm de diâmetro nominal e transversalmente com barras de aço de 6,3 mm de diâmetro espaçadas a cada 10 cm. Foram utilizados porta estribos de 6 mm de diâmetro na parte superior da viga. As armaduras longitudinais foram instrumentadas com extensômetro do tipo PA-06-125BA-120-L, com resistência de 120Ω, para análise das deformações. A **Figura 1** mostra o esquema de armação utilizada e as dimensões da viga.



**Figura 1** – Configuração das vigas ensaiadas.

As vigas foram ensaiadas à flexão de três pontos, para um vão livre de 1 metro, com um LVDT (transdutor de deslocamento 50 mm) posicionado no ponto médio da viga para definição da flecha, como esquematizado na **Figura 1**. O ensaio foi realizado em prensa hidráulica, modelo MTS 204.63 com capacidade para 100 kN, a uma velocidade de 0.04 mm/s.

As imagens, para análise DIC, foram aquisitadas a uma velocidade de 1 foto por segundo. O programa GOM Correlate (2022) foi utilizado para o processamento das imagens.

O método de Correlação Digital de Imagem (DIC) foi utilizado para coleta de dados de abertura de fissuras. A configuração para coleta de imagens para análise do DIC é feita a partir de um foco de iluminação e uma câmera (2D-DIC) direcionadas para uma região central, **Figura 2**, pintada em brancos e pretos, como mostrado na **Figura 3**.



**Figura 2** – Configuração da coleta de imagens.

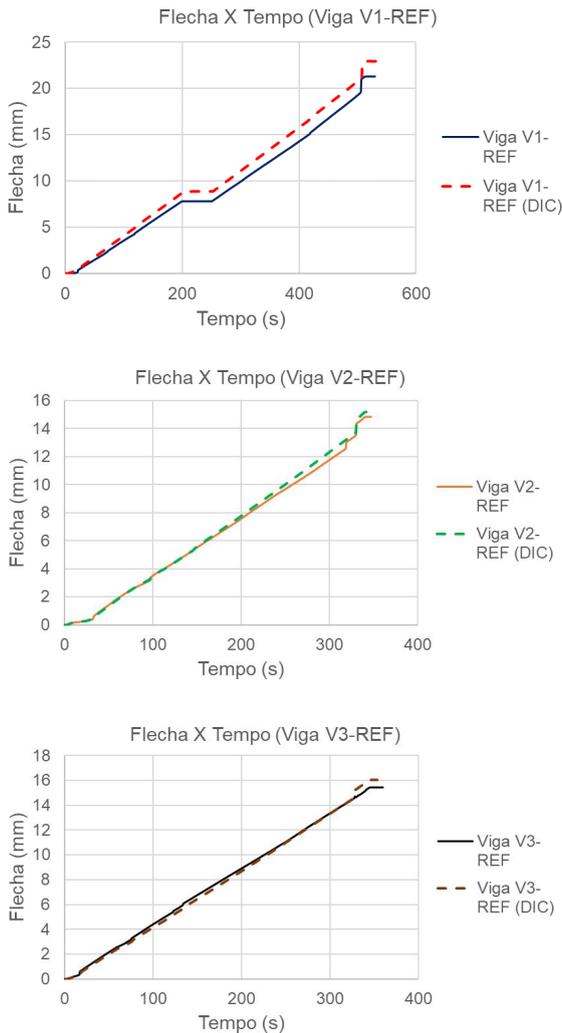
A técnica de correlação digital de imagens é feita a partir da discretização dos pixels das imagens utilizadas, ou seja, cada pixel é associado a uma posição (x, y) e um valor de intensidade,  $f(x, y)$ , em uma análise em duas dimensões. A intensidade de cada pixel é definida com base em uma escala, por exemplo, numa escala monocromática representada por 8 bits existem 2<sup>8</sup> combinações possíveis de cores (preto, 0, à branco, 255) (BELEZA, 2017). Deste modo, garantir a heterogeneidade/aleatoriedade de pontos pretos é de grande importância para uma boa análise DIC.



**Figura 3** – Distribuição de pretos e brancos na região analisada.

### 3. Resultados

Para validação dos resultados obtidos na análise DIC, curvas de Força versus Flecha foram plotadas para dados DIC e dados experimentais. A **Figura 4** mostra uma boa convergência entre os dados DIC e o experimental, o que permite a coleta e análise de outras informações.



**Figura 4** – Curvas de Flecha versus Tempo.

Foi observado que todas as vigas falharam por tração na

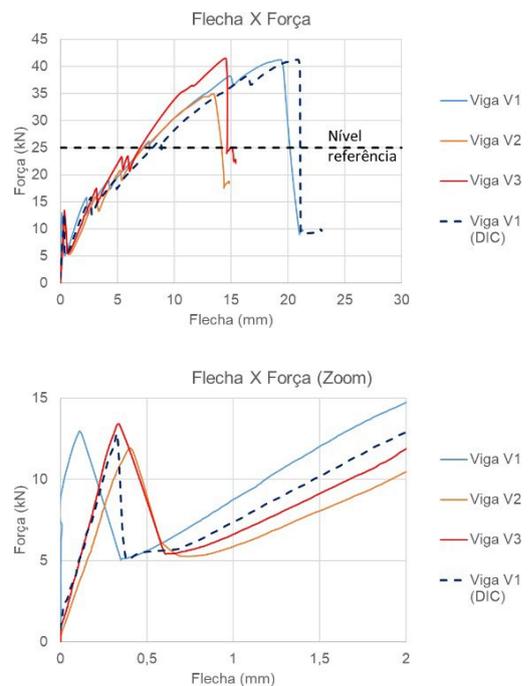
barra, conforme o dimensionamento realizado. Os ensaios de flexão à três pontos apresentaram resultados consistentes com os calculados analiticamente. A viga foi projetada para falhar com um momento e força máxima de aproximadamente 9.50 kNm e 38 kN, respectivamente.

A **Tabela 3** apresenta os resultados obtidos, demonstrando a proximidade do cálculo analítico em comparação com os resultados experimentais, 3% para o valor médio e 8.5% para máxima diferença dentre as amostras.

**Tabela 3** – Resultados do ensaio de flexão à três pontos das vigas

Parâmetro / Viga	Força (kN)	Momento (kNm)	Flecha (mm)
V1	41.22	10.31	19.41
V2	34.96	8.74	13.45
V3	41.52	10.38	14.51
<b>Média</b>	<b>39.24</b>	<b>9.81</b>	<b>15.79</b>

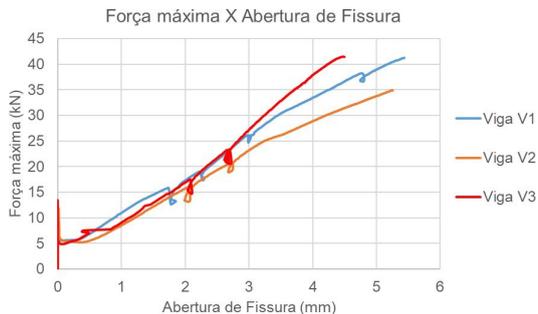
O comportamento a flexão das três vigas se mostrou muito semelhante até o carregamento de 25 kN (aproximadamente 64% da força média experimental), como mostrado na curva Força versus Flecha na **Figura 5**. Os gráficos apresentam uma primeira fase linear, onde a onde o concreto é responsável pela resistência do elemento. No momento de fissuração, há uma grande queda na força resistida e a partir deste ponto a curva volta a ascender, apresentando a contribuição da barra no conjunto. Após o nível de carga de 25 kN, uma viga se mostrou mais deformável.



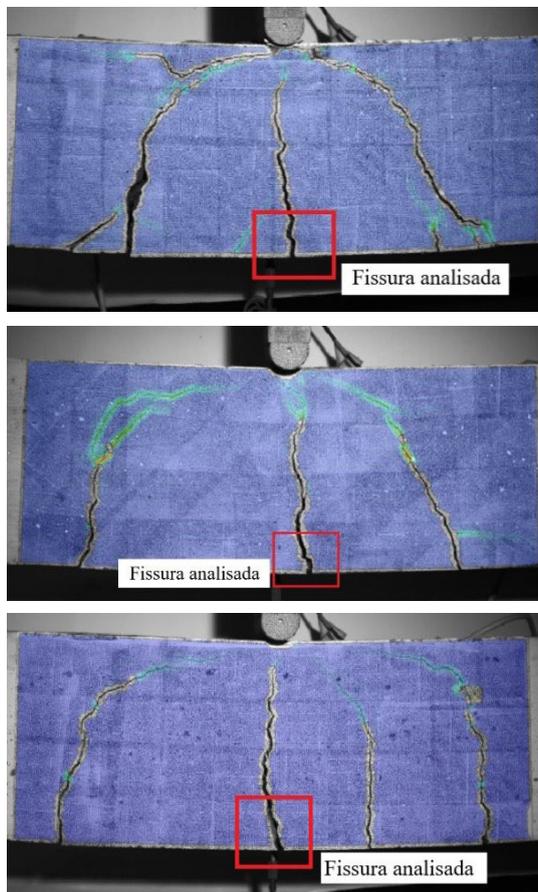
**Figura 5** – Curvas de Força versus Flecha.

Na **Figura 5** também foi acrescentada a curva gerada pela correlação de imagem digital (Viga V1 (DIC)). A inserção da curva demonstra a proximidade destes dados com as vigas V2 e V3 ensaiadas experimentalmente (Zoom da Figura 5). Atribui-se esta diferença entre o resultado experimental e de DIC da viga V1 a aquisição de dados do LVDT.

Com o uso do DIC, curvas de Força versus Abertura de Fissura foram plotadas, **Figura 6**. As curvas representam a abertura da fissura central de cada viga (que primeiro se desenvolveu), como apresentado na **Figura 7**.



**Figura 6** – Curvas Força máxima versus Abertura de Fissura.



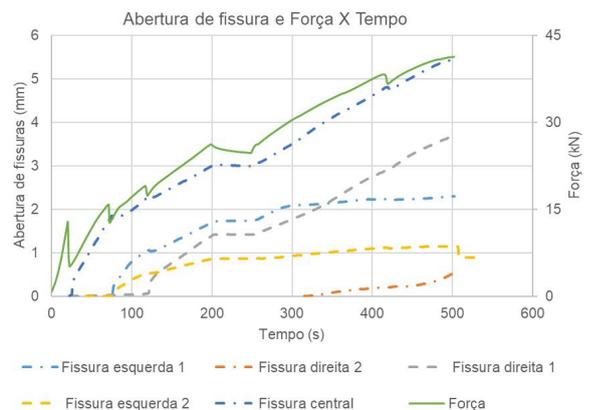
**Figura 7** – Distribuição de fissuras e fissuras analisadas para cálculo da energia de fratura (Vigas V1, V2 e V3).

Integrando cada uma das curvas é obtido um parâmetro que representa a capacidade da viga de absorver energia até sua ruptura (energia de fratura). Os valores obtidos para as Vigas V1, V2 e V3 foram, respectivamente, 127 Nm, 104 Nm e 94 Nm, aproximadamente.

A Viga V1 apresentou maior valor de energia de fratura, o que pode ser atribuído a maior flecha observada para um mesmo nível de força máxima em comparação com a Viga V3, além disso, apresenta maior fissuração, como visualizado na **Figura 7**.

As Vigas V2 e V3, apesar da diferente força máxima observada, apresentaram valores próximos de energia de fratura, justificando os valores semelhantes de flecha. Ademais, a **Figura 7** mostra similaridade nas fissuras observadas nas Vigas V2 e V3, contudo uma fissura vertical a mais é vista na Viga V3.

O surgimento e/ou evolução de uma fissura caracteriza o comportamento da força resistida pela viga. Como observado na **Figura 8**, o início da evolução da fissura central coincide com o primeiro vale observado na curva de Força versus Tempo, e o mesmo comportamento é observado no início da evolução das fissuras seguintes, no segundo vale as fissuras esquerda 1 e 2 começam a evoluir e no terceiro a fissura direita 1. Além disso, percebe-se evolução similar entre as curvas de Força e Fissura central. A **Figura 9** identifica as fissuras analisadas e mostradas no gráfico da **Figura 8**.



**Figura 8** – Comparação da fissuração e força resistida (Viga V1).

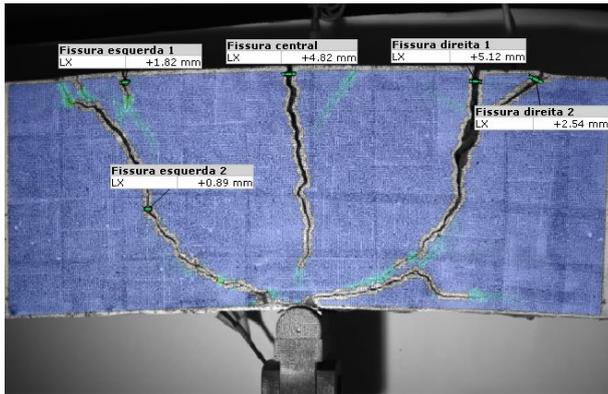


Figura 9 – Aberturas de fissuras analisadas (Viga V1) – Figura rotacionada 180°.

#### 4. Considerações Finais

Algumas conclusões podem ser feitas a partir dos resultados e análises apresentadas. Pode-se concluir que o dimensionamento das vigas utilizando a ACI 440.1R de 2015 apresentou valores condizentes, em termos de momento nominal, com os resultados experimentais analisados. Além disso, o uso do DIC como técnica para auxiliar nas análises se mostrou de grande utilidade, com a coleta de dados e análise de informações que não foram possíveis no campo experimental. O cálculo da energia de fratura utilizando os dados da análise DIC se mostraram consistentes com os resultados obtido, sendo pertinentes com o comportamento Força versus Flecha observado. Por fim, as vigas, dimensionadas pelo critério de ruptura por tração na barra, apresentaram comportamento Força versus Flecha não constante, demonstrando picos e vales conforme o surgimento ou evolução das fissuras. O dimensionamento de vigas armadas com barras de polímero reforçadas com fibra utilizando como critério de falha a ruptura por tração na barra se mostrou consistente entre amostras até um nível de resistência.

Como sugestão para trabalhos futuros, um estudo comparativo utilizando vigas dimensionadas pelos dois métodos é de grande contribuição. Ademais, o uso de vigas com diferentes configurações de armaduras (diferentes taxas de armadura).

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

#### Referências

- ABDELKARIM, O. I. et al. Flexural strength and serviceability evaluation of concrete beams reinforced with deformed GFRP bars. **Engineering Structures**, v. 186, p. 282–296, 1 maio 2019.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 440.1R - Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with FRP bars**. Farmington Hills, 2015.

BASTIDAS-ARTEAGA, E. et al. A comprehensive probabilistic model of chloride ingress in unsaturated concrete. **Engineering Structures**, v. 33, n. 3, p. 720–730, mar. 2011.

BELEZA, S. C. A. **Medição de deformações através da técnica de Correlação Digital de Imagem**. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2017.

BENMOKRANE, B. et al. Characterization and Comparative Durability Study of Glass/Vinylester, Basalt/Vinylester, and Basalt/Epoxy FRP Bars. **Journal of Composites for Construction**, v. 19, n. 6, dez. 2015.

CAI, J.; PAN, J.; ZHOU, X. Flexural behavior of basalt FRP reinforced ECC and concrete beams. **Construction and Building Materials**, v. 142, p. 423–430, 2017.

CARDOSO, D. C. T. et al. **CT 303 - Comitê IBRACON/ABECE: Uso de Materiais não convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras - Estruturas de Concreto Armado com Barras de Polímero Reforçado com Fibras (FRP)**. Brasil, 2021.

FUGIYAMA, M. M. **Estudo do comportamento mecânico de vigas de concreto armado com barras poliméricas reforçadas com fibra de basalto e fibras descontínuas**. Campinas: PUC-Campinas, 2022.

OU, Y. et al. Mechanical characterization of the tensile properties of glass fiber and its reinforced polymer (GFRP) composite under varying strain rates and temperatures. **Polymers**, v. 8, n. 5, p. 196, 2016.

ROLLAND, A. et al. Accelerated aging behavior in alkaline environments of gfrp reinforcing bars and their bond with concrete. **Materials**, v. 14, n. 19, 1 out. 2021.



# Aplicação dos métodos CBR e MeDiNa em uma amostra de solo tropical

Antonio Victor Gregorio de Lima<sup>1</sup>, Ana Elza Dalla Roza<sup>2</sup>, Ana Gabriela Wons<sup>3</sup>

1. Acadêmico de Engenharia Civil, antonio.victor@unemat.br, UNEMAT

2. Mestre em Engenharia, ana.roza@unemat.br, UNEMAT

3. Acadêmica de Engenharia Civil, ana.wons@unemat.br, UNEMAT

**Resumo:** A pavimentação das vias desempenha um papel fundamental no avanço das áreas urbanas, facilitando a mobilidade e contribuindo para o bem-estar dos cidadãos. A seleção cuidadosa dos materiais e o dimensionamento apropriado são cruciais para assegurar a eficácia e qualidade da obra. Entretanto, no contexto nacional atual, observa-se uma preocupante negligência em relação às normativas vigentes e sua aplicação. O objetivo deste estudo é analisar as práticas de pavimentação adotadas na cidade de Sinop, Mato Grosso, e identificar alternativas viáveis para a promoção de infraestruturas que ofereçam qualidade com um valor menor de execução. Para isso, dois métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis foram adotados em amostras de solo tropical, o que possibilitou verificar que novos dimensionamentos podem ser aplicados graças às características dos materiais analisados. Assim, torna-se relevante o estudo de solos e materiais de diferentes propriedades para ampliar os conhecimentos voltados à pavimentação de vias.

**Palavras-chave:** pavimentação, dimensionamento, Medina, MCT, solo, tropical

## 1. Introdução

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança. (Bernucci et al., 2022)

Sob essa óptica, o estado de Mato Grosso atua diretamente no setor agropecuário no ponto de vista econômico. O 11º levantamento de dados no setor, realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2023) aponta que o estado é responsável por aproximadamente 31,5% da safra de grãos contabilizada no período entre os anos de 2022 e 2023, em relação à produção nacional. Além disso, dados do último levantamento registrado pelo Instituto de Defesa Agropecuária do Estado de Mato Grosso (Indea-MT, 2023) exprimem a liderança do estado no quantitativo de rebanho bovino, com 34,3 milhões de animais e 14,80% da criação de gado nacional.

Localizado a uma distância de 483km da capital estadual, o município de Sinop exerce uma função de destaque no processo de escoamento da matéria-prima proveniente das atividades agrícolas da região. Nesse contexto, é notável a

presença de empresas multinacionais que têm como foco a exportação desses produtos, desempenhando também um papel crucial na administração das operações comerciais na área.

A interligação entre o crescimento da indústria agropecuária e a urbanização desencadeou um efeito direto na infraestrutura viária municipal, gerando a necessidade premente de adaptação e melhoria das vias já estabelecidas, bem como de implementação de novos pavimentos para atender ao aumento da demanda.

Em resposta a essa conjuntura, torna-se imperativo promover a implementação de novas superfícies asfaltadas e as devidas medidas de preservação das já existentes, visto que a intersecção entre a prosperidade do setor agropecuário e o crescimento urbano tem impactado notavelmente a infraestrutura viária das cidades.

A análise das tensões presentes no pavimento demanda a realização de estudos que englobam variáveis como a quantidade de veículos em circulação, a quantidade de eixos por veículo, a carga exercida por cada eixo, o perfil dos pneus utilizados, bem como a pressão com que esses pneus estão inflados, além de outras características pertinentes. Esses elementos, em conjunto, estabelecerão o padrão de carga ao qual o pavimento será submetido, sendo essencial para compreender as forças que atuam sobre sua estrutura.

As cargas provenientes dos veículos causam deflexões no pavimento e alteram o seu estado de tensões e eixos diferenciados causam danos diferentes no pavimento. Para padronizar estes carregamentos foram criados os fatores de equivalência que permitem fazer conversões das passagens das cargas por eixo em números equivalentes de passagem do eixo-padrão (DNIT, 2006). A partir do sistema métrico vigente no Brasil, é adotado o valor padrão de 8,2t por eixo (18.000lb) para análise dos carregamentos em obras rodoviárias do país.

Nos estudos de pavimentação, é possível designar 5 camadas principais na construção de uma via, sendo essas: Subleito; Reforço do subleito; Sub-base; Base; Revestimento. Cada um desses elementos possui propriedades singulares, bem como utilizam de materiais específicos para suas funções. Nos pavimentos asfálticos, as camadas de base, sub-base e reforço do subleito também são de importância estrutural. (Bernucci et al., 2022).

A determinação da espessura das camadas asfálticas é influenciada por diversos fatores, como os tipos de ligantes asfálticos e a composição granulométrica adotados, o volume de tráfego em ação, a natureza dos materiais e as espessuras das camadas subjacentes, o estado do subleito, as condições climáticas e até mesmo a rigidez da

configuração estrutural, sendo imperativo que o cálculo da espessura não negligencie as propriedades mecânicas tanto do subleito quanto das camadas que compõem a estrutura, sendo as camadas asfálticas merecedoras de atenção especial.

Em certos casos, uma camada subjacente ao revestimento pode ser composta por materiais estabilizados quimicamente de modo a proporcionar coesão e aumentar sua rigidez, podendo resistir a esforços de tração. Embora possuam coesão, as camadas de solos finos apresentam baixa resistência à tração, diferentemente dos materiais estabilizados quimicamente. (Bernucci et al., 2022).

É possível notar que uma parcela substancial dos elementos que formam as camadas do pavimento inclui materiais britados, conforme as diretrizes atuais de seleção. Contudo, a deficiência na disponibilidade de agregados pétreos em algumas áreas geográficas, sobretudo nas regiões Norte, Centro-Oeste e Nordeste do Brasil, estimula a investigação de solos locais que demonstrem aptidão para suportar cargas e que possuam propriedades geotécnicas capazes de enfrentar as solicitações originadas pelo tráfego.

No processo de construção de pavimentos, os materiais para a base, sub-base e reforço do subleito passam por métodos de seleção e caracterização de propriedades. A seleção é a etapa inicial para identificar materiais adequados com base em suas características naturais. Estas características influenciam as propriedades geotécnicas após compactação. Esses materiais devem ser resistentes, pouco deformáveis e com permeabilidade compatível à função na estrutura.

Os componentes como agregados, solos e aditivos (como cimento, cal e emulsão asfáltica) constituem a base, sub-base e reforço do subleito. É relevante destacar que há uma crescente utilização de materiais reciclados, como agregados, filler e até materiais com propriedades pozolânicas, provenientes de pavimentos antigos, obras civis diversas e resíduos industriais. A reciclabilidade é crucial, devendo ser considerada ao longo da vida útil do pavimento, inclusive a desconstrução. Portanto, análises ambientais são essenciais para garantir a segurança das fontes renováveis e do ecossistema diante da adoção de materiais a serem reciclados.

Segundo o DNIT 2006, o ensaio de CBR consiste na determinação da relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo-de-prova de solo, e a pressão necessária para produzir a mesma penetração numa brita padronizada. O valor dessa relação, expressa em porcentagem, permite determinar, por meio de equações empíricas, a espessura de pavimento flexível necessária, em função do tráfego. Dessa forma, é possível obter valores mínimos que a amostragem dos materiais utilizados e suas espessuras devem atender conforme a metodologia.

No entanto, a teoria do método mecanístico-empírico tem por base a premissa de que o dimensionamento da estrutura de um pavimento pode ser abordado de maneira similar a outras estruturas dentro da engenharia. Nesse enfoque, sua conduta é analisada com rigor analítico,

envolvendo a formulação de equações que contemplam tanto as solicitações aplicadas quanto a resistência dos materiais utilizados, assim como todas as variáveis influentes para cada tipo de material. No âmbito desse processo, a avaliação estrutural é realizada por meio do estabelecimento de um equilíbrio entre as forças, que abarcam as tensões e deformações induzidas à estrutura por meio das repetidas cargas de tráfego, e a capacidade inerente dos materiais constituintes da estrutura em resistir a essas forças aplicadas (Medina e Motta, 2005).

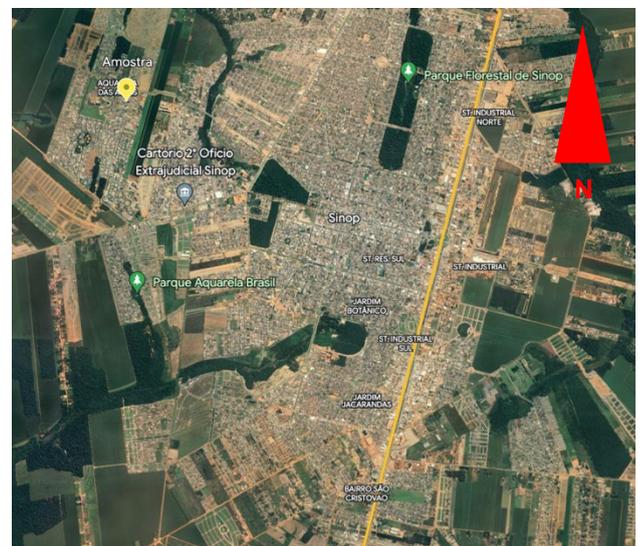
A partir da teoria supracitada, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) disponibiliza o software do Método Nacional de Dimensionamento de Pavimentos (MeDiNa), responsável por sintetizar os dados acrescentados no sistema para prever a integridade da obra com as especificações determinadas de espessura e tipo de material utilizado em cada camada do pavimento.

O cenário das regiões tropicais apresenta desafios únicos quando se trata de pavimentos flexíveis, pois as condições climáticas e a composição do solo podem variar significativamente em relação a outras áreas. Portanto, compreender como os pavimentos flexíveis se comportam nesses ambientes é essencial para garantir a segurança e a durabilidade das estradas e rodovias que atravessam essas regiões.

## 2. Metodologia

O estudo visa analisar uma amostra de solo extraída no município de Sinop – MT e verificar o comportamento da amostra frente ao dimensionamento de camadas perante as normativas existentes através do método CBR e MeDiNa.

A amostra de solo utilizada para esse estudo foi coletada no município de Sinop – MT.



**Figura 1** – Local da amostra (-11,8474379, -54,7485887) com linha representando a BR-163. Fonte: Google Earth

Através da normativa utilizada pelo DNER, foram adotados os seguintes parâmetros na realização do teste CBR:

- Disco espaçador metálico, de 15,00 cm  $\pm$  0,05 cm de diâmetro e de 6,35 cm  $\pm$  0,02 cm de altura;
- Molde cilíndrico metálico com 15,24 cm  $\pm$  0,05 cm de diâmetro interno e 17,78 cm  $\pm$  0,02 cm de altura, com entalhe superior externo em meia espessura;
- Soquete metálico cilíndrico, de face inferior plana, com diâmetro de 5,08 cm  $\pm$  0,01 cm, massa de 4,536 kg  $\pm$  0,01 kg, e com altura de queda de 45,72 cm  $\pm$  0,15 cm;
- Prato perfurado de bronze ou latão, com 14,90 cm de diâmetro e 0,50 cm de espessura, com uma haste central de bronze ou latão, ajustável, constituída de uma parte fixa rosqueada e de uma camisa rosqueada internamente e recartilhada externamente, com a face superior plana para contato com o extensômetro
- Tripé porta-extensômetro, de bronze ou latão, com dispositivo para fixação do extensômetro;
- Disco anelar de aço, para sobrecarga, dividido diametralmente em duas partes, com 2,27 kg de massa total, com diâmetro externo de 14,90 cm e diâmetro interno de 5,40 cm
- Extensômetro, com curso mínimo de 10 mm, graduado em 0,01mm;
- O número N adotado foi de  $10^6$  pois no município é amplamente utilizado o tratamento superficial duplo com capa selante como material de revestimento.

A partir do número N adotado, que representa o carregamento aplicado pelo tráfego na via, utiliza-se da tabela disponibilizada pelo DNIT para determinação da espessura do revestimento betuminoso a ser aplicado.

**Tabela 1** – Espessura e tipo de revestimento betuminoso. Fonte: DNIT (2006)

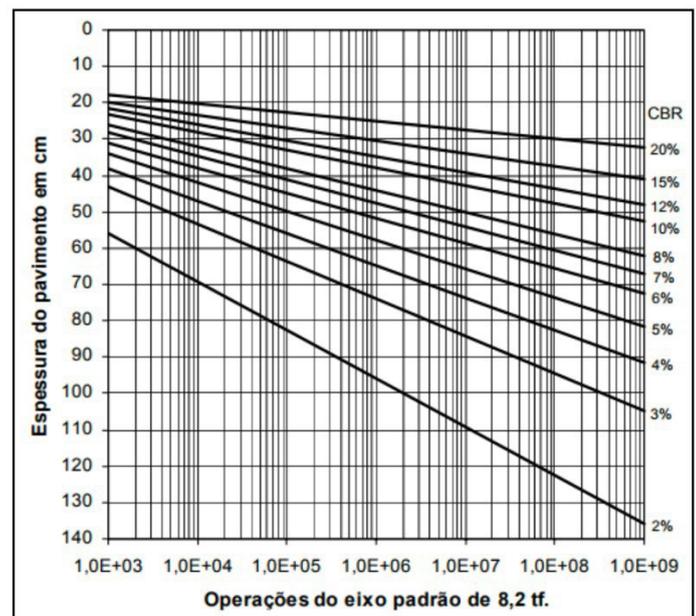
N	Espessura mínima do revestimento
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5.10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5.10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5.10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5.10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

O processo de dimensionamento envolve quatro inequações e um gráfico de referência, e sua aplicação segue os passos delineados abaixo. Inicialmente, são inseridas as informações referentes ao tráfego (expresso pelo valor N) no gráfico de referência (Figura 2). Dentro deste, é localizada a linha correspondente ao índice CBR do subleito, obtido por meio de ensaio. O valor correspondente no eixo vertical, Y, corresponde à espessura total do pavimento adequada para a combinação específica de tráfego e subleito. Esse procedimento é

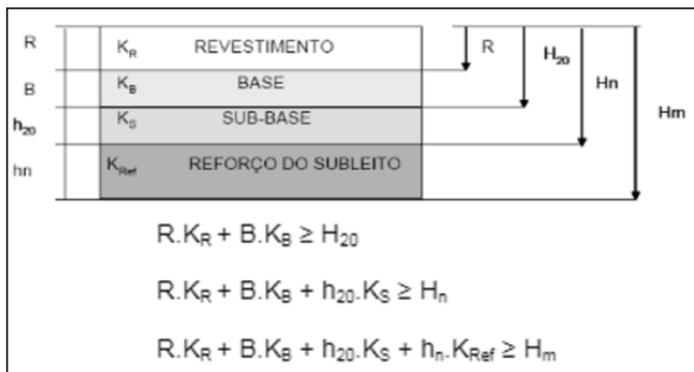
repetido, ajustando o CBR para 20%, se houver presença de uma camada de sub-base.

**Tabela 2** - Coeficiente estrutural dos materiais de pavimentação asfáltica usado no método CBR. Fonte: DNIT (2006)

Material	Coeficiente
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento de pré-misturado a quente, e graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Camada granular	1,00
Sub-base de pedregulho arenoso	0,77
Solo cimento resistência a compressão 7 dias $> 45 \text{ kg/cm}^2$	1,70
Solo cimento resistência a compressão 7 dias entre $45 \text{ kg/cm}^2$ e $28 \text{ kg/cm}^2$	1,40
Solo cimento resistência a compressão 7 dias entre $28 \text{ kg/cm}^2$ e $21 \text{ kg/cm}^2$	1,20



**Figura 2** – Ábaco de dimensionamento de pavimentos asfálticos novos. Fonte: DNIT (2006)



**Figura 3** – Inequações para determinação das espessuras pelo método do CBR.

Após a análise dos dados e utilização das inequações, é possível determinar as espessuras de cada camada do pavimento

Ao adotar o método empírico-mecanístico MeDiNa, os parâmetros utilizados para o dimensionamento são:

- Características dos materiais utilizados nas camadas: deformação permanente (DP) e módulo de resiliência (MR)
- Carregamento realizado pelo tráfego
- Composição da estrutura

Os dados do solo foram obtidos através de ensaios realizados por Roza (2018). Sendo para o solo estudado nesta pesquisa os seguintes parâmetros para os modelos composto de módulo de resiliência e modelo de Guimaraes (2009) para deformação permanente.

**Tabela 4** – Parâmetros de deformação permanente e módulo de resiliência para a amostra estudada

Solo	MR			DP			
	k1	k2	k3	ψ1	ψ2	ψ3	ψ4
Solo	370,71	0,3	-0,46	0,0 8	-0,22	1,9	0,0 4
Lat.	1453,6 4	0,5 1	-0,16	0,1 0	-0,04	1	0,0 4

### 3. Resultados

A partir dos ensaios feitos em laboratório, determinou que o subleito possui CBR de 12%, o que atende a normativa para análise do corpo de prova em umidade ótima ( $CBR \geq 2\%$  e não deve apresentar expansão maior que 2%).

Com o número N definido em  $10^6$  para o tráfego na via de estudo, infere-se a espessura e o tipo do revestimento, definido por tratamento superficial betuminoso com 2,5 cm de espessura. (Tabela 1).

A partir do método empírico CBR, obteve-se nas

inequações o dimensionamento a seguir:

**Tabela 5** – Dimensionamento pelo método CBR.

Camada	Material	Dimensão
Revestimento	TSB	2,5 cm
Base	Laterita	15 cm
Sub-base	Laterita	15 cm
Sub leito	Solo	SL

Através do método empírico-mecanístico abordado pelo software MeDiNa e utilizando os parâmetros de deformação permanente e módulo de resiliência dos materiais analisados (Tabela 4), foi possível obter os seguintes resultados:

**Tabela 6** – Dimensionamento com uso de solo extraído in loco. Fonte: MeDiNa

Camada	Material	Dimensão
Revestimento	TSB	2,5 cm
Base/sub-base	Solo natural	15 cm
Sub leito	Solo	SL

**Tabela 7** – Dimensionamento com uso de laterita. Fonte: MeDiNa

Camada	Material	Dimensão
Revestimento	TSB	2,5 cm
Base/sub-base	Laterita	15 cm
Sub leito	Solo	SL

### 4. Considerações Finais

A fim de verificar a capacidade dos solos tropicais no dimensionamento de pavimentos flexíveis e seu comportamento, além de promover a redução de custos em obra na utilização de material extraído in loco na obra para sua execução, verifica-se que a implementação do método CBR, embora útil, demonstra limitações significativas no que diz respeito à incorporação de solos finos nas camadas de sub-base e base, independentemente da intensidade do tráfego que a via possa suportar. No entanto, a introdução da abordagem MEDINA surge como uma alternativa promissora, destinada a aprimorar a avaliação dos materiais que se encontram em abundância em território nacional. Estes materiais muitas vezes são relegados ao descarte com base em metodologias convencionais, que se apoiam em métodos empíricos, os quais negligenciam a avaliação completa do comportamento mecânico inerente aos materiais.

Além disso, foi possível dimensionar as camadas do pavimento para os materiais disponíveis na cidade de Sinop – MT, apresentando uma nova forma de utilizar os métodos disponíveis pelos departamentos regulamentadores



nacionais e verificar a capacidade de materiais disponíveis in loco na composição das camadas de pavimentos em solos tropicais.

Grosso. Tese de Mestrado. Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2018.

## Referências

BERNUCCI, L. B., MOTTA, L. M. G., CERATTI, J. A. P., *et al.* *Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros*. 2. ed., v.1, Petrobras, ABEDA, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT – ME172/2016. Solos – *Determinação do índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas*. Rio de Janeiro, 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT-2006. *Manual de Implementação Básica de Rodovia*. 3a Edição, Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT-2006. *Manual de Pavimentação*. 3a Edição, Rio de Janeiro, 2006b.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNIT-ES35/2010: *Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 2010. 1

GOOGLE EARTH – MAPAS. <http://mapas.google.com>. Acesso em: 20 de agosto de 2023.

GUIMARÃES, A. C. R. *Estudo de Deformação Permanente em Solos e Teoria do Shakedown Aplicada a Pavimentos Flexíveis*. Dissertação de Mestrado. Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2001.

GUIMARÃES, A. C. R. *Um Método Mecânico-Empírico para a Previsão da Deformação Permanente em Solos Tropicais Constituintes de Pavimentos*. Tese de Doutorado. Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 2009.

GUIMARÃES, A. C. R.; MOTTA, L. M. G.; FIGUEIREDO, Y. A. B.; OLIVEIRA, J. C. S. *Um Procedimento Para Identificação de Solos Lateríticos Pedregulhosos Visando Utilização em Camadas de Base e Sub-base de Pavimentos*. Revista Pavimentação, ABPV, Rio de Janeiro, v. 36, p. 19-34. 2015.

INSTITUTO DE DEFESA AGROPECUÁRIA DE MATO GROSSO. INDEA-2023. *Com novo recorde, MT se mantém na liderança com o maior rebanho bovino do país*. Disponível em: <https://www.indea.mt.gov.br/-/com-novo-recorde-mt-se-mant%C3%A9m-na-lideran%C3%A7a-com-o-maior-rebanho-bovino-do-pa%C3%ADs> Acesso em 20 de agosto de 2023.

INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. IPR TED 682/2014. *Manual para utilização do Método Mecânico-Empírico MeDiNa*. Rio de Janeiro, 2020.

MEDINA, J. E MOTTA, L. M. G. *Mecânica dos Pavimentos*. 3a ed. Editora Interciências. Rio de Janeiro, RJ. 2015.

ROZA, A. E. D.; *Contribuição para projeto mecânico-empírico de pavimentos asfálticos na região norte do Estado do Mato*



# Estratégia para Arborização utilizando Tecnologia de Ciclo de Luz Controlado e LEDs Full Spectrum

Gustavo Henrique Flach<sup>1</sup>, Laura Cesar Pellegrini<sup>2</sup>.

1. Graduando em Engenharia Elétrica, gustavo.flach@ufpr.br, Universidade Federal do Paraná
2. Graduada em Arquitetura e Urbanismo, laura.pellegrini@ufpr.br, Universidade Federal do Paraná

**Resumo:** O projeto proposto visa aprimorar o crescimento de plantas que, devido à sua localização em áreas de baixa irradiação solar, têm seu desenvolvimento prejudicado. Isso é feito a partir de um sistema de gerenciamento de ciclo de luz, que emprega o microcontrolador Arduino e barras de diodos emissores de luz de espectro completo, com o propósito de potencializar o crescimento de plantas em ambientes internos, destinados à futura implementação no meio urbano. A metodologia abrange a programação do microcontrolador para simular um ciclo de luz solar, visando fornecer o espectro ideal de luz para o desenvolvimento das plantas. Além disso, a eficácia da barra de LEDs Full Spectrum em emular a radiação solar foi avaliada por meio de testes práticos de crescimento de plantas. Os resultados demonstram que o sistema controlado promove um crescimento otimizado e saudável nas plantas, ressaltando a eficácia da tecnologia de LEDs Full Spectrum no cultivo indoor. Essa abordagem representa um avanço significativo para a infraestrutura verde urbana e sistemas de cultivo controlado, oferecendo uma solução sustentável para a promoção do crescimento de plantas em ambientes internos.

**Palavras-chave:** LEDs Full Spectrum, Arborização urbana, Cultivo indoor.

## 1. Introdução

A crescente busca pela implementação de medidas que tornem o ambiente urbano mais sustentável, eficiente e resiliente têm impulsionado a inovação e tecnologia em diversos campos, incluindo o da infraestrutura verde (Siebert, 2014). Esse, envolve a incorporação consciente e planejada de vegetação nas cidades, com o intuito de melhorar a qualidade de vida e de reduzir os efeitos de problemáticas urbanas como a da mudança climática, ilhas de calor, inundações e perda da biodiversidade.

Leis e projetos governamentais, como a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei nº 12.651/ 2012), que regulamenta e incentiva a conservação e restauração de vegetação nativa em áreas privadas no Brasil, e o projeto “100 Mil Árvores em Curitiba”, que visa o plantio de 100 mil árvores anualmente, doadas pela prefeitura na cidade, evidenciam a importância e atualidade do olhar zeloso para o meio ambiente, em especial no enquadro citadino.

Nesse contexto, as Áreas de Preservação Permanente (APPs), faixas de terra marginais a corpos d’água ou encostas de morros, com função de assegurar a preservação dos recursos hídricos, proteção do solo, a estabilidade geológica, biodiversidade e o bem-estar das

populações humanas, são consideradas primordiais (Mattos et al., 2007 apud Seraphim, 2010), assim como as unidades de conservação (UCs). Essas, são mais variadas em área, localização e objetivos específicos, mas permitem o uso público simultâneo ao objetivo de conservação da heterogeneidade dos ecossistemas, o que torna-as mais acessíveis no panorama de maior densidade demográfica e demanda de uso do solo, comuns na atualidade. Alguns exemplos de aplicações são os parques e reservas nacionais, assim como as Áreas de Proteção Ambiental (APAs).

Diante disso, este trabalho traz como objeto de estudo uma tecnologia de iluminação artificial que otimiza o desenvolvimento de mudas arbóreas para implementação no cenário urbano, mais especificamente em áreas de preservação e conservação, em cidades onde existem complicações na germinação por conta da baixa incidência solar, como é o caso de Curitiba, no Paraná (Tiepolo et al., 2018).

Conforme a **Tabela 1**, do ano de 2021, do Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN), que segue as especificações de coordenadas geográficas da cidade de Curitiba, os meses de Maio, Junho, Julho, Setembro e Outubro apresentam menor valor de irradiação solar. Comparando com os outros meses, apresentam até 1.700 Wh/m<sup>2</sup>.dia a menos, o que indica a considerável carência na incidência de raios solares.

**Tabela 1 – Médias do Total Diário da Irradiação Direta Normal para o Estado do Paraná**

ID	Lon	Lat	Anual	Jan	Fev	Mar	Abr
4187	-49,249	-25,4005	3220	3470	3623	3336	3163
Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2841	2881	2964	4224	2606	2487	3386	3661

Esta limitação na quantidade de energia provinda do Sol que chega até a superfície terrestre de forma direta, impacta prontamente no processo de desenvolvimento da muda vegetal, reduzindo a quantidade de energia produzida pelo processo da fotossíntese. Isto, além de retardar o crescimento, pode gerar mudas mais frágeis, menos desenvolvidas, com formações e produção de nutrientes inadequadas. No contexto de reestruturação das florestas e ecossistemas urbanos, isto pode refletir na maior vulnerabilidade às doenças e instabilidade física das plantas, retratando um cenário insatisfatório para a longevidade da intervenção.

Como meio de confrontar e solucionar estas fragilidades provenientes do baixo índice de raios solares incidentes

diretamente, a aplicação de diodos emissores de luz (LEDs) em sistemas de iluminação vegetal oferece novas possibilidades de regulação da intensidade luminosa e do espectro luminoso, juntamente com uma redução significativa no consumo de energia. A capacidade de modular o espectro de iluminação por meio de LEDs também pode promover a acumulação de metabólitos vegetais importantes, muitos deles associados a propriedades nutracêuticas.

Embora a luz vermelha e azul sejam amplamente reconhecidas como regiões luminosas cruciais para o desenvolvimento vegetal, outros comprimentos de onda, como o verde, também podem desempenhar um papel na qualidade das culturas. As plantas não apenas realizam a fotossíntese, mas também são capazes de perceber e processar informações por meio de sinais luminosos de seu ambiente, o que impacta seu crescimento e desenvolvimento. Estudos destacam os efeitos das cores azul e vermelha no crescimento das plantas, enquanto a luz verde pode atuar de maneira semelhante à luz vermelho-distante, influenciando respostas adaptativas. A combinação de diferentes comprimentos de onda, como o azul e o vermelho, demonstra efeitos sinérgicos no crescimento e na acumulação de biomassa (Tarakanov, 2022).

Esse conhecimento tem implicações importantes para a eficácia das práticas de cultivo indoor, especialmente em regiões com limitações de irradiação solar direta, como Curitiba. No entanto, ainda há desafios a serem superados para otimizar o uso de LEDs em sistemas de cultivo, considerando as necessidades específicas das plantas e os impactos nas respostas fisiológicas.

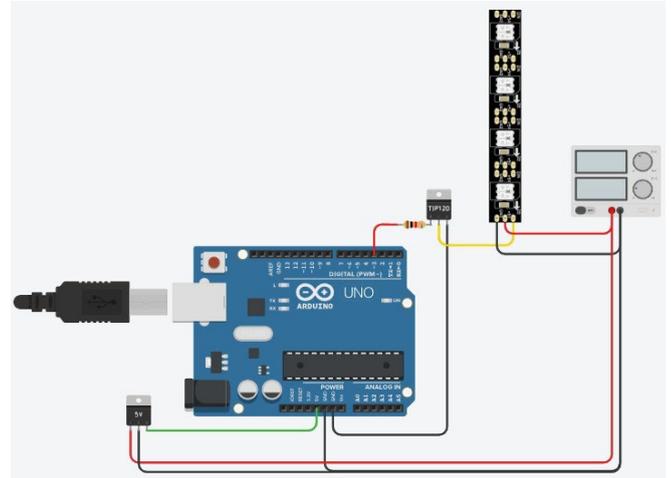
Neste contexto, este estudo tem como objetivo investigar a aplicação de LEDs Full Spectrum em um sistema de controle de ciclo de luz para promover o crescimento de plantas urbanas em viveiros de mudas e, conseqüentemente, desenvolver a arborização e a manutenção dos serviços ecossistêmicos em Curitiba, no estado do Paraná.

## 2. Metodologia

A metodologia adotada para a implementação do sistema, consistindo no controle de ciclo de luz utilizando um Arduino e a barra de LEDs Full Spectrum LXML16WHW-1 envolve uma série de etapas detalhadas para garantir o funcionamento eficiente e o objetivo de imitar o ciclo de luz solar para o crescimento de plantas em ambientes controlados.

Inicialmente, a seleção dos componentes foi realizada com base nas especificações técnicas e requisitos do projeto. Foram escolhidos um Arduino Uno, uma fonte de alimentação de 12 V genérica, um regulador de tensão de 5 V, um transistor TIP120 e a barra de LEDs Full Spectrum. A fonte de alimentação de 12 V foi conectada aos terminais de entrada do regulador de tensão de 5 V, garantindo uma tensão estabilizada para alimentação do microcontrolador. O transistor TIP120 foi conectado ao pino de controle do

Arduino e à barra de LED Full Spectrum, permitindo o controle da intensidade da luz emitida e o seu respectivo acionamento. O esquemático do circuito pode ser observado na **Figura 1**.



**Figura 1-** Esquemático do circuito proposto.

Para a programação do Arduino, foi desenvolvido um código que controla o ciclo de luz da barra de LED. O código foi elaborado para gradualmente aumentar a intensidade da luz pela manhã, manter a intensidade máxima durante o dia e, posteriormente, reduzir a intensidade gradualmente à noite, até que a barra seja desligada por completo. Isso foi obtido através da utilização da função TIMER para criar intervalos de tempo precisos, correspondendo aos períodos do dia mencionados anteriormente. Além disso, a função analogWrite() foi utilizada para controlar a saída de sinal analógico para o transistor TIP120, que, por sua vez, regulava a potência entregue à barra de LED através da técnica de modulação por largura de pulso (PWM), conseqüentemente variando sua intensidade luminosa.

A validação do sistema de controle de ciclo de luz foi realizada para verificar a sua eficácia em imitar um ciclo de iluminação que promova o crescimento saudável de plantas. Embora a comparação direta com a luz solar não tenha sido executada, a validação concentrou-se na confirmação de que o sistema controlado é capaz de operar de acordo com o ciclo predefinido que pode ser alterado conforme a espécie da planta através do código compilado no microcontrolador.

Além disso, foi avaliada a efetividade da barra de LEDs Full Spectrum, uma vez que a tecnologia promete entregar uma composição de comprimentos de onda que imitam a radiação emitida pelo Sol, ou seja, foram selecionadas plantas de teste com características de crescimento similares, onde as plantas foram expostas ao ciclo de luz controlado e o crescimento dessas plantas foi monitorado ao longo de um período de sete dias, contando com a irrigação manual das plantas conforme a recomendação para cada espécie. O ambiente de testes pode ser observado na **Figura 2**.



**Figura 2-** Prateleira de testes do sistema.

### 3. Resultados

A avaliação da eficácia do sistema de controle de ciclo de luz, em conjunto com a tecnologia de barra de LEDs Full Spectrum, foi realizada por meio de testes práticos de crescimento de plantas ao longo de um período de sete dias. Durante esse espaço de tempo, as plantas foram expostas ao ciclo de luz controlado, projetado para imitar o ciclo solar.

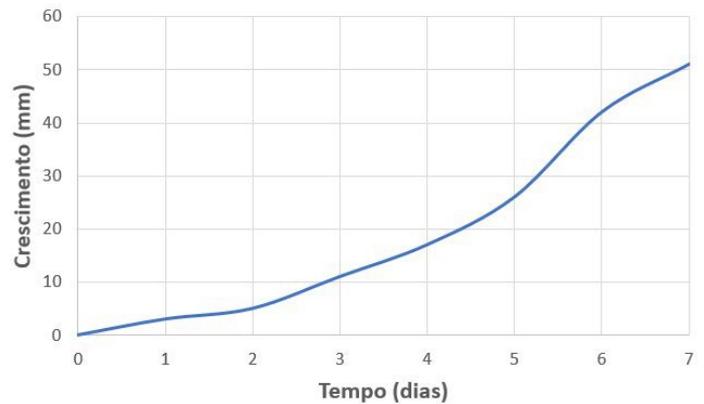
Para visualizar a influência do sistema de controle no crescimento das plantas, foram capturadas imagens do mesmo pote de plantas antes e após o período de sete dias de exposição ao ciclo de luz controlado. As imagens foram analisadas quanto ao desenvolvimento geral das plantas, assim como é possível observar na **Figura 3**.



**Figura 3-** Antes e depois dos sete dias de testes.

Comparando as imagens capturadas, observou-se um crescimento notável nas plantas após o período de exposição ao ciclo de luz controlado. As plantas apresentam um alongamento visível em sua altura, aumento da densidade de folhas e vitalidade, indicando um crescimento saudável e estimulado pelo sistema de controle, e como forma de esboçar quantitativamente o crescimento, foi gerado um gráfico baseado nas imagens capturadas, podendo ser observado um crescimento

aproximadamente exponencial.



**Figura 4-** Gráfico de crescimento.

Os resultados visuais das imagens capturadas após a semana de teste indicam claramente que o sistema de controle de ciclo de luz, combinado com a tecnologia de barra de LEDs Full Spectrum, contribui para um crescimento robusto e saudável das plantas em ambientes internos. Esse efeito positivo reforça a importância da abordagem no contexto da arborização urbana e do cultivo indoor, pois não apenas valida o sistema de controle de ciclo de luz, mas também oferece uma perspectiva promissora para a integração dessa tecnologia como uma ferramenta valiosa para impulsionar a arborização em ambientes urbanos. O sistema promove maior velocidade no cultivo e no arranjo de mudas para distribuição aos centros de preservação e conservação ambientais, além de melhores condições estruturais e nutritivas dessas, considerando o cenário de desvantajosa irradiação solar. É importante destacar que a utilização de um microcontrolador, como atuador do sistema, possibilita uma flexibilidade significativa, permitindo adaptações para se adequar às necessidades específicas de diferentes espécies de plantas, como tempo de exposição à luz e a intensidade luminosa necessária. Essa característica inovadora é fundamental, uma vez que diferentes plantas podem requerer níveis variados de luminosidade para um crescimento ideal. Além disso, o sistema apresenta a possibilidade de ajustar a altura da barra de LED de acordo com as particularidades da espécie em questão. Diferentes tipos vegetais, como por exemplo herbáceas, pisos vegetais e coníferas, possuem diferentes padrões de crescimento vertical, e a modularidade da barra de LED permite que a fonte de luz seja posicionada de maneira ideal para maximizar a eficiência da fotossíntese de cada caso específico.

### 4. Considerações Finais

A capacidade de estimular um crescimento saudável e robusto das plantas através do ciclo de luz controlado e da tecnologia de LEDs Full Spectrum oferece uma abordagem inovadora para enfrentar os desafios da expansão de áreas verdes no meio urbano, especialmente em cidades com



climas e insolações menos favoráveis. A demonstração concreta de que as plantas prosperam sob essa abordagem reforça a viabilidade de adotar tecnologias similares em projetos de planejamento e gestão ambiental de áreas de preservação e conservação.

Ao proporcionar um crescimento vigoroso, o sistema apresentado possui um papel duplo: além de melhorar a estética urbana, criando contraste da densidade vegetal com o ambiente construído e favorecendo na beleza paisagística, que impacta diretamente no bem estar dos habitantes, ele contribui diretamente para a expansão das áreas verdes nas cidades. Esse impacto positivo abrange inúmeros benefícios ambientais, como a maior permeabilidade do solo, o equilíbrio térmico, diminuição do ruído, e a conservação dos serviços ecossistêmicos, como os ciclos biogeoquímicos da água e da purificação do ar, que influenciam rigorosamente na preservação da biodiversidade local.

É de extrema necessidade o entendimento da complexidade e dimensão desse cenário em que coexistem as estruturas físicas do ambiente citadino, as relações intersociais e as atividades humanas integradas ao meio natural pré-existente. A diversidade de ações e impactos que simultaneamente se interceptam e relacionam no contexto urbano devem ser levadas em consideração no planejamento urbano, para que seja possível frear a degradação e restaurar os ambientes já impactados, prioritariamente. Afinal, como alertou Acsehrad, “o futuro das cidades dependerá, em grande parte, dos conceitos constituintes do projeto de futuro construído pelos agentes relevantes da produção do espaço urbano”.

Ainda, é fundamental a interdisciplinaridade de profissionais atuando na gestão e planejamento urbano para abordar de maneira eficaz esses desafios multifacetados, tendo perspectivas amplas e permitindo que maiores e mais diversas oportunidades de inovação e tecnologia surjam e sejam aplicadas como meios de desenvolvimento.

Os resultados deste estudo não apenas demonstram a viabilidade da tecnologia de ciclo de luz controlado e LEDs Full Spectrum em viveiros de mudas, mas também mostram como ela pode desempenhar um papel vital na conformação de infraestruturas verdes urbanas mais equilibradas e em sintonia com os princípios da sustentabilidade, oferecendo uma perspectiva otimista para a arborização urbana. A integração de soluções inovadoras como essa, de suplementação de irradiação, tem o potencial de transformar nossas cidades em espaços mais verdes, saudáveis e habitáveis, fortalecendo a conexão entre o ambiente construído, a sociedade e a natureza em constante evolução.

Este trabalho abre caminho para uma série de possíveis investigações e aprimoramentos, como o refinamento no espectro de luz fornecido pelos LEDs, visando adequá-lo para espécies específicas de plantas, com objetivo de atingir condições ideais para o crescimento. Também é possível explorar a incorporação de sensores de umidade, temperatura e dióxido de carbono ao sistema, para a criação de um ambiente ainda mais controlado e adaptável.

Adicionalmente, pode-se realizar estudos de análise do ciclo de vida e avaliação do impacto ambiental do sistema, visando demonstrar de forma clara sua sustentabilidade e eficácia.

## Referências

- ARDUINO. *Arduino Reference - analogWrite() Function*. Disponível em: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/analog-io/analogwrite/>. Acesso em: 10/08/2023.
- BRASIL. *Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012*. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, nº 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e nº 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 maio 2012.
- CAVALLARO, V.; MULEO, R. *The Effects of LED Light Spectra and Intensities on Plant Growth*. Plants (Basel), 2022 Jul 23.
- LUNEX Tecnologia LTDA. *Barra de LEDs Full Spectrum LXML16WHW-1*. Disponível em: [https://www.lunex.com.br/images/catalogos/Fichas/Ficha\\_FULL\\_SPECTRUM\\_rev01.pdf](https://www.lunex.com.br/images/catalogos/Fichas/Ficha_FULL_SPECTRUM_rev01.pdf). Acesso em: 10/08/2023.
- LUNEX Tecnologia LTDA. *Fonte de Tensão 150W 12V 12,5A IDEA: LX1213-ID*. Disponível em: <https://www.lunex.com.br/images/catalogos/Fichas/Especificaca-tecnica-fonte-150-w-idea.pdf>. Acesso em: 10/08/2023.
- LABREN. *Médias do Total Diário da Irradiação Direta Normal para o Estado do Paraná*. Disponível em: [http://labren.ccst.inpe.br/atlas2\\_tables/PR\\_dir.html](http://labren.ccst.inpe.br/atlas2_tables/PR_dir.html). Acesso em: 22/08/2023.
- LUXEON. *SunPlus 2835 Line*. Disponível em: <https://lumileds.com/wp-content/uploads/files/DS237-luxeon-sunplus-2835-line-datasheet.pdf>. Acesso em: 10/08/2023.
- ON Semiconductor. *TIP120 NPN Epitaxial Darlington Transistor*. Disponível em: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/tip120-d.pdf>. Acesso em: 10/08/2023.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. *100 Mil Árvores para Curitiba - Como Participar*. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/servicos/100-mil-arvores-para-curitiba-como-participar/788>. Acesso em: 21/08/2023.
- RESTAURA NATUREZA. *Conservar*. Disponível em: <https://restauranatureza.org.br/temas/conservar>. Acesso em: 22/08/2023.
- SERAPHIM, D. S. *Unidades de conservação em áreas de preservação permanente urbanas: implementação e percepção na cidade de Curitiba, PR, Brasil*. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) - Universidade Positivo. Curitiba, 2010.
- SIEBERT, C. *Sustentabilidade Urbana: o Pensamento Ambiental e as Cidades*. In: SCHULT, Sandra; B., N. (orgs.). *As Múltiplas Dimensões das Áreas de Preservação Permanente*. Blumenau: Edifurb, 2014.
- TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, S. V.; GONCALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S.; ALVES, A. R. *Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná*. 1a Edição. Curitiba: INPE, 2018.
- PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017.
- UNEP. *A Década da Restauração de Ecossistemas no Brasil*. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e>



reportagens/reportagem/decada-da-restauracao-de-ecossistemas-no-brasil#:~:text=A%20D%C3%A9cada%20da%20ONU%20para,um%20chamado%20global%20%C3%A0%20a%C3%A7%C3%A3o. Acesso em: 21/08/2023.

TARAKANOV, I. G. et al. *Effects of Light Spectral Quality on Photosynthetic Activity, Biomass Production, and Carbon Isotope Fractionation in Lettuce, Lactuca sativa L., Plants*. *Plants* (Basel), v. 11, n. 3, p. 441, fev. 2022.



# Avaliação de sistema de medição de consumo hídrico por variação de nível em reservatório

Bene Camargo<sup>1</sup>, Daniel Jadyr Leite Costa<sup>2</sup>.

1. Mestrando, benecamargo@estudante.ufscar.br, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – PPGEU, UFSCar  
2. Doutor, danielcosta@ufscar.br, Professor do Departamento de Engenharia Civil e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – PPGEU, UFSCar.

**Resumo:** Quando se pretende a gestão racional dos recursos hídricos, obrigatoriamente se faz necessária a medição individualizada. Para isso, são utilizados hidrômetros e, para os casos da inviabilidade destes medidores, tecnologias alternativas de medição são aplicadas. Neste sentido, foi estudada a aplicabilidade de um sistema de medição de vazão por variação de nível na descarga de reservatório. O objetivo desta etapa do trabalho foi realizar uma análise experimental de um sistema de medição de consumo de água em reservatórios a partir da aferição da variação do nível de água. Foi utilizado sensor ultrassônico de distância para observar o desempenho da variação de nível dentro do reservatório. A vazão foi confirmada por método mássico. A resposta dos valores lidos pelo sensor tiveram ajuste por método de normalização boxplot, e então puderam ser modelados. Os desafios que este método de medição apresenta estão relacionados com aspectos físicos da instalação do sensor e a possibilidade de modelagem do desempenho do mesmo. Os resultados encontrados podem oferecer material de suporte a aplicação de métodos de medição por sensor de nível e, conseqüentemente, subsídio à gestão racional do recurso hídrico.

**Palavras-chave:** hidrometria, reservatório, sensor ultrassônico.

## 1. Introdução

A Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), Lei Federal nº 9.433 (Brasil, 1997), indica que a gestão dos recursos hídricos deve observar critérios de utilização racional e integrada de modo que as futuras gerações possam participar dos recursos com qualidade e quantidade suficientes. Entretanto, a disponibilidade de água não cresce como a demanda da população e atividades produtivas. São dois dos instrumentos da PNRH a cobrança pelo uso da água e a outorga dos direitos de uso, estes estão conectados pela necessidade de medição do recurso hídrico. A cobrança de uso relaciona a quantidade e qualidade da água para a atividade e a outorga relaciona o tempo, disponibilidade e intenção de uso.

A medição de água também alcançou parâmetros legais, a Lei Federal 13.312/2016 (Brasil, 2016). Esse novo marco legal do saneamento, aponta a medição e cobrança do abastecimento de água em edificações residenciais por força de lei. Sendo assim, é necessário conhecer a quantidade e qualidade do recurso hídrico, da escala da bacia hidrográfica até seus diversos usos para a gestão

holística com o foco na otimização e sustentabilidade do consumo.

O ambiente urbano tem uma cobertura significativa com uso dos hidrômetros residenciais. Porém, o abastecimento predial está sujeito a vazões que ultrapassam as vazões limites estabelecidas para os hidrômetros convencionais, tanto para menos quanto para mais (Ilha et al, 2010). A Portaria nº 246/2000 do INMETRO (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL) (INMETRO, 2000) indica a vazão mínima e máxima de 15 a 3000 L/h para o hidrômetro residencial Classe C. Sistemas indiretos, isto é, que fazem uso de caixas d'água como sistemas de bóia, são um exemplo que, no limite do estrangulamento da chave bóia, alcança vazões pequenas que não são detectadas pelos hidrômetros convencionais. Em escala nacional, estima-se que os casos de não medição podem computar o valor de 23% do volume consumido (Pereira & Ilha, 2008; Silva, 2008; Souza, 2015). O ambiente rural, por sua vez, tem pouquíssima cobertura de medição de água. Partindo dos dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (ANA, 2023) que apontam que o consumo de água para agricultura e pecuária corresponde a mais de 60% do uso anual de água a nível Brasil. Recursos investidos na medição do consumo de água podem ter impactos significativos nos âmbitos econômico e ambiental (Mierzwa & Hespagnol, 2005).

Nesse sentido, sistemas alternativos de medição de vazão são necessários para cobrir as lacunas existentes nos sistemas hidráulicos. O uso de tecnologias e integração por Internet das Coisas (IOT) é uma frente que tem atuado proporcionando observação instantânea dos fenômenos, auxiliando em uma gestão mais assertiva e com maior potencial sustentável (Velani, 2022).

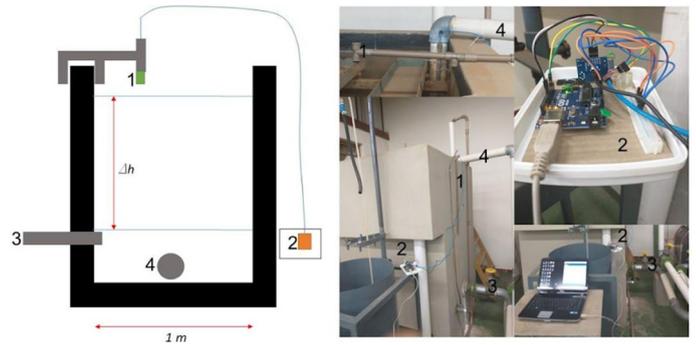
Existem exemplos de sistemas alternativos de medição de consumo hídrico por meio de observação de variação de nível em reservatório. Sensores de pressão e de distância têm sido utilizados, porém ainda é necessário melhor conhecimento da atuação destes sensores, assim como disseminação das experiências para a popularização de tais tecnologias. Na Arábia Saudita, Khan et al. (2022) atuaram na medição de consumo em tempo real para cômputo e emissão de alerta para o caso de escassez. Kalamani et al.(2022), na Índia, trabalharam com sistemas análogos mostrando resultados com maior precisão de consumo per capita em áreas residenciais. Olisa et al. (2021), da Nigéria trouxeram resultados de uso de sensores para a identificação de parâmetros de qualidade da água e do volume consumido em reservatórios habitacionais.

O comportamento de sensores ultrassônicos de distância foi estudado por Pereira et al. (2022) em canais e trouxe resultados sobre o funcionamento destes em face à turbulência da lâmina d'água. Estudo similar foi realizado por Aroca (2020) para o caso de emissão de alerta de enchente com a variação de nível dentro de canais urbanos no município de São Carlos. A proposta da adoção destas tecnologias visa a disseminação em escala de modo a abranger maior volume de informações, isto implica que estas tecnologias necessitam ser acessíveis do prisma operacional e financeiro, assim as tecnologias de automação que eram exclusivas da indústria e de projetos futuristas podem atuar em sistemas praticáveis e fomentar material para o manejo das águas (Kalamani et al., 2022). Sendo assim, a principal motivação desta pesquisa é a busca por um sistema de medição hídrica que contemple maior espectro da demanda de medição. Também é premissa que o sistema possibilite a instalação e manutenção descentralizada, sendo o conhecimento de livre acesso, e com custos de instalação e manutenção que façam frente aos sistemas de medição existentes. Logo, este trabalho teve como objetivo analisar experimentalmente um sistema de medição de consumo de água a partir da observação da variação do nível da água no reservatório. Para isso foi avaliada a resposta de um sensor ultrassônico de distância para a aferição do nível de reservatório e comparada a vazão inferida com valores empíricos observados em laboratório.

## 2. Metodologia

Para a pesquisa foram utilizados equipamentos do laboratório de Hidráulica do DECiv/UFSCar. O reservatório onde os testes foram realizados é uma estrutura de alvenaria soerguida de aproximadamente 50 cm. Ele é em forma de um prisma retangular e tem as dimensões internas de 104 cm de comprimento por 104 cm de largura. A altura útil do reservatório, isto é, do ponto inferior no orifício de descarga até o extravasor (ladrão) superior, é de 130 cm de altura. A água entra neste reservatório por uma tubulação que passa por sobre a borda do reservatório e é encaminhada ao assoalho de modo que a água abastece o reservatório a partir de seu nível inferior. Este reservatório descarrega seu volume, por uma tubulação de 2" de diâmetro nominal. A água que sai do sistema é coletada para recirculação e realização dos testes.

O sensor foi instalado como idealizado no desenho amostral para os testes em escala piloto. A instalação e seu croqui estão expostos na **Figura 1**, onde o sensor e seu comportamento foram observados com os ciclos de carga e descarga do reservatório.



**Figura 1** - Instalação do sistema hidráulico.

Neste esquema o número 1 representa a instalação do sensor ultrassônico de distância e seu suporte. O reservatório onde seria aferida a variação de nível. O número 2 representa o microcontrolador do sensor ultrassônico de distância e a placa Arduino UNO. O número 3 representa a altura do tubo de saída de água do reservatório. O número 4 representa o tubo de entrada de água do reservatório.

Para coletar os dados registrados pelos sensores foi utilizado o software livre Coolterm idealizado por Roger Meyer (2022). Após relatar os dados na planilha, foi executada uma primeira leitura. Nesta foi necessário trabalhar de modo que cada unidade de informação fosse mantida, pois sua contagem implica a progressão do tempo. Foram identificados os outliers nos dados com a técnica de análise do gráfico boxplot. Este gráfico evidencia os pontos que são discrepantes na distribuição (TRIOLA, 2005).

Os valores nulos (0 ou 250mm) que apareceram foram tratados como outliers e normalizados. Ao carregar a informação de tempo, foi necessário adaptar um modelo para observar o comportamento da variação de nível. Assim, principalmente na indústria, quando o volume de dados é grande, utiliza-se a técnica de trazer estes valores mais próximos aos limites inferior e superior para não perder as outras informações que o dado traz consigo (DIAZ ANDINO, 2022).

A variação de nível dentro do reservatório foi ajustada pelo modelo proposto por Giorgetti (2008) e, com base nos estudos de Torricelli, observou-se o comportamento da descarga do reservatório. Onde é estabelecida uma relação entre a velocidade com que o fluido escoar por um orifício no reservatório e a altura da lâmina d'água dentro deste reservatório (GIORGETTI, 2008).

A vazão é inferida com base na equação da conservação de massa, obtida pelo Teorema de Transporte de Reynolds. Neste caso foram consideradas: a velocidade de escoamento do fluido, a área interna da seção do cano de saída e, o ângulo entre a superfície da área atravessada pelo líquido e a direção que o fluido escoar. Como forma de validar o valor de vazão do reservatório, observou-se a descida do nível da água dentro do reservatório e o comportamento da vazão d'água na tubulação de descarga do reservatório. Este comportamento foi observado por meio do método mássico. No decorrer do esvaziamento do reservatório foram coletadas e cronometradas amostras de volume de água. O volume de água coletado foi pesado em uma balança de precisão no laboratório. Desta forma,

considerando o peso específico da água, a massa lida na balança e o tempo que foi necessário para coletar o dado volume de água, pode-se inferir a vazão com que a água sai do reservatório e relacionar com a coluna d'água, isto é, com a dinâmica da coluna d'água equivalente dentro do reservatório. Com esta aferição foi possível encontrar o coeficiente que relaciona o valor empírico com o valor teórico.

### 3. Resultados

Para conhecer o comportamento do sensor foram realizados previamente três testes estáticos. No primeiro, o sensor foi direcionado para um anteparo sólido. No segundo teste, o sensor foi apontado para a superfície de um líquido, no caso foi utilizada a lâmina d'água contida dentro de um reservatório de cinco litros. E no terceiro teste, o sensor foi acoplado em uma tubulação de 50 cm de comprimento e diâmetro nominal 100 mm, de modo que o tubo de PVC atuasse como um guia do sinal sonoro. Neste terceiro teste o sensor também foi direcionado para a superfície de um líquido. A distância do sensor até os anteparos foi de 67 cm, 63 cm e 55 cm, respectivamente. Esta distância foi confirmada com o uso de uma régua. Programou-se para que o sensor mostrasse uma leitura por segundo e foi permitido que ele realizasse leituras por mais de trinta minutos. A Tabela 1 a seguir aponta as estatísticas obtidas para os testes.

**Tabela 1 – Testes estáticos**

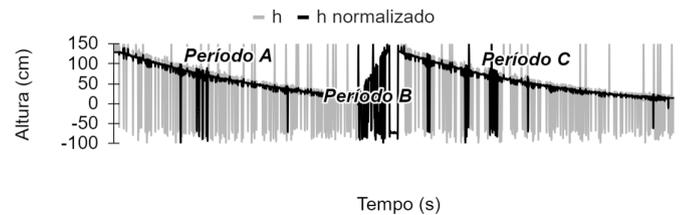
	1, sólido	2, líquido	3, guia
Distância real (cm)	67	63	55
Média (cm)	88,67	76,15	67,48
Erro padrão (cm)	1,29	1,07	0,88
Mediana (cm)	67	63	55
Modo (cm)	67	63	55
Desvio padrão (cm)	56,85	48,70	48,07
Variância (cm <sup>2</sup> )	3231,4	2372,17	2311,52
Contagem	1940	1989	1951

Estes testes apontaram que, devido a variação da leitura pelo sensor, é necessário a utilização de uma ferramenta de ajuste. Os valores médios não foram compatíveis com os valores reais. Os valores brutos extraídos do sensor precisam passar por um tratamento, como o de normalização de valores atípicos. Foi notada menor incidência de valores atípicos quando foi utilizado o direcionador. Apesar do teste 3 apresentar menor valor para desvio e variância, ainda assim não foi possível utilizar os valores médios.

Para a carga do reservatório foi acionada a bomba e vazão nominal de 60 m<sup>3</sup>/h, até que notado o enchimento completo do reservatório. Isto foi confirmado com a saída de água pelo extravasor. Com isso, a bomba foi desligada e pode

ser observada a variação de nível devido ao esvaziamento do reservatório. Sendo este ciclo de carga e descarga repetido para as devidas observações.

Esta etapa está demonstrada na **Figura 2** onde ocorreu o processo de descarga (período A), recarga (período B) e descarga (período C) novamente do reservatório.

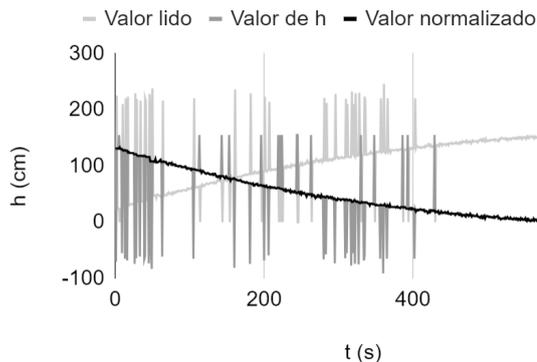


**Figura 2 – Gráfico do ciclo de descarga (A e C) e recarga (B)**

Os valores de distância entre sensor e lâmina d'água foram transformados em seus equivalentes em função da coluna d'água. A parcela de altura de coluna d'água que apresenta valores negativos, incompatível com a realidade, é correspondente a incidência de valores atípicos apresentados pelo sensor.

Uma característica observada para o caso da leitura sobre lâmina d'água, ou superfícies líquidas, foi que houve maior incidência de valores atípicos quando a superfície do líquido estava agitada, isto é, quando havia movimentação intensa na lâmina d'água. Esta observação ficou mais evidente quando se trocou o modo como o reservatório era abastecido. Ao ser permitida a entrada da água no reservatório pela parte superior, o contato do jato de água na lâmina d'água causou turbulência, de modo que o funcionamento da leitura por eco ficou comprometido e não foi possível fazer a leitura. Quando foi utilizado o modo de abastecimento do reservatório pela parte inferior, a lâmina d'água sofreu menor perturbação de modo que conseguiu-se realizar a leitura do comportamento da entrada de água no reservatório. No Gráfico 1, anteriormente, também foi possível observar o evento em que há mais turbulência na lâmina d'água, período B em que o reservatório está sendo recarregado.

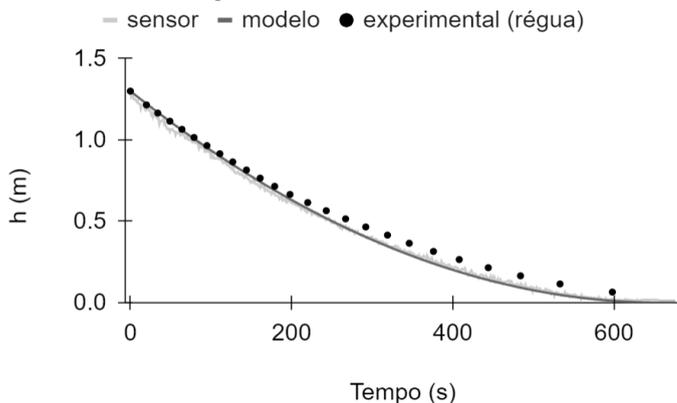
O código foi escrito de modo que houve a aferição de uma medida a cada segundo, isto é, a cada 1000 milissegundos. Porém, quando apareciam os valores atípicos, era aplicada a normalização do valor. Isto foi feito observando uma gama de dados em torno do valor observado. O ajuste foi praticado considerando o minuto em que o dado foi obtido, observando o comportamento dos 30 valores anteriores e dos 30 valores posteriores. A **Figura 3** destaca o comportamento da curva normalizada.



**Figura 3 - Normalização dos dados**

Na curva mais clara está representado o valor lido pelo sensor. Na curva cinza escuro está o valor de h que corresponde a centímetros de coluna d'água dentro do reservatório. Em preto está o valor normalizado que corresponde ao comportamento da variação de altura da lâmina no decorrer do tempo. Assim, foi possível observar a descida do nível d'água sem perder as informações secundárias dos dados.

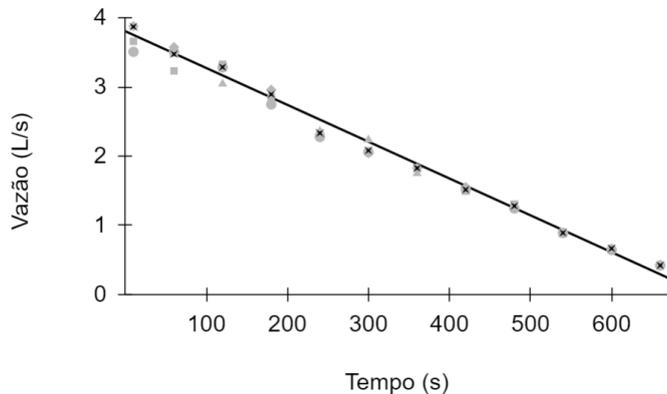
Este modelo, que se baseia nos dados oferecidos pelo sensor, pode ser comparado com os valores observados em uma régua para a descarga do reservatório, pois dessa maneira, como os valores da régua são confiáveis, é possível verificar se a informação produzida pelo sensor é válida. Na **Figura 4** a seguir é apresentado o modelo e os valores lidos na régua.



**Figura 4 - Altura da coluna d'água**

Como citado anteriormente, o modelo sugerido faz uso da constante K para ajuste dos dados. Com o auxílio da ferramenta Solver nas planilhas eletrônicas, pode-se encontrar o valor do parâmetro  $K=0,0031$ .

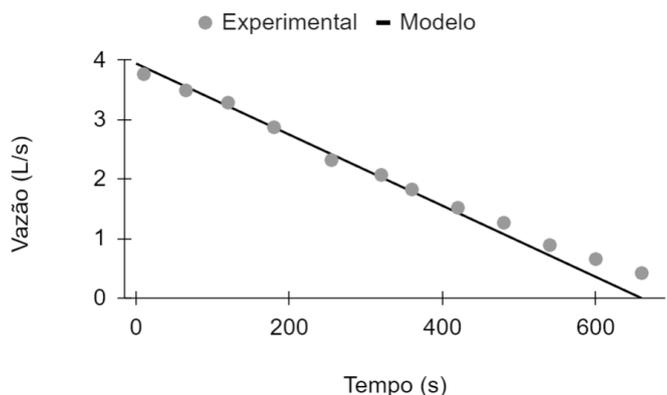
Concomitantemente com a coleta de dados relativos aos sensores, foi aferida a vazão pelo método mássico no final da tubulação de drenagem do reservatório. Foram realizados quatro ensaios para a determinação da vazão, de modo que a vazão média observada no fim da tubulação, oriunda da descarga do reservatório, está apontada na **Figura 5**, a seguir.



**Figura 5- Vazão mássica**

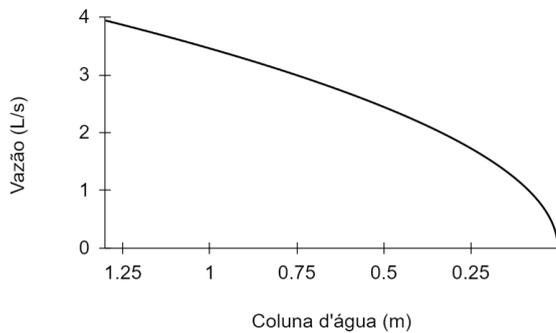
Em preto está apresentada a curva do comportamento da média da vazão. Esta vazão observada foi comparada à equação de descarga de reservatórios de Torricelli (PORTO, 2008). Lembrando que o modelo tem a premissa da descarga do reservatório ser por um orifício de paredes finas e com fluxo ortogonal ao fundo do reservatório. As variações na forma e localização do orifício de descarga do reservatório implicam em progressivas somas de valores de perda de carga na vazão.

Uma vez obtido o comportamento da vazão, empiricamente, pelo método mássico, buscou-se comparar os resultados com o modelo de descarga de reservatório. Com a comparação foi possível identificar o fator multiplicante que aproxima os valores do modelo aos valores obtidos pela experimentação. As observações entre os dois quadros estão na **Figura 6** a seguir.



**Figura 6- Dados experimentais de vazão e modelo**

Aplicando a ferramenta de planilha eletrônica encontrou-se a relação entre a vazão observada empiricamente e a vazão teórica. A vazão é ajustada por um coeficiente C que remete a perda de carga devido às condições físicas do orifício e das tubulações na descarga do reservatório. Observando a relação do produto entre a vazão do modelo vezes o coeficiente C sendo igual à vazão encontrada experimentalmente, conclui-se que C é igual a 0,35. Também pode ser observada a relação entre a altura da coluna d'água e a vazão que sai do reservatório na **Figura 7**.



**Figura 7** - Relação da vazão com a altura do nível no reservatório

Pela equação do esvaziamento de reservatório, a vazão de descarga é proporcional à raiz quadrada da altura e este comportamento quadrático pode ser notado no Gráfico 6 anterior.

#### 4. Considerações Finais

Neste trabalho foi possível encontrar o volume de água consumido e a vazão correspondente ao observar o comportamento da medição por um sensor ultrassônico de distância instalado dentro do reservatório. Foi notado que a resposta do sensor, desde que conhecidos os parâmetros em que atua, pode oferecer resposta precisa para um espectro maior que o de atuação de um hidrômetro residencial urbano comum, tanto para vazões maiores quanto menores que as estabelecidas para o funcionamento do medidor. Mecanismos de medição por sensores têm maior potencial de celeridade na coleta de dados e integração da informação, requisitos estes que fornecem material para gestão otimizada e acompanhamento instantâneo do consumo.

#### Referências

ALÉM SOBRINHO, P. e TSUTIYA, M. T. Coleta e transporte de esgoto sanitário. São Paulo: Epusp/PHD. 1999

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Gestão das águas - Usos da água. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/usuarios-da-agua>>. Acesso em: 20 de mai. de 2023.

BRASIL. Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1997.

BRASIL. Lei 13.312/2016. Altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, para tornar obrigatória a medição individualizada do consumo hídrico nas novas edificações condominiais.

DIAZ ANDINO, F. E. Estudo da influência de outliers univariados na identificação de sistemas SISO. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) - Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2022. doi:10.11606/D.3.2022.tde-27052022-074858. Acesso em: 2022-08-15.

GIORGETTI, M. F. Fundamentos de fenômenos de transporte para estudantes de engenharia. São Carlos: Suprema, 2008.

ILHA, M. S. O. et al. Sistemas de medição individualizada de água: como determinar as vazões de projeto para a especificação dos hidrômetros? Eng. Sanit. Ambient., v.15, n.2, p.177-186, 2010.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (BRASIL). Portaria Nº 246 de 17 de outubro de 2000.

KALAMANI, M et al. Automation of water tank management system for residential Areas. 2022. Materials Today: Proceedings. Volume 62, Part 4. Pages 2388-2391. ISSN 2214-7853. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.981>.

KHAN, F. Q. et al. Real-time consumer aware and alert system based on smart water tank. Materials Today: Proceedings, Volume 63, 2022, Pages 790-797, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.506>. 2013.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. Água na Indústria - Uso Racional e Reuso. Oficina de Textos, São Paulo, 2005.

OLISA, S. C. et al. Smart two-tank water quality and level detection system via IoT. Heliyon. Volume 7, Issue 8. 2021. e07651. ISSN 2405-8440. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07651>.

PEREIRA, L. G. & ILHA, M. S. O. Avaliação da submedição de água em edificações residenciais unifamiliares: o caso das unidades de interesse social localizadas em Campinas, no estado de São Paulo. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.8, n.2, p.7-21, 2008.

PEREIRA, T.S.R. et al. Evaluation of Water Level in Flowing Channels Using Ultrasonic Sensors. Sustainability 2022, 14, 5512. <https://doi.org/10.3390/su14095512>

PORTO, R. de M. Hidráulica básica. São Carlos: EESC-USP. . Acesso em: 15 jun. 2022. , 2008.

ROGER M. Roger Meier's Freeware (2022) - Disponível em: <<https://coolterm.en.lo4d.com/windows>>. Acesso em: 20 de jul. de 2022.

SCALIZE, P. S. et al. Substituição racional de hidrômetros em sistemas de abastecimento de água. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 9, p. 1-9, 2014.

TRIOLA, M. F. Introdução à Estatística. 9 ed. 656 p. Rio de Janeiro, 2005.

VELANI, A.F.; NARWANE, V.S.; GARDAS, B.B. Contribution of Internet of things in water supply chain management: A bibliometric and content analysis. 2022. Journal of Modelling in Management, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/JM2-04-2021-0090>

VERÓL, A. P.; VAZQUEZ, E.G.; MIGUEZ, M.G. Sistemas prediais hidráulicos e sanitários: projetos práticos e sustentáveis. 1ª ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

## Estabilização Mecânica e Química de Solo Argiloso Retrátil do Sul do Brasil

Murilo Henrique dos Santos Novaes<sup>1</sup>, Jean Alberto Sampietro<sup>2</sup>, Carlos Vieira<sup>3</sup>, Kelly Tamires Urbano Daboit<sup>4</sup>, Schayanne Matos Henrique<sup>5</sup>, Aline Lima de Sena<sup>6</sup>.

1. Mestre em Ciência do Solo, Murilo.henriquee@hotmail.com, Universidade do Estado de Santa Catarina
2. Doutor em Engenharia Florestal, engsampietro@gmail.com, Universidade do Estado de Santa Catarina
3. Mestrando em Ciência do Solo, carlosvieira.agro@gmail.com, Universidade do Estado de Santa Catarina
4. Mestranda em Ciência do Solo, kellytamiresudaboit@gmail.com, Universidade do Estado de Santa Catarina
5. Doutoranda em Ciência do Solo, schayanne.henrique@gmail.com, Universidade do Estado de Santa Catarina
6. Doutoranda em Ciência do Solo, alinelimadesena@hotmail.com, Universidade do Estado de Santa Catarina

**Resumo:** Este artigo aborda o estudo da influência da estabilização mecânica e química de um solo com potencial de retração/expansão do Sul do Brasil, visando avaliar a variação da consistência, granulometria, compactação e resistência mecânica. O solo foi coletado em Vacaria/RS, contendo textura muito argilosa, sendo classificado conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) como Latossolo Bruno Distrófico Típico (LBVAC), do horizonte B (HB) coletado foi incorporado 3% de cimento CP II, e o solo é originário do basalto. A metodologia dos ensaios de laboratório englobou: (i) Limites de consistência; (ii) Análises granulométricas; (iii) Ensaio de compactação; (iv) Índice de suporte Califórnia (CBR); (v) Ensaio de Cone de Penetração Dinâmica (DCP). O período de cura das misturas foi de no mínimo 24 horas. Os resultados desta pesquisa indicam que a estabilização mecânica teve baixo efeito conforme ocorreu o aumento das energias, e na estabilização química a incorporação do cimento influenciou positivamente nos parâmetros de resistência à compressão e expansão do solo em condições extremas de saturação.

**Palavras-chave:** Solo-cimento, retração, expansão.

### 1. Introdução

No Sul do Brasil existe uma gama de diferentes solos, que apresentam peculiaridades no que se refere a condições físicas, onde a capacidade de retração é notória em alguns solos argilosos. Visto que alguns pesquisadores estudaram e caracterizaram estes solos foi identificado que nos ciclos de secagem estes solos apresentaram fragmentação em blocos prismáticos e fendilhamento acentuado em sua estrutura (SANTOS *et al.*, 2018), e nos ciclos de umedecimento notou-se expansão do volume de solo.

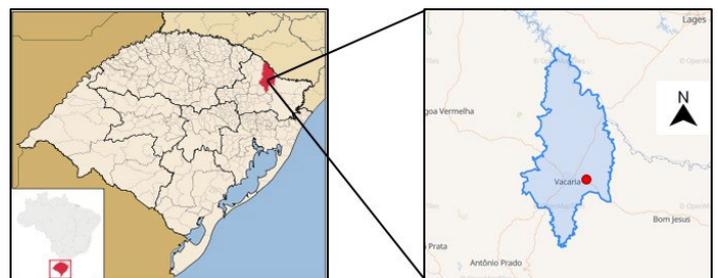
Na geotecnia universal os solos que apresentam elevado grau de expansão têm sua notoriedade iminente, pois estes levam a grandes problemas patológicos na estrutura dos pavimentos causando trincas e rachaduras, porém a retração também é muito importante, pois pode levar a grandes movimentações do solo em épocas de verão cuja precipitação é amena, pois os solos subtropicais argilosos apresentam um índice de vazios de quase 70% favorecendo o rearranjo das partículas de solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a estabilização mecânica e química de um solo retrátil possibilitando

identificar se o mesmo pode ser utilizado como sub-base de pavimento de acordo com as premissas do Índice de Suporte Califórnia (CBR) explanadas no Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), e ainda verificar se este solo retrátil muito argiloso tem alta capacidade de expansão mesmo em condição compactada.

### 2. Metodologia

Para condução das análises o solo escolhido foi coletado em talude de corte adjacente a rodovia (BR-285) em Vacaria/RS, solo este estudado por Silva (2015; 2017; 2019) e Testoni (2015). A localização exata está exposta na **Figura 1**, e as coordenadas são **28°30'47.40" S; 50°53'36.90" W**;



**Figura 1** – Localização do município de Vacaria/RS e do local de coleta do solo (ponto vermelho em detalhe).

Fonte: maps.google.com

Coletou-se cerca de 80 kg de solo a uma profundidade de 80 cm caracterizando o HB.

Para realização da análise granulométrica foi utilizado o método da Pipeta descrito por Day (1965) com três repetições para cada solo (Silva, 2015). Os “Limites de Atterberg” foram descritos segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – Norma Brasileira (ABNT-NBR) 6459:2016 – Solo – Determinação do Limite de Liquidez e ABNT-NBR 7180:2016 – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade.

O ensaio de compactação teve execução precedida pelos métodos da ABNT-NBR 6457/2016 - Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização e da ABNT-NBR 7182/2016 - Ensaio de compactação. Os ensaios de CBR foram realizados na energia intermediária, simulando uma energia para uso do solo compactado em uma sub-base de pavimento. Duas

normas foram utilizadas para auxiliar no processo a ABNT-NBR 9895/2016 – Solo – Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio e a Norma DNIT 172/2016 ME – Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio.

O ensaio de Cone de Penetração Dinâmica (DCP) é realizado por um equipamento padronizado dotando-se de ponteira cônica que penetra no material. Não há regulamentação no Brasil deste ensaio, logo o uso da norma Americana é viável chamada de *American Society for Testing and Materials (ASTM) D-6951:2018 (Standard test method for use of the dynamic cone penetrometer in shallow pavement applications)*. Este ensaio foi executado após os cilindros serem expostos a embebição durante 96 horas e realizado o CBR. A penetração foi realizada ao lado do ponto deformado pela prensa na mesma face, onde buscou-se o índice de penetração do material estudado com intuito de correlacionar com os valores obtidos de CBR.

### 3. Resultados

Os índices físicos obtidos estão explanados na **Tabela 1**, e enfatizam que o solo apresentou variações significativas na textura e nos limites de consistência, ou seja, o aditivo proporcionou a cimentação das partículas de argila transformando-as em silte, o limite de liquidez (LL), o limite de plasticidade (LP) e o índice de plasticidade (IP) obtiveram redução em seus valores.

Tabela 1 – Índices Físicos do LBVAC HB

Solo Puro		Solo com Aditivo	
Argila (%)	65,3	Argila (%)	49,41
Silte (%)	26,2	Silte (%)	42,19
Areia (%)	8,40	Areia (%)	8,40
LL (%)	66,81	LL (%)	57,67
LP (%)	56,81	LP (%)	48,95
IP (%)	10,01	IP (%)	8,72

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Para mensurar o efeito da estabilização mecânica em diferentes energias, a **Figura 2** denota que o solo apresenta uma baixa variabilidade de massa específica aparente seca ( $\rho_d$ ) conforme ocorre o incremento de energia de compactação, ou seja, em termos de execução *“in loco”* de infraestrutura rodoviária, o incremento de energia por intermédio de rolos compactadores pé de carneiro com uma maior quantidade de “fecha” resultará em pouco ganho de  $\rho_d$  neste tipo de solo. Na energia intermediária (EI) o solo apresentou uma umidade ótima a compactação ( $U_{oc}$ ) = 32,5% e massa específica aparente seca máxima ( $\gamma_{dm\acute{a}x}$ ) = 1,408 g/cm<sup>3</sup>.

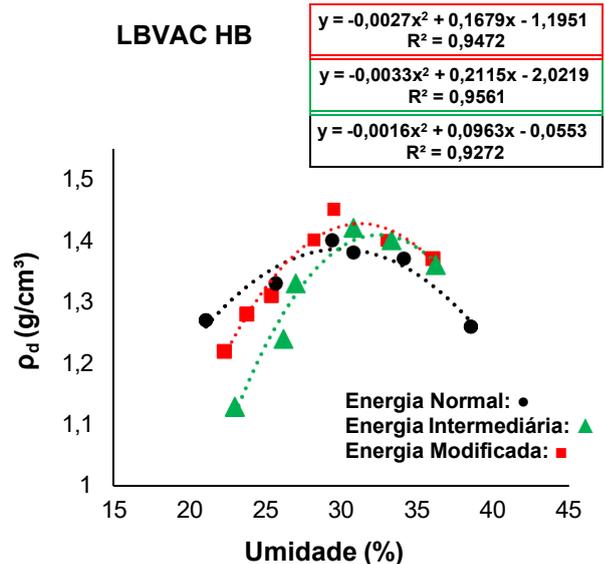


Figura 2 – Gráfico da Estabilização Mecânica (solo puro) em diferentes energias.

Evidentemente conforme a **Tabela 2** foi calculado o grau de compactabilidade (GC) entre as curvas de compactação cujo foco é detalhar em porcentagem a quantidade de ganho em  $\rho_d$  que o solo obteve a partir das curvas de compactação.

No viés executivo de infraestrutura, o solo apresentou baixo GC, complementando que o projetista que irá trabalhar com este tipo de solo deve se atentar pois entre a EI e a normal o GC ficou em 1,80%, valor muito baixo, caracterizando que se quiser aumentar o valor da  $\rho_d$  a energia modificada deve ser utilizada, porém irá acarretar em um ganho de 3,18% em relação a energia normal, ou seja, a mobilização de máquinas, gastos com combustível e colaboradores, mais o desgaste dos maquinários não evidenciam uma boa escolha para melhorar a  $\rho_d$ , então uma estabilização química poderá trazer melhores benefícios ao processo executivo de uma infraestrutura com este solo.

Tabela 2 – Grau de compactabilidade (%) entre as curvas de compactação (solo puro)

Energia do Proctor	
Modificada/Normal	3,18%
Modificada/Intermediária	1,34%
Intermediária/Normal	1,80%

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Na análise da energia intermediária do solo puro (**Figura 3**) pode-se observar que a mesma apresentou maior amplitude de umidade para a compactação quando comparado ao solo com aditivo, e a  $\rho_d$  entre as duas figuras ficaram próximas, caracterizando que não houve um grande incremento desta variável a partir do estabilizante químico.

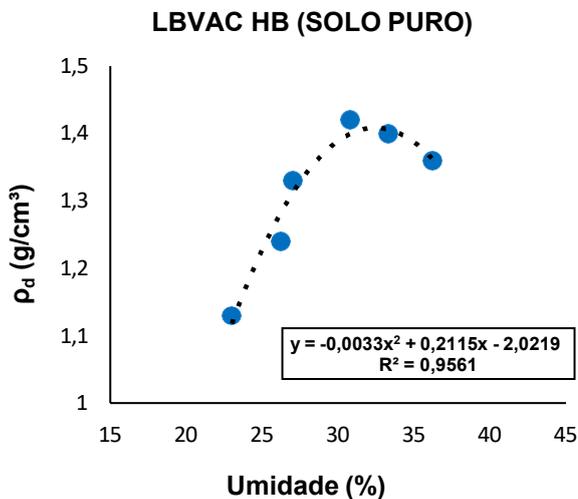


Figura 3 – Curva de compactação na energia intermediária do solo puro

Na avaliação da curva de compactação do solo estabilizado quimicamente (Figura 4), o cimento proporcionou uma diminuição na Uoc (30,8%) e um leve aumento na  $\gamma_{dmáx}$  (1,439  $g/cm^3$ ).

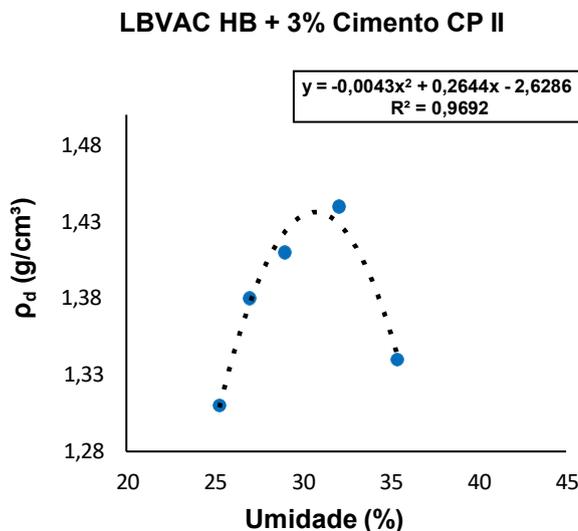


Figura 4 – Curva de compactação na energia intermediária do solo com aditivo

Os valores de CBR obtidos do solo puro chamou atenção, pois apresentam maior resistência que outros solos com menor teor de argila encontrados em Santa Catarina (Vargas, 2021), na Figura 5 o LBVAC HB apresentou CBR de 17,96% e expansão de 0,27% após 96 horas de embebição, ou seja, levando em consideração o que preconiza o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), este solo apresentou valor aceitável de expansão em condição compactada para ser utilizada em sub-base de pavimento, mas não satisfaz a condição de ter um CBR  $\geq 20\%$ , valor

este que ficou bem próximo, logo a estabilização química trouxe viabilidade para alcançar este valor.

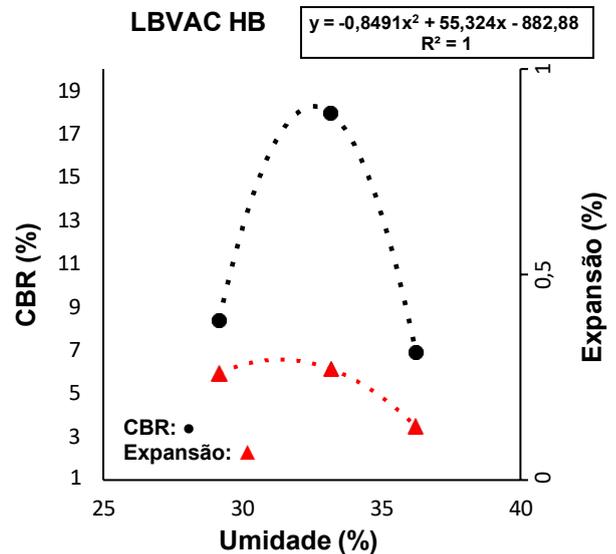


Figura 5 – Curva de CBR do solo puro

Com o solo estabilizado quimicamente (Figura 6) o valor máximo de CBR subiu cerca de 49,84% em relação a análise com o solo puro, denotando que as camadas de argila têm bastante afinidade com o cimento CP II. O valor máximo de CBR encontrado foi de 26,91% e a expansão de 0,17%.

Este solo deve-se ter um bom gerenciamento “*in loco*”, pois no ramo mais seco da curva a expansão fica acentuada a quase 2%, caracterizando que negligenciado o controle de umidade os problemas patológicos como trincas e rachaduras por conta da movimentação do solo ocorrerá.

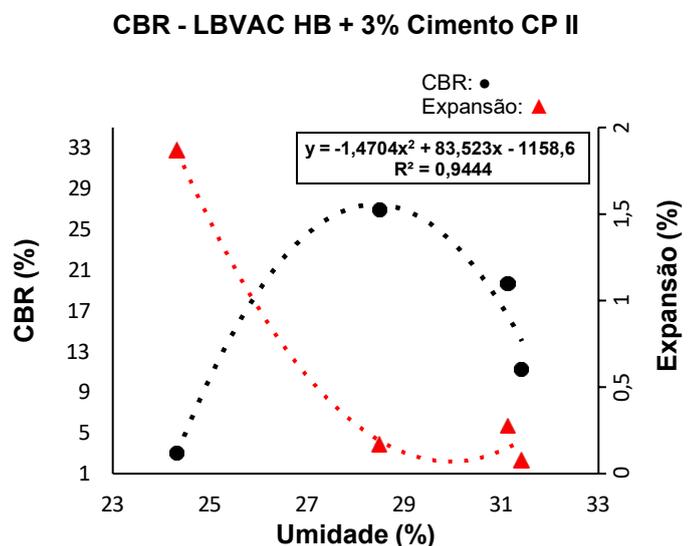


Figura 6 – Curva de CBR do solo estabilizado

A curva de penetração do solo sem aditivo (Figura 7), apresentou, quando comparado a utilização de aditivo, uma maior penetração no solo utilizando pressões menores, ou seja, caracterizando uma resistência menor do solo.

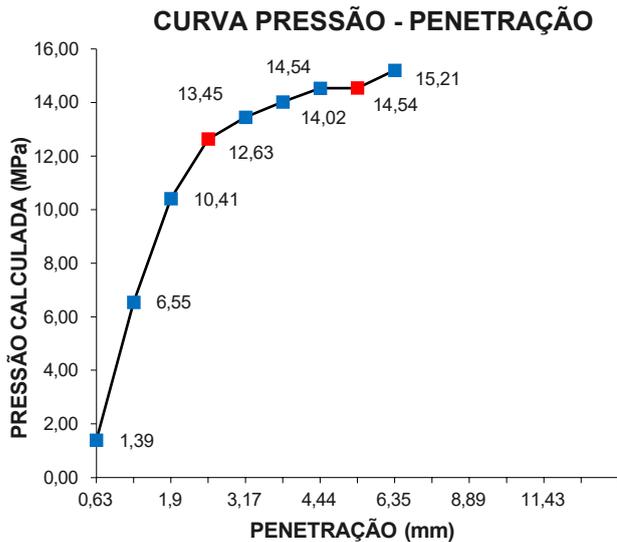


Figura 7 – Curva de Pressão x Penetração (CBR) do solo puro

A curva de pressão versus (vs) penetração do ponto que obteve maior CBR está exposto na Figura 8, onde nos pontos vermelhos ocorreu a penetração de 2 e 4 minutos respectivamente, percebe-se que entre este tempo a pressão se manteve estável e posteriormente quando foi corrigida chegou ao valor de 26,91%.

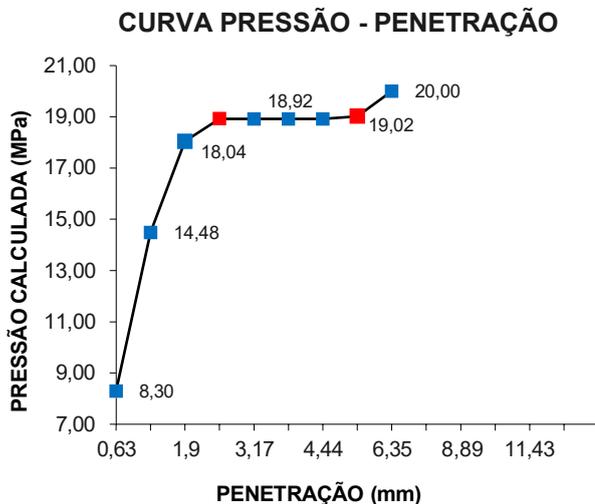


Figura 8 – Curva de Pressão x Penetração (CBR) do solo com aditivo

O LBVAC HB apresentou alta correlação entre os resultados do ensaio CBR e DCP (Figura 9) demonstrando que o DCP é uma ferramenta versátil para a análise de compactação dos solos. Resende et al. (2013) identificaram que o DCP apresentou bons resultados a campo para identificação da compactação além de possuir diversas qualidades, como a sua rapidez, baixo custo, precisão e praticidade, sendo desta forma uma opção rentável para uso a campo na avaliação de solos para a construção de estradas e ferrovias.

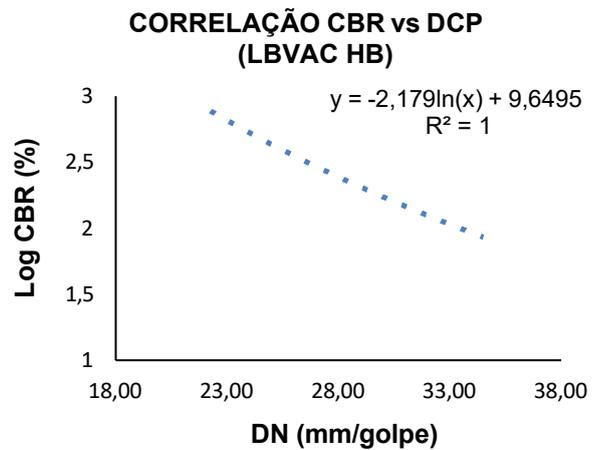


Figura 9 – Correlação entre CBR e DN do solo puro

O solo compactado após o ensaio de CBR foi submetido ao ensaio de DCP, onde mostrou-se o índice de penetração (DN) bem correlacionável com os valores de CBR obtidos, para um melhor ajuste da curva usou-se o Log(CBR), logo a resultante foi clara, à medida que o DN decresce o CBR aumenta (Figura 10).

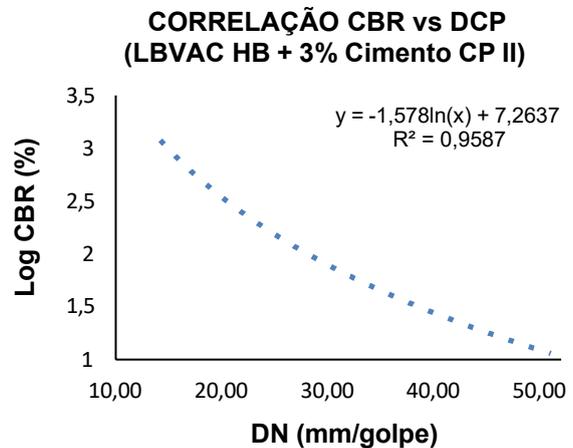


Figura 10 – Correlação entre CBR e DN do solo estabilizado

#### 4. Considerações Finais

A estabilização mecânica trouxe baixo efeito conforme ocorreu o acréscimo de energia no solo puro, ou seja, para fins construtivos esse solo ao ser submetido a maiores quantidades de passadas de máquinas compactadoras terá um resultado muito próximo comparado com a energia normal, mesmo apresentando característica do caráter retrátil o solo puro apresentou um CBR de quase 18% e uma expansão baixa de 0,27%, dando ênfase que não pode ser usado como sub-base de pavimento, pois não alcançou os 20% exigido pelo DNIT IPR 719.

Na estabilização química o solo alcançou valores superiores a 20% e teve uma diminuição na expansão, logo se enquadrou para possível uso em sub-base de pavimento.



O CBR e o DCP mostraram-se ensaios correlacionáveis, onde o DCP por ser um equipamento de fácil manuseio e de rápida trabalhabilidade é capaz de estimar valores de CBR com bastante precisão.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457**: Amostra de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6459**: Solo: Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7180**: Solo: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7182**: Solo: Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9895**: Solo: Índice de suporte Califórnia (ISC): Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

DAY, P. **Particle fractionation and particle-size analysis**. In: Black C.A. (ed.). *Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison. Ame. Soc.of Agronomy. 1965.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT IPR 719**: Manual de pavimentação. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 172/2016 - ME**: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio. Rio de Janeiro: DNIT, 2016.

RESENDE, L. R. M, OLIVEIRA FILHO W. L., NOGUEIRA, C. L. Use of the DCP test for compaction control of staged dikes in mining tailings dams. Rem: **Revista Escola de Minas**, [S.L.], v. 66, n. 4, p. 493-498. FapUNIFESP (SciELO). 2013

SANTOS, H. G. D. *et al.*, **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Embrapa. Brasília – DF. 2018

SILVA, L. **Caráter retrátil de Nitossolos e Latossolos do Sul do Brasil**. 2015. 128p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2015.

SILVA, L. **Retração do solo e relação com as propriedades físico-hídricas de Latossolos e Nitossolos do Sul do Brasil**. 2019. 109p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2019.

SILVA L, SEQUINATTO L, ALMEIDA JA, BORTOLINI D. Methods for quantifying shrinkage in Latossolos (Ferralsols) and Nitossolos

(Nitisols) in Southern Brazil. **Rev Bras Cienc Solo**. 2017;41:e0160364.

TESTONI, S. A. **Mineralogia da fração argila de Latossolos e Nitossolos Brunos com caráter retrátil**. 2015. 155p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2015.

VARGAS, D. A. D. **Comportamento mecânico de um solo tratado com estabilizantes químicos para pavimento de estrada florestal**. 2021. 90p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2021.



## Infraestrutura e sustentabilidade: uma revisão sistemática sobre a intersecção de aspectos, avanços e aplicações

### Infrastructure and sustainability: a systematic review on the intersection of aspects, advances and applications

Tiago Henrique da Costa Viana<sup>1</sup>,

1. Engenheiro civil, tiago.viana@sou.ufac.br, Universidade Federal do Acre – UFAC

**Resumo:** A crescente busca por soluções que unam a Sustentabilidade através da minimização de impactos na Infraestrutura motiva o presente estudo. Para investigar se houve crescimento nos estudos que buscam alicerçar áreas de Infraestrutura e Sustentabilidade, foi realizada uma revisão sistemática de estudos que contemplem Infraestrutura e Sustentabilidade, bem como sua catalogação por características afins entre si. A pesquisa mostrou que o Brasil tem apresentado mais estudos sobre a relação entre Infraestrutura e Sustentabilidade, bem como existe a predominância de estudos a partir de 2019, e com reflexo em estudos da área de Ciências Sociais Aplicadas. Na Engenharia, os estudos refletem quatro objetos principais, por ordem de frequência: Gestão de riscos e desempenho mitigatório; Desenvolvimento de tecnologias sustentáveis; Controle e gestão de mitigação hídrica; e Mobilidade, acessibilidade e transporte. Sendo o primeiro mais abundante, e o último mais carente de estudos na área.

**Palavras-chave:** Desempenho, Análise, Engenharia Civil.

#### 1. Introdução

A busca por métodos para tornar os processos mais sustentáveis tem crescido ao longo dos anos nas diversas áreas de atuação humana, sobretudo na área da construção civil (Silva et al., 2023). A área de infraestrutura, dentro da construção civil, traz um fator de preocupação, por se destacar como um dos maiores agentes de poluição, seja direta, na atuação de seus processos; seja de maneira indireta, na sua logística de insumos e suprimentos, por exemplo (Ferreira & Marques, 2022).

Embora muito se tenha estudado para o desenvolvimento de elementos e processos com menor impacto ambiental na construção civil, como através de aspectos de economia circular, a pegada energética e de recursos naturais utilizados por essa área, segue exorbitante, sinalizando o papel das políticas públicas e ações que tenham como foco a minimização da geração de resíduos e a melhor utilização dos recursos (Munaro & Tavares, 2022).

As metodologias de processos mais limpos, desde a extração dos recursos até seu descarte, em logística reversa, têm demonstrado importante potencial enquanto aspecto de sustentabilidade (Silva et al., 2015). No entanto, para a infraestrutura, importante catalisador das pegadas de recursos, é necessário verificar as efetividades de ações e propostas voltadas como formas de mitigação e otimização dos processos de trabalho.

Assim, para investigar se houve o crescimento nos estudos que buscam alicerçar áreas de Infraestrutura e Sustentabilidade, surge o presente estudo. Para isso, se constituem como objetivos específicos, a revisão sistemática de estudos que contemplem Infraestrutura e Sustentabilidade, bem como sua catalogação por características (ano, país, área temática de publicação); além de buscar, dentro dos estudos de Engenharia, correlações que sejam visíveis sobre intersecção de aspectos, avanços e aplicações das áreas supracitadas.

#### 2. Metodologia

A base de dados indexada utilizada foi a plataforma Scielo. Os descritores chaves para identificação foram “*Infrastructure*” e “*Sustainability*”. Foi utilizado o operador Booleano “AND” para investigar os estudos de intersecção entre as duas áreas supracitadas.

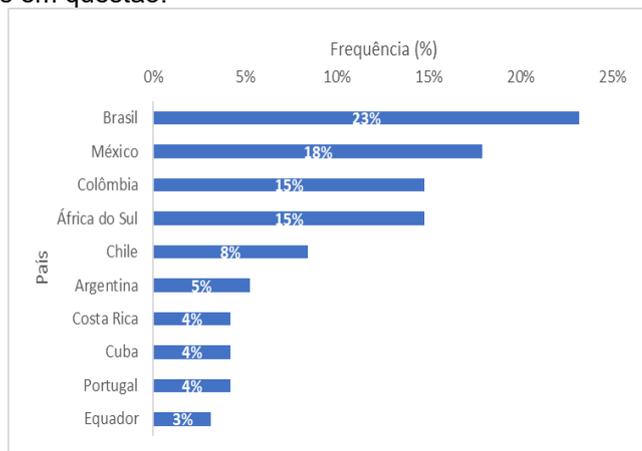
Os critérios de inclusão para os resultados foram abrangentes, considerando todos os artigos obtidos para a construção das métricas da pesquisa. Para a análise e discussão dos obtidos, foram considerados apenas os artigos da área temática de Engenharia, com foco nos que descreviam aspectos relevantes de intersecção entre as duas áreas supracitadas, ou denotavam estudos que discorriam sobre tais vertentes, com reflexos pertinentes a serem relatados e/ou analisados.

Não houveram critérios de exclusão para os resultados obtidos para a pesquisa na base de dados, no entanto, para a análise e discussão dos artigos, foram excluídos estudos fora da área temática de Engenharia e trabalhos muito tangenciais ao tema. Também não houve critério de exclusão quanto ao ano de publicação dos artigos, sendo considerados todos.

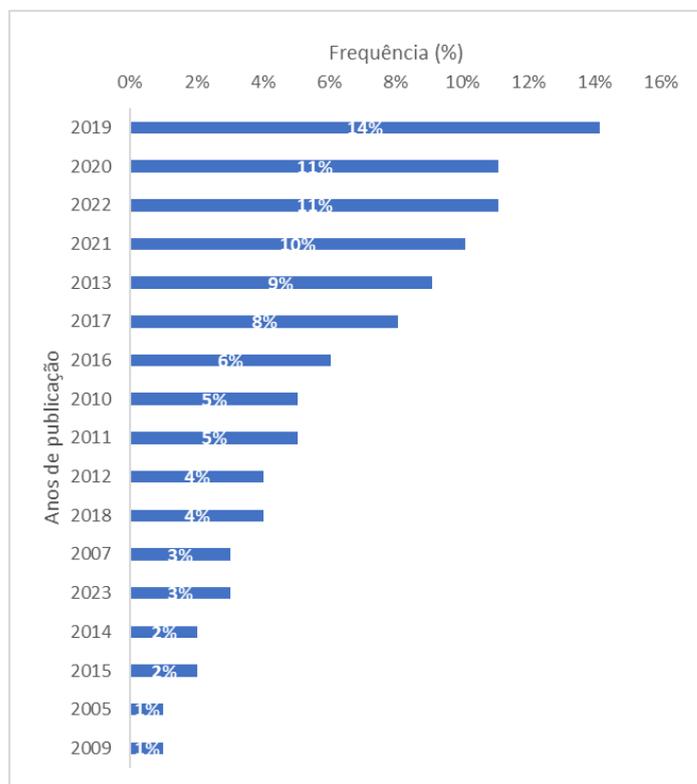
Para a análise dos resultados, foram considerados todos os artigos obtidos na pesquisa e verificadas as características de: (i) ano de publicação dos estudos; (ii) país de publicação e (iii) área temática de estudos obtidos. Para a análise de discussões, foram considerados apenas os artigos dentro da área temática de Engenharia, os aspectos principais de intersecção encontrados para Infraestrutura e Sustentabilidade. Em seguida, foram catalogados em grupos tais quais seus objetos de estudos e métodos de análise, de forma a se verificar semelhanças e potenciais entre si.

### 3. Resultados e discussões

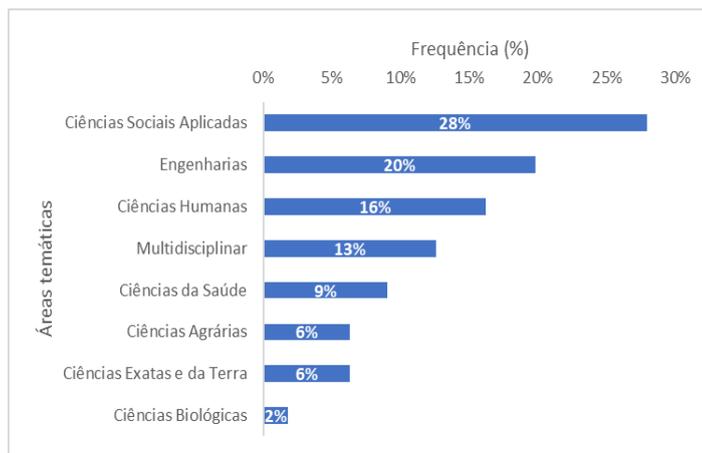
Foram encontrados 110 estudos organizados através das **Figuras 1, 2 e 3**, que indicam a frequência dos estudos encontrados, por categoria analisada. A **Figura 1** expõe os resultados de frequência por país; a **Figura 2** expõe resultados de frequência por ano de publicação e a **Figura 3** expõe os resultados por frequência de áreas temáticas dos estudos em questão.



**Figura 1** – Distribuição dos estudos, por país de publicação.



**Figura 2** – Distribuição das frequências dos estudos, por ano de publicação.



**Figura 3** – Distribuição das frequências dos estudos, por áreas temáticas.

Das Figuras acima, nota-se a predominância percentual de estudos oriundos do Brasil (23%), em contraste ao Equador (3%), representando seu oposto. Em relação ao ano de publicação, a predominância é de estudos de 2019 (14%), em relação aos anos de 2005 e 2009, ambos com 1% de frequência. Atualmente, têm-se até o momento da pesquisa, um percentual de 3%. Sobre as áreas temáticas, existe a predominância de estudos de Ciências Sociais Aplicadas (28%), em contraste a estudos de Ciências Biológicas (2%). Para a área pretendida, Engenharia obtém um percentual de 20% em relação ao total. Destes, foram considerados para a discussão.

Os artigos obtidos para a área temática de Engenharia são expostos na Tabela 1, que traz os estudos, autores, citação e seu respectivo código para tratamento ao longo do presente estudo.

**Tabela 1** – Estudos considerados da área temática de Engenharia, com respectivos autores, citação e código.

Código	Título	Citação
A01	Simulação hidrológica de biorretenção: análise de eficiência de técnicas compensatórias para mitigar impactos da urbanização	AZEVEDO et al., 2022
A02	<i>A review of emissions on pavement materials and sustainability rating systems</i>	CASTRO et al., 2022
A03	<i>Modelo de un Plan Estratégico Green IT y BPM para minimizar el impacto ambiental en la educación superior</i>	REINA-GUAÑA, 2021
A04	<i>Estimation of Safety Performance Functions (SPF) at signalized intersections in Medellín, Colombia</i>	VALENCIA-ALAIX et al., 2020



A05	<i>Aproximación a la estimación de la amenaza geotécnica originada por excavaciones profundas en arcillas de Bogotá: Una contribución a la sustentabilidad en entornos urbanos</i>	PINEDA-JAIMES et al., 2020
A06	<i>Proposal process management at the plant operation applied to the generating unit shutdown process of Itaipu Binacional</i>	PIAIA et al., 2020
A07	Estudo da proporção de argila calcinada e filer calcário no cimento LC3 para diferentes teores de substituição	BARBALHO et al., 2020
A08	<i>Indicadores de sustentabilidad para la toma de decisiones en proyectos de caminos básicos</i>	PAREDES-VEGA et al., 2019
A09	<i>Gestión de la sostenibilidad portuaria basada en un modelo de redes bayesianas. Aplicación al sistema portuario español</i>	MOLINA SERRANO et al., 2018
A10	<i>New concept of tunnel boring machine: high performance using water jet and diamond wire as rock cutting technology</i>	SANTOS et al., 2018
A11	<i>Aplicaciones de caucho reciclado: una revisión de la literatura</i>	PELÁEZ ARROYAVE et al., 2017
A12	<i>Leapfrogging to renewable energy: The opportunity for unmet electricity markets</i>	BATINGE et al., 2017
A13	Sustentabilidade urbana: recuperação dos rios como um dos princípios da infraestrutura verde	MORSCH et al., 2017
A14	<i>Implantación de elementos de sostenibilidad aplicados a la modernización de áreas productivas: España, un caso deficitario en la Europa del sur</i>	TURÓN-R.; JORDI, 2018
A15	<i>Envejecimiento de estructuras de concreto antiguas y modernas - Observaciones e investigaciones</i>	BREUGEL; BEEK, 2017
A16	<i>El ciclo urbano del agua en Bogotá, Colombia: estado actual y desafíos para la sostenibilidad</i>	PEÑA GUZMÁN et al., 2016
A17	<i>Riesgo de desastre conocido y no gestionado: La guardería Bicentenario. Teziutlán. México</i>	ARTILES LÓPEZ; DUEÑAS BERRA, 2015
A18	<i>Lagos artificiales: elementos paisajísticos como infraestructura hidráulica</i>	GONZÁLEZ SALGADO; CRUZ GERON, 2013

A19	Cidades sustentáveis: uma nova condição urbana a partir de estudos aplicados a Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso, Brasil	SILVA; ROMERO, 2018
A20	<i>Productividad local y reconversión de infraestructura hacia un territorio industrial sostenible: Canadá-Colombia</i>	LÓPEZ-VALENCIA; LÓPEZ-BERNAL, 2013
A21	<i>Threats to the South African minerals sector: an independent view on the investment environment for mining</i>	CAWOOD, 2011
A22	<i>Relaciones entre el concepto de movilidad y la ocupación territorial de medellín</i>	LÓPEZ et al., 2010

Após a leitura íntegra dos 22 artigos selecionados conforme os critérios anteriormente expostos, eles foram agrupados conforme a semelhança temática abordada e compartilhada entre si. A **Tabela 2** expõe as características semelhantes entre si, que unem cada grupo, bem como os estudos aos quais pertencem nesse modelo de classificação, na **Tabela 3**.

**Tabela 2** – Características dos agrupamentos propostos e estudos selecionados.

Grupo	Características	Estudos
<b>GESTÃO DE RISCOS E DESEMPENHO MITIGATÓRIO</b>	Abordam situações, índices, projeções e projetos, de desenvolvimentos de métodos de gerenciamento e controle das propostas analisadas	A02, A03, A06, A08, A09, A14, A15, A17, A19, A20
<b>DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS</b>	Abordam situações, índices, projeções e projetos, de desenvolvimentos de métodos e produtos que envolvem o melhoramento de uso de recursos naturais	A05, A07, A10, A11, A12, A21
<b>MOBILIDADE, ACESSIBILIDADE E TRANSPORTES</b>	Abordam situações, índices, projeções e projetos, de medidas que envolvem as vias de acesso e a mobilidade por elas realizada	A04, A22



## CONTROLE E GESTÃO DE MITIGAÇÃO HÍDRICA

Abordam situações, índices, projeções e projetos, de medidas que envolvem o melhor uso dos recursos hídricos

A01, A13,  
A16, A18

Do levantamento exposto na **Tabela 3**, verifica-se a predominância dos artigos presentes na vertente de GESTÃO DE RISCOS E DESEMPENHO MITIGATÓRIO, sendo o mais emblemático dessa interseção, ao passo que estudos do grupo MOBILIDADE, ACESSIBILIDADE E TRANSPORTES, necessitam maior intervenção e aprofundamento.

De posse dos resultados da **Tabela 3** acima, pode-se verificar uma predominância de estudos com a vertente de gestão de riscos e desempenho mitigatório consegue ser transversal ao propor soluções de gestão e planos estratégicos, com vasta gama de aplicação, desde pavimentação, a estrutural, sendo principalmente, de urbanização. Reflexo de tal diversidade se baseia nos esforços dos últimos anos, em promover, implementar e gerir sistemas com menor impacto nas cidades, em suas diversas escalas e modos de aplicação. Similar ao que ocorre em áreas com menores incidência de estudos catalogados, como desenvolvimento de tecnologias sustentáveis e controle e gestão de mitigação hídrica.

No entanto, especificamente para a infraestrutura, foram identificados estudos com menor incidência da área de mobilidade, acessibilidade e transportes. Tal fragilidade pode ser atribuída, ainda que em partes, às particularidades de atuação desse setor, como seu próprio dinamismo, mas ainda ao menor fator de implementação de incentivos ao estudo dessa área. Para tanto, se verifica então, uma possibilidade de soma com outras áreas, como de gestão e desempenho mitigatório, que venham a satisfazer deficiências, ainda que pontuais, porém limitantes desse setor, expandindo seus potenciais de exploração.

## 4. Considerações Finais

Foi possível concluir que o Brasil tem apresentado mais estudos sobre a relação entre Infraestrutura e Sustentabilidade, bem como existe a predominância de estudos a partir de 2019, sobre a área temática, a mais abundante reflete estudos de Ciências Sociais Aplicadas. Na Engenharia, os estudos refletem quatro objetos principais, por ordem de frequência: gestão de riscos e desempenho mitigatório; desenvolvimento de tecnologias sustentáveis; controle e gestão de mitigação hídrica; e mobilidade, acessibilidade e transporte. Sendo o primeiro mais abundante, e o último mais carente de estudos na área. No viés dos últimos 3 anos, nota-se uma maior aplicação na gama de estudos realizados, surgem estudos visando a biorretenção hídrica como compensação à urbanização, bem como estudos focados no desenvolvimento de medidas mitigatórias em contextos de planos, no estudo de desenvolvimento de materiais de pavimentação, obras de infraestrutura energética. Nos novos modelos de encontro entre a sustentabilidade e a infraestrutura, é pensado em sistemas de mobilidade com menor impacto ambiental, além de soluções tecnológicas

na resistência de materiais geotécnicos e a base de cimento, com interpolações de suas vertentes de aplicação. O foco dos estudos mais atuais, cresce sob a demanda de uma agenda global de maior contato do desenvolvimento humano, com reflexo a uma maior consciência ambiental, não apenas como vertente de reparo ao meio ambiente, mas também com um olhar de adaptação à uma performance com menor impacto aos biomas e ecossistemas de intervenção. A implementação da estudos dessa área visa a promoção da maior interação e desenvolvimento de ferramentas que liguem Infraestrutura e Sustentabilidade.

## Referências

Artiles López, Dora María; Dueñas Berra, Laura Yanela. - Riesgo de desastre conocido y no gestionado: La guardería Bicentenario. Teziutlán. México - *Arquitectura y Urbanismo*; 36(1); 38-47; 2015-04

Azevedo, Flavio Souza; Silva, Geovany Jessé Alexandre da; Silveira, José Augusto Ribeiro da; Barros Filho, Mauro Normando Macêdo. - Simulação hidrológica de biorretenção: análise de eficiência de técnicas compensatórias para mitigar impactos da urbanização - *Engenharia Sanitaria e Ambiental*; 27(6); 1077-1088; 2022-11

Barbalho, Enéas de Andrade; Silva, Eugênia Fonseca da; Rêgo, João Henrique da Silva. - Estudo da proporção de argila calcinada e filer calcário no cimento LC3 para diferentes teores de substituição - *Matéria (Rio de Janeiro)*; 25(1); -; 2020

Batinge, B.; Musango, J.K.; Brent, A.C.. - Leapfrogging to renewable energy: The opportunity for unmet electricity markets - *South African Journal of Industrial Engineering*; 28(4); 32-49; 2017-12

Breugel, K. van; Beek, T. A. van. - Envejecimiento de estructuras de concreto antiguas y modernas - *Observaciones e investigaciones - Revista ALCONPAT*; 7(1); -; 2017-04

Castro, C.; Sabogal, D.; Fernández, W.. - A review of emissions on pavement materials and sustainability rating systems - *Revista ingeniería de construcción*; 37(2); 280-291; 2022-04

Cawood, F.T.. - Threats to the South African minerals sector : an independent view on the investment environment for mining - *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*; 111(7); 469-474; 2011-07

FERREIRA, L. J.; MARQUES, L. Cultural traits, infrastructure and feedback mechanisms as barriers to supply chain management in Brazil. *Gestão & Produção*, v. 29, p. e159, 2022.



- González Salgado, Mauricio; Cruz Gerón, Juan Ansberto. - Lagos artificiales: elementos paisajísticos como infraestructura hidráulica - *Arquitectura y Urbanismo*; 34(3); 32-38; 2013-12
- López, Fredy; Nieto, Dora Beatriz; Arias, Carolina. - RELACIONES ENTRE EL CONCEPTO DE MOVILIDAD Y LA OCUPACIÓN TERRITORIAL DE MEDELLÍN - *Revista EIA*; (13); 23-37; 2010-07
- López-Valencia, Adriana P; López-Bernal, Oswaldo. - Productividad local y reconversión de infraestructura hacia un territorio industrial sostenible: Canadá-Colombia - *Revista de Ingeniería*; (38); 14-19; 2013-01
- Molina Serrano, Beatriz; González-Cancelas, Nicoletta; Soler-Flores, Francisco. - Gestión de la sostenibilidad portuaria basada en un modelo de redes bayesianas. Aplicación al sistema portuario español - *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*; 26(4); 631-644; 2018-12
- Morsch, Maiara Roberta Santos; Mascaró, Juan José; Pandolfo, Adalberto. - Sustentabilidade urbana: recuperação dos rios como um dos princípios da infraestrutura verde - *Ambiente Construído*; 17(4); 305-321; 2017-12
- MUNARO, M. R.; TAVARES, S. F.. Analysis of Brazilian public policies related to the implementation of circular economy in civil construction. *Ambiente Construído*, v. 22, n. 2, p. 129–142, abr. 2022.
- Paredes-Vega, Gabriela; Herrera, Rodrigo F.; Gómez, Miguel A.. - Indicadores de sustentabilidad para la toma de decisiones en proyectos de caminos básicos - *Revista Digital Novasinergia*; 2(2); 38-48; 2019-11
- Peláez Arroyave, Gabriel Jaime; Velásquez Restrepo, Sandra Milena; Giraldo Vásquez, Diego Hernán. - APLICACIONES DE CAUCHO RECICLADO: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA - *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*; 27(2); 27-50; 2017-12
- Peña Guzmán, Carlos Andrés; Melgarejo Moreno, Joaquín; Prats Rico, Daniel. - El ciclo urbano del agua en Bogotá, Colombia: estado actual y desafíos para la sostenibilidad - *Tecnología y ciencias del agua*; 7(6); 57-71; 2016-12
- Piaia, Maria Luiza; Portela, Juliano Couto; Pereira Júnior, Edson Hermenegildo; Fidelis, Nayara Vargas Witcel. - Proposal process management at the plant operation applied to the generating unit shutdown process of Itaipu Binacional - *Gestão & Produção*; 27(1); -; 2020
- Pineda-Jaimes Ph. D, Jorge-Arturo; García-Ubaque Ph. D, César-Augusto; Esquivel-Ramírez M. Sc. (c), Rodrigo-Elías. - Aproximación a la estimación de la amenaza geotécnica originada por excavaciones profundas en arcillas de Bogotá: Una contribución a la sustentabilidad en entornos urbanos - *Revista Facultad de Ingeniería*; 29(54); -; 2020-03
- Reina-Guaña, Erika. - Modelo de un Plan Estratégico Green IT y BPM para minimizar el impacto ambiental en la educación superior - *Revista Digital Novasinergia*; 4(1); 136-150; 2021-05
- Santos, Rafael Pacheco dos; Pierri, Lidiani Cristina; Faria, Patricia; Noronha, Marcos Aurélio Marques. - New concept of tunnel boring machine: high performance using water jet and diamond wire as rock cutting technology - *REM - International Engineering Journal*; 71(1); 9-17; 2018-03
- SILVA, A. L. E.; MORAES, J. A. R.; MACHADO, Ê. L.. Proposta de produção mais limpa voltada às práticas de eco-design e logística reversa. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 20, n. 1, p. 29–37, jan. 2015.
- Silva, Geovany Jessé Alexandre da; Romero, Marta Adriana Bustos. - Cidades sustentáveis: uma nova condição urbana a partir de estudos aplicados a Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso, Brasil - *Ambiente Construído*; 13(3); 253-266; 2013-09
- SILVA, R. M. G. et al.. Indicadores de sustentabilidade para análise do gerenciamento dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 28, p. e20220220, 2023.
- Turón-R., Carlos; Gomis-S., Jordi. - Implantación de elementos de sostenibilidad aplicados a la modernización de áreas productivas: España, un caso deficitario en la Europa del sur - *DYNA*; 84(202); 190-198; 2017-09
- Valencia-Alaix, Víctor G.; Restrepo-Betancur, Basilio; Lizarazo-Jimenez, Cristhian; Pineda-Mendez, Raul A.. - Estimation of Safety Performance Functions (SPF) at signalized intersections in Medellín, Colombia - *DYNA*; 87(214); 215-220; 2020-09



# Projeto de biodigestor e fotobiorreator para produção e purificação de biogás a partir da codigestão anaeróbia

Augusto P. Villas Boas<sup>1</sup>, Betânia H. Lunelli<sup>1</sup>

1. Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Sistemas de Infraestrutura Urbana

[augusto.pvb1@puccampinas.edu.br](mailto:augusto.pvb1@puccampinas.edu.br); [betania.lunelli@puc-campinas.edu.br](mailto:betania.lunelli@puc-campinas.edu.br)

**Resumo:** As emissões globais de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) têm aumentado de forma contínua e progressiva desde a revolução industrial. Nas últimas décadas, o cenário de emissões só se agravou, passando de 9,34 milhões de toneladas em 1960 para 36,44 milhões de toneladas em 2019. A concentração crescente de CO<sub>2</sub> atmosférico é atribuída, principalmente, ao consumo e a queima dos combustíveis fósseis, os quais correspondem a mais de 80 % da demanda mundial de energia primária. Buscando contribuir com a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, a produção de biogás no Brasil tem avançado nos últimos anos, e vem recebendo incentivos de setores públicos e privados. O uso de fontes não convencionais para a geração de energia como os resíduos orgânicos urbanos e as biomassas residuais provenientes de processos agroindustriais e/ou agrícolas despontam como alternativas interessantes. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo desenvolver o projeto de biorreatores em escala de bancada para geração e purificação de biogás. Para o desenvolvimento do projeto dos biorreatores foi utilizado o software Inventor da Autodesk®. Finalizado o projeto foi realizada a construção dos biorreatores, que serão utilizados em trabalhos futuros para a produção e purificação de biogás produzido a partir da codigestão anaeróbia de resíduos orgânicos urbanos e agroindustriais. O biogás produzido será purificado através da captura fotossintética do carbono por meio da utilização de microalgas.

**Palavras-chave:** microalgas, processos biológicos, resíduos orgânicos, biorreatores

## 1. Introdução

As emissões globais de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) têm aumentado de forma contínua e progressiva desde a revolução industrial na metade do século XVIII. Nas últimas décadas, entretanto, o cenário de emissões só se agravou, passando de 9,34 milhões de toneladas métricas em 1960 para 36,44 milhões de toneladas métricas em 2019 (EPA, 2021; Onyeaka et al., 2021).

Em 2019, no Brasil foram emitidas cerca de 467,4 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq) de CH<sub>4</sub>, o que corresponde a 21 milhões de toneladas métricas. Sendo o Brasil, portanto, o 5º maior emissor de CH<sub>4</sub> do mundo, respondendo por 5,5% das emissões (SEEG, 2022).

Entende-se hoje, de forma unânime, que a implementação e a adoção contínua de alternativas para a geração de energia limpa e renovável são fundamentais para assegurar o desenvolvimento sustentável das novas gerações.

A necessidade de desenvolver processos industriais renováveis e sustentáveis é um dos maiores desafios globais a ser enfrentado pela humanidade. Os processos tradicionais de produção são insustentáveis, utilizam matéria-prima não renovável e liberam grandes quantidades de GEE e produtos tóxicos residuais para o meio ambiente (Arun et al., 2020).

A (co)digestão anaeróbia vem sendo apontada como uma solução bastante promissora, principalmente, por representar uma tecnologia com soluções conectadas às crescentes necessidades de desenvolvimento sustentável, uma vez que ela pode ser empregada tanto no tratamento de resíduos urbanos (fração orgânica), agrícolas e agroindustriais quanto na produção de bioenergia, além de contribuir para redução das emissões de GEE e a disposição final de resíduos em aterros sanitários (Ward et al., 2008; Goldemberg, 2009; Araujo, 2017; Angelidaki et al., 2018; Li et al., 2020; Chew et al., 2021). Como resultado do processo de digestão anaeróbia, são obtidos dois produtos principais: uma mistura gasosa (denominada biogás) composta, principalmente, por metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) e vapor de água (H<sub>2</sub>O); e uma mistura líquida (digestato) contendo matéria inorgânica e residual orgânico não convertido (Angelidaki et al., 2018). Antes da sua utilização, o biogás bruto (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S) deve passar por um processo de *upgrading*, onde o nível de purificação pode variar consideravelmente dependendo da aplicação desejada.

Uma opção bastante interessante para a purificação do biogás pode ser através da captura fotossintética do carbono presente em sua composição por meio de microalgas e cianobactérias, uma vez que elas são capazes de converter o CO<sub>2</sub> em biomassa celular através do processo de fotossíntese (Nagarajan et al., 2019). Dentro deste contexto, esse trabalho tem como objetivo projetar e construir biorreatores em escala de bancada para a produção e purificação do biogás a partir da codigestão anaeróbia de resíduos orgânicos urbanos e agroindustriais. Pretende-se, em trabalhos futuros, desenvolver um processo eficiente de produção e purificação de forma que o biogás produzido possa ser utilizado como fonte de energia alternativa em diferentes aplicações, como energia elétrica e/ou térmica.

## 2. Metodologia

Para o desenvolvimento do projeto do biodigestor e do fotobiorreator foi utilizado o *software Inventor* da Autodesk®, o qual auxiliou na construção da geometria e dimensão

ideal para a escala de bancada, bem como para a associação do sistema de produção (biodigestor) e purificação (fotobiorreator). Foi projetado um biodigestor encamisado com volume útil de 2 L. Já para o fotobiorreator foi considerado um volume de 10L.

O biodigestor foi construído utilizando o PEAD (polietileno de alta densidade). Esse composto polimérico apresenta uma estrutura molecular regular e estável, o que assegura produtos com melhores características em relação a outros polímeros do gênero, atendendo parâmetros de segurança de material e de projeto. O biodigestor terá compartilhamento para acondicionar o digestato produzido, além de um sistema de controle e monitoramento, tanto do substrato quanto da água que estará circulando ao redor do biodigestor com objetivo de manter a temperatura interna constante e estável, a fim de atingir a eficiência do processo de codigestão anaeróbia para produção de biogás.

No projeto do fotobiorreator diversos flanges de entrada/saída com sistema de engate rápido pneumático foram consideradas de forma a facilitar o acesso ao interior do equipamento, evitando vazamentos e permitindo que se retire pequenas amostras ou alimente material/insumos para dentro do meio de cultivo. Para a construção do equipamento foram utilizadas chapas planas de policarbonato de 5 mm.

O biogás produzido será alimentado na parte inferior do fotobiorreator e, por mecanismos de difusão e transporte, chegara ao topo onde será coletado e analisado. Entradas auxiliares de alimentação e para sensoriamento serão colocadas em pontos estratégicos para causar o menor impacto possível no que diz respeito a fluidodinâmica do sistema.

Sensores de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, umidade, temperatura e turbidez estarão conectados ao fotobiorreator, permitindo acompanhamento em tempo real da composição do biogás e de alguns parâmetros operacionais. Para aumentar a dispersão do biogás no meio de cultivo, favorecendo o aumento da área de contato das bolhas de gás com as microalgas presentes no fotobiorreator, será instalado no fundo do equipamento um sistema de oxigenação artificial. Com a finalização da construção da planta, será realizada, posteriormente, a produção de biogás através da codigestão anaeróbia, seguido da sua purificação.

O sistema de purificação do biogás se dará pela captura de CO<sub>2</sub> por microalgas, resultando em um biogás rico em metano.

Para avaliar a qualidade do biogás e a quantidade de CO<sub>2</sub> fixada pelas microalgas, é necessário um controle contínuo do biogás alimentado e removido do fotobiorreator. A partir da composição do biogás será avaliada a necessidade do uso de reciclo no processo, o qual será automático e a decisão será tomada pela inteligência embarcada no processo.

Após o início de operação do sistema e de posse dos dados e análises feitas, será realizada a otimização operacional do processo de produção e purificação.

### 3. Resultados

Nas Figuras 1 (a-b) é mostrado o projeto do biodigestor, desenvolvido. O projeto do fotobiorreator de placas planas paralelas é mostrado na Figura 2.

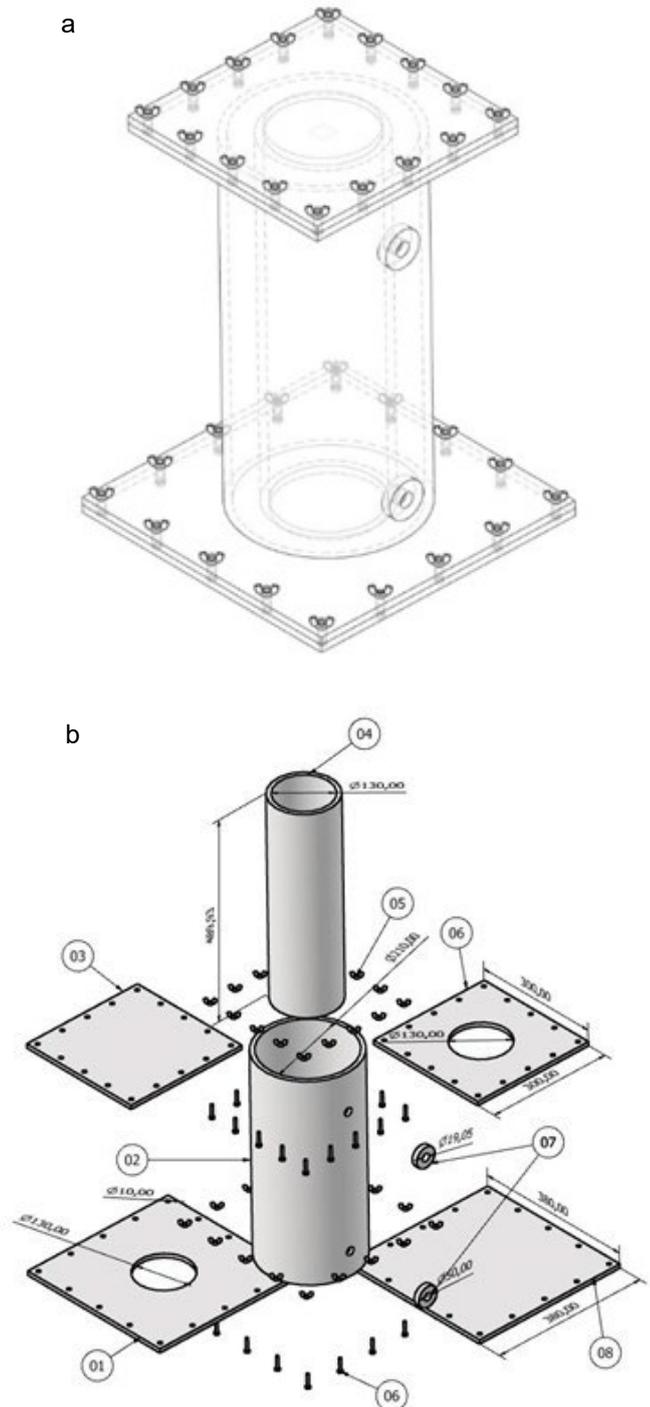


Figura 1- Desenho do projeto do biodigestor.

O fotobiorreator e o biodigestor construídos são representados pelas Figuras 3 e 4 (a-b), respectivamente.

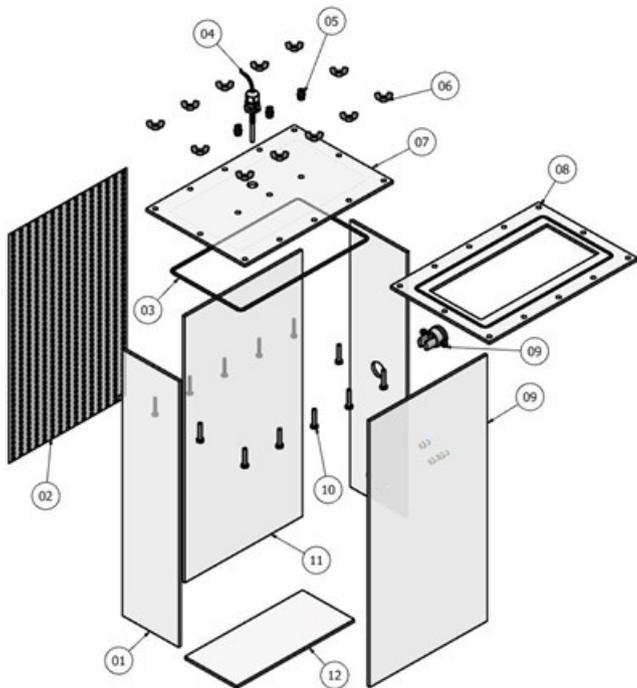


Figura 2- Desenho do projeto do fotobiorreator.



Figura 3 - Representação da construção do fotobiorreator.

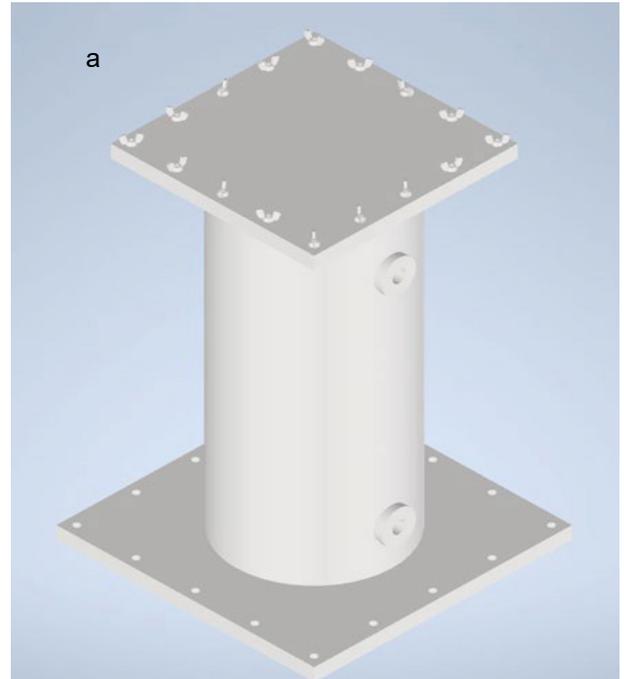


Figura 4 - Representação da construção do biodigestor.

#### 4. Considerações Finais

Finalizada a construção dos equipamentos de produção e purificação do biogás, serão realizados, posteriormente, os experimentos a fim de avaliar a viabilidade do processo.



Espera-se demonstrar o potencial de captura e fixação de CO<sub>2</sub> do biogás por meio de microalgas. É esperado que o biogás produzido a partir da codigestão anaeróbia tenha uma concentração de metano entre 55 e 65% e, após o processo de purificação, essa concentração aumente para 70 a 78%. Todas as etapas deverão ser sensoriadas/monitoradas *on-line* a fim de indicar os principais componentes presentes em cada etapa, bem como os fatores e limites de segurança esperados.

Todo o projeto se baseia no menor contato humano possível com o aparato bem como com a matéria prima, sendo a maior parte das etapas automatizadas e inspecionadas remotamente. Um sistema com diferentes configurações de análise (*pre-sets*) deverá ser responsável pela tomada de decisão nas etapas com automação suficiente para tal no processo, o que assegurará a precisão e constância nos resultados processados, evitando assim a possibilidade do erro humano.

## Referências

ANGELI, J. R. B. et al. (2018). Digestão anaeróbica e integração em escala urbana: feedback e estudo de caso comparativo. *Energia, Sustentabilidade e Sociedade*, v. 8(1), p. 29.

ARAUJO, A. P. C. (2017). Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico. Monografia. Universidade Federal de Uberlândia, Belo Horizonte, MG, 2017.

ARUN, S.; SINHAROY, A.; PAKSHIRAJAN, K.; LENS, P. N. (2020). Algae based microbial fuel cells for wastewater treatment and recovery of value-added products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 132, 110041. [doi.org/10.1016/j.rser.2020.110041](https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110041)

CHEW, K. R.; LEONG, H. Y.; KHOO, K. S.; VO, D. V. N.; ANJUM, H.; CHANG, C.K.; SHOW, P.L. (2021). Effects of anaerobic digestion of food waste on biogas production and environmental impacts: a review. *Environmental Chemistry Letters*, v. 19(4). [doi.org/10.1007/s10311-021-01220-z](https://doi.org/10.1007/s10311-021-01220-z)

EPA – Environmental Protection Agency (2021). Global Greenhouse Gas Emissions Data. Disponível em: <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data> Acesso em: 12 ago. 2023.

LI, J.; LI, X.; YANG, Z.; TANG, T. T. (2020). Effects of cellulose on polycyclic aromatic hydrocarbons removal and microbial community structure variation during anaerobic digestion of sewage sludge. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, v. 55(9), p. 1104–1110. [doi.org/10.1080/10934529.2020.1771958](https://doi.org/10.1080/10934529.2020.1771958)

NAGARAJAN, D.; VARJANI, S.; LEE, J.; CHANG, S. (2021). Sustainable aquaculture and animal feed from microalgae- Nutritive value and techno-functional components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 150, 111549. [doi.org/10.1016/j.rser.2021.111549](https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111549)

ONYEAKA, H.; MIRI, T.; OBIKEKE, K.; HART, A.; ANUMUDU, C.; AL-SHARIFY, Z. T. (2021). Minimizing carbon footprint via microalgae as a biological capture. *Carbon Capture Science & Technology*, v. 1, 100007. [doi.org/10.1016/j.ccs.2021.100007](https://doi.org/10.1016/j.ccs.2021.100007)

SEEG (2022). Disponível em: <http://seeg.eco.br> Acesso em: 04 dez. 2022.



# Estudo do comportamento mecânico da mistura solo e agregado reciclado da construção civil para utilização em vias não pavimentadas

Gabriel Wellington de Carvalho<sup>1</sup>, Francis Massashi Kakuda<sup>2</sup> e Diego de Oliveira Martins<sup>3</sup>.

1. Engenheiro Civil, gabrielwcarvalho@outlook.com, UFSCar
2. Professor Doutor, francis@ufscar.br, UFSCar
3. Professor Doutor, diegomartins@ufscar.br, UFSCar

**Resumo:** O trabalho estudou a viabilidade e a eficácia do uso de solo misturados com resíduos de construção civil (RCC), para utilização em camada superficial de estradas não pavimentadas. Almejou-se contribuir para a busca de soluções sustentáveis na infraestrutura urbana, oferecendo alternativas viáveis para o uso de solos locais com baixa resistência de suporte melhorado, com o incremento de RCC, neste sentido, procurando reduzir seu volume em aterro de resíduos classe A e, ao mesmo tempo, apresentando uma possível melhoria no uso das vias não pavimentadas. O comportamento mecânico da mistura foi analisado por meio de resultados de ensaios de Índice de Suporte Califórnia e de sua versão miniaturizada, em que se comparou amostras de um solo não laterítico em estado puro e com adição de diferentes teores em massa de RCC. Verificou-se melhora significava na resistência mecânica das misturas solo-RCC em comparação com o solo puro, entretanto, ressalta-se a necessidade de um estudo mais abrangente em solos com diferentes classificações.

**Palavras-chave:** Resíduo da construção civil, estradas não pavimentadas e Sustentabilidade.

## 1. Introdução

O setor da construção civil é reconhecido por sua significativa contribuição ao desenvolvimento das sociedades, mas também é responsável por gerar uma quantidade expressiva de resíduos sólidos. A crescente conscientização ambiental tem impulsionado a busca por soluções sustentáveis no manejo desses resíduos, direcionando o foco para a sua reutilização e reciclagem. Nesse contexto, a prática de reutilização de resíduos de construção civil para o melhoramento de solo para uso em camadas de uma estrutura de pavimentação vem ganhando destaque como uma alternativa promissora e ecologicamente responsável. Os resíduos, que vêm sendo descartados em aterros, agora podem ser reintegrados ao ciclo produtivo, reduzindo o impacto ambiental negativo e minimizando a ocupação de espaço em áreas destinadas ao descarte de resíduos sólidos. Essa prática se alinha com os princípios da economia circular, promovendo a sustentabilidade e a gestão eficiente dos recursos naturais. De acordo com dados fornecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), a indústria da construção é responsável por aproximadamente 40% do consumo global de recursos naturais e pela geração de cerca de 30% dos resíduos sólidos urbanos. Nesse sentido, a reutilização de

RCC, como concreto, cerâmica, entre outros materiais, para o melhoramento de solos locais surge como uma medida capaz de mitigar tais impactos negativos, ao mesmo tempo em que beneficia a construção civil, em especial, o melhoramento superficial de vias não pavimentadas. A redução dos custos com descarte de resíduos em aterros ou incineradoras, somada ao aproveitamento desses materiais como fator de melhorias do uso de estradas não pavimentadas, possibilita a diminuição dos gastos públicos para a conservação destas estradas, que em sua grande maioria, estão sobre a responsabilidade dos municípios.

No tocante à falta de recurso financeiro para investimento nestas vias não pavimentadas, na sua grande maioria, localizadas em áreas rurais dos municípios, verificou-se a necessidade de analisar a possibilidade de melhoria das propriedades mecânicas da camada superficial destas vias. Muitas vezes o solo local em que está passando uma via, pode não ser o mais adequado para dada conjuntura. Geralmente, isso se deve à ausência de propriedades específicas que possam lidar sem prejuízos à estrutura com as intempéries e esforços causados pelo tráfego (Brito e Paranhos, 2017).

Para isto atua a estabilização granulométrica de solos, utilizada nas camadas de materiais granulares em obras de pavimentação que visam aprimorar suas características mecânicas. Dentre as melhorias, destacam-se: o aumento da capacidade de suportar os esforços solicitantes, o aumento na durabilidade, redução da plasticidade e diminuição da expansão deste solo quando submetido a elevada umidade.

A aplicação bem-sucedida do RCC como material de obras de pavimentação pôde ser evidenciada pelos testes realizados por Petrarca e Galdiero (1984), que investigaram a performance do agregado reciclado de concreto, a partir de uma gama de ensaios, incluindo o ensaio de índice de plasticidade e o Índice de Suporte Califórnia.

Grubba (2009) apresenta que o RCC pode ser utilizado tanto na massa asfáltica dos pavimentos flexíveis quanto no concreto dos pavimentos rígidos, contudo sua destinação mais usual é para construção de camadas de sub-base e base.

Em relação à viabilidade da aplicação de agregado reciclado em estradas com pouco volume de tráfego, Leite (2007) chegou à conclusão que, apesar da grande variabilidade da composição dessa espécie de agregado, sua pesquisa demonstrou que o comportamento mecânico do pavimento se deve muito a um processo de compactação eficaz, aplicando minimamente energia intermediária.

Neste estudo, para a verificação da possível melhora no comportamento mecânico de amostras de solo após um processo de estabilização, foram utilizados os resultados do ensaio normalizado mais comumente aplicados no Brasil, o Índice de Suporte Califórnia ou *California Bearing Ratio*. E, ainda, implementou-se neste estudo a realização de ensaios de mini-CBR, que se utiliza de corpos de provas com dimensões reduzidas, a fim de verificar a possibilidade de seu uso se comparado com o ensaio de CBR, uma vez que devido a maior rapidez e menor custo, possibilitaria uma maior quantidade de análises.

## 2. Metodologia

Neste estudo foram analisados parâmetros de resistência dos ensaios de Índice de Suporte Califórnia e sua versão miniaturizada da mistura solo com RCC em diferentes porcentagens.

O ensaio CBR executado atendeu à norma DNER-ME 049/94 denominada “Solos – determinação do Índice Suporte Califórnia utilizando amostras não-trabalhadas” regida pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, atual Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

O ensaio Mini-CBR atendeu as diretrizes da norma DNER-ME 254/97 denominada “Solos compactados em equipamento miniatura - Mini-CBR e expansão” e da norma DNER-ME 228/94 denominada “Solos – compactação em equipamento miniatura”.

Para a montagem dos corpos de prova foram definidos os teores de 0%, 30% e 50% de agregado reciclado em relação à massa total da mistura com o solo, utilizando material que passa pela peneira 2,0mm.

Em ambos os ensaios foram utilizados corpos de prova compactados na energia intermediária com teor de umidade ótima, definidos nos ensaios de CBR simultâneo.

O solo de trabalho é não laterítico, originário da cidade de São Carlos e coletado no talude da margem esquerda da Rodovia SP-215 no quilômetro 152, sentido São Carlos – Dourado.

O agregado reciclado de concreto foi disponibilizado pela empresa AMX Ambiental, especializada no ramo de tratamento e destinação de resíduos e situada na Avenida Ayrton Salvador Leopoldino Junior, 42 – São Carlos.

Coletou-se RCC, conforme a norma DNER-PRO 120/97 intitulada “Coleta de Amostra de Agregados”, composto de apenas uma faixa granulométrica em busca de uma padronização dos ensaios.

O solo e agregado reciclado coletados durante as campanhas foram levados ao Laboratório, passando pelo processo de destorroamento, peneiração, secagem ao ar e homogeneização, para posterior execução dos ensaios de caracterização preliminar

O solo é composto principalmente por grãos finos, visto que 75,2% das partículas passam pela peneira #200 de abertura 0,074 mm. Se trata de um solo silto-argiloso e A-7-5 conforme classificação HRB. O limite de plasticidade de 38% e limite de liquidez de 65%. De acordo com a metodologia “Miniatura, Compactado e Tropical” (MCT) o solo foi classificado como NG<sup>1</sup>.

A distribuição granulométrica do RCC é apresentada na **Figura 1**, nota-se que é composto por grãos de dimensões variáveis, demonstrando uma granulação bem graduada e composto majoritariamente por partículas finas, inferiores a 2mm. Cabe ressaltar que foi coletado o RCC da usina de reciclagem que já havia sido passado por um processo de peneiramento.

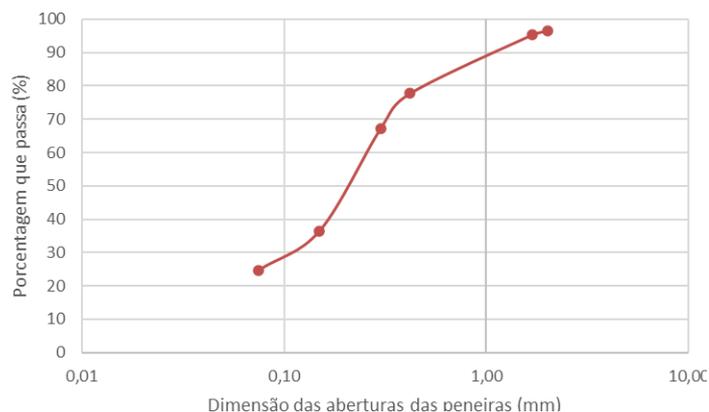


Figura 1 - Distribuição granulométrica do RCC

## 3. Resultados

### 3.1. Ensaio de referência - solo puro

Para as amostras de solo puro foram moldados quatro corpos de prova com umidades de 18%, 20%, 23% e 25%. A **Figura 2** demonstra a distribuição dos pontos obtidos para o solo em estado puro correlacionando a massa específica seca à umidade de cada amostra. Os valores encontrados para a umidade ótima e massa específica seca máxima foram 22,3% e 1,69 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

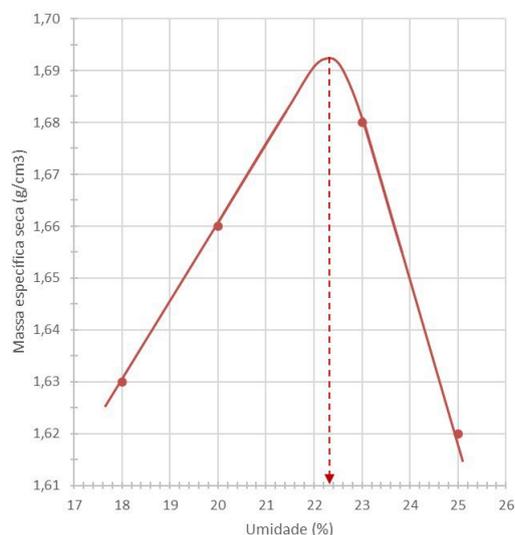
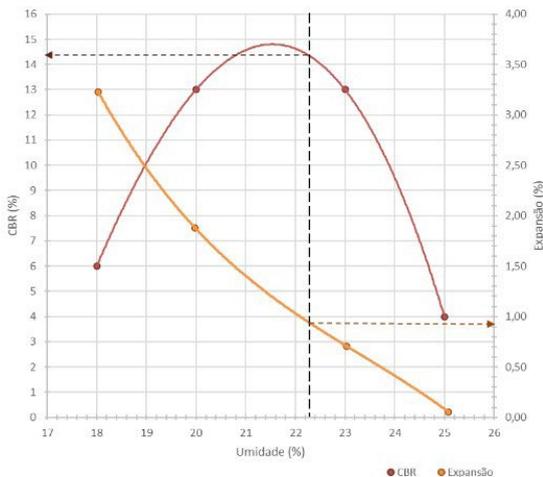


Figura 2 - Determinação da umidade ótima e massa específica seca máxima a partir de ensaio de compactação para o solo em estado puro

A **Figura 3** apresenta os resultados do ensaio de CBR para os quatro teores de umidade. No eixo vertical a esquerda

tem-se o valor de CBR e no eixo vertical a direita a expansão volumétrica. Com a curva de tendência para cada teor umidade estabeleceu por interpolação gráfica o Índice de Suporte Califórnia de um corpo de prova moldado na umidade ótima. Os valores encontrados para o índice CBR e a expansão volumétrica foram 14% e 0,9%, respectivamente.



**Figura 1** - Curvas para a determinação do Índice de Suporte Califórnia e expansão volumétrica dos corpos de prova moldados na situação de solo puro

### 3.2. Comparação entre as misturas solo-RCC (CBR)

Comparou-se o solo puro, a mistura de 70% de solo com 30% de RCC e a mistura de 50% de solo com 50 de RCC. A **Figura 4** demonstra a distribuição dos pontos obtidos para cada teor da mistura solo-agregado correlacionando a massa específica seca máxima à umidade de cada amostra. Observa-se que, à medida que o teor de agregado reciclado é acrescido ao solo, diminui-se a porcentagem de partículas argilosas na mistura, o que ocasiona em redução da umidade ótima da mistura e aumento da massa específica seca máxima da mistura.



**Figura 2** - Determinação da umidade ótima e massa específica seca máxima a partir de ensaio de compactação Proctor para os três teores da mistura solo-agregado

Os valores para o índice CBR e a expansão volumétrica na umidade ótima para cada configuração de amostra podem ser observados na Tabela 1.

**Tabela 1** - Determinação do Índice de Suporte Califórnia e expansão volumétrica para amostras na umidade ótima de cada teor da mistura solo-agregado

Composição	Solo puro	Solo-agregado (70/30)	Solo-agregado (50/50)
Umidade ótima (%)	22,3	19,3	16,9
Índice CBR (%)	14	14	35
Expansão (%)	0,9	0,6	0,2

Observa-se que o traço 70/30 não apresentou melhora do índice CBR em relação ao do solo puro e isso pode ser explicado pelo fato que a adição de agregado reciclado não foi suficiente para contribuir com uma boa distribuição dos tamanhos dos grãos da mistura, visto que o solo é formado, em sua maioria, por partículas finas e nesse traço ainda é o material mais presente na mistura.

A estabilização granulométrica se mostrou eficiente no traço 50/50, em que a mistura desses componentes resultou em uma graduação mais abrangente para a compactação e que, por conseguinte, impactou no acréscimo da capacidade de suporte. Com isso, é visto que o suporte à carga na mistura 50/50 se mostrou superior, sendo, no mínimo, duas vezes maior que o índice das duas outras configurações.

Já a adição de agregado implicou em redução da expansibilidade das misturas, porém, a situação encontrada no caso de maior variação volumétrica (solo puro) ainda é a de um material pouco expansível.

### 3.3. Comparação entre as misturas (mini-CBR)

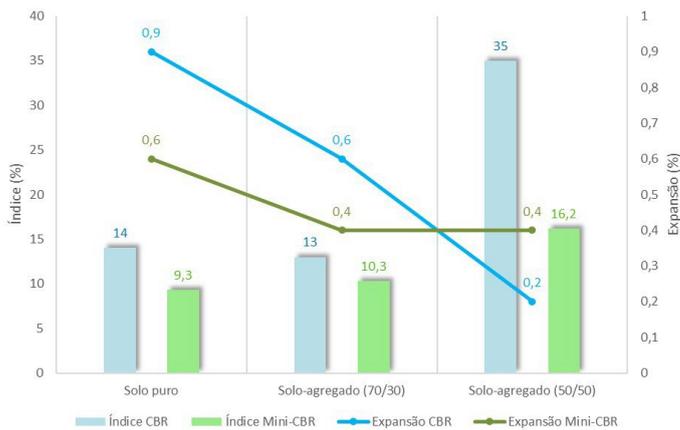
Para os ensaios de mini-CBR foram realizadas três repetições por mistura de forma a verificar a repetibilidade do ensaio. A **Tabela 2** apresenta os resultados obtidos para o solo puro, para a mistura solo-RCC na proporção 70/30 e 50/50.

**Tabela 1** - Determinação do Índice Mini-CBR

Composição	Solo puro			Solo-agregado (70/30)					Solo-agregado (50/50)	
Número do CP	101	102	103	104	105	106	107	108	109	
Mini-CBR (%)	9,0	9,4	9,6	10,8	10,3	9,7	16,4	16,0	16,2	
Média Mini-CBR (%)	9,3			10,3					16,2	
Expansão (%)	0,3	0,7	0,8	0,4	0,4	0,4	0,5	0,3	0,4	
Média da exp. (%)	0,6			0,4					0,4	

A **Figura 5** apresenta a comparação dos resultados dos ensaios de CBR e mini-CBR para o solo pura e solo-RCC

É interessante observar que em ambos os ensaios, a adição de agregado reciclado na proporção de 30% não provocou mudanças significativas nos índices de suporte tanto quanto sua adição na proporção de 50% em ambos os ensaios. Isso se deve ao fato de que a estabilização granulométrica só começou a apresentar características de ganho de capacidade de carga quando o agregado reciclado teve maior presença na mistura, impactando com seus grãos mais robustos e trazendo um contraste ao solo argiloso que possui uma grande quantidade de partículas finas. Observa-se que na proporção de 50% de agregado reciclado, a mistura adquiriu valores comparavelmente superiores aos dos outros dois teores nos índices CBR e Mini-CBR. Em relação ao solo em condição pura, essa composição tem índice CBR 150% maior e índice Mini-CBR 74% maior. Portanto, com uma graduação mais abrangente para a compactação, a capacidade de suporte do material foi impactada positivamente.



**Figura 3** - Índices e expansões encontrados nos ensaios de CBR e Mini-CBR para os três de teores da mistura solo-agregado na umidade ótima

#### 4. Considerações Finais

Apesar de ambos os ensaios de CBR e Mini-CBR terem como mesmo princípio a determinação do suporte de um material granular, suas diferenças são bem expressivas e vão muito além da magnitude dos equipamentos. Há divergências nas constantes dos anéis dos dinamômetros, no tempo de imersão em água, nos parâmetros utilizados nas equações de determinação de cada índice e em diversos outros aspectos. Desta forma, fica evidenciado a necessidade de estudos mais aprofundados e com uma gama maior de amostragens.

Embora não se possa correlacionar de maneira direta os parâmetros obtidos dos ensaios de CBR e Mini-CBR, foi possível observar, neste estudo, que qualquer variação (positiva, negativa ou até mesmo nula) do índice de suporte nas amostras estudadas são, aparentemente, compatíveis. Assim, sugere-se a continuidade aos testes em solos e misturas diversas, para que a correlação de CBR e Mini-CBR seja melhor entendida.

O ensaio miniaturizado ainda obtém diversos benefícios ponderados pelo autor sobre o ensaio tradicional, visto a

viabilidade de atribuição de dados correspondentes ao desempenho real dos solos tropicais, custo e força de trabalho físico menores, uso reduzido de material testado e rapidez na obtenção dos resultados.

Em relação ao acréscimo de RCD, nota-se que esse material passa a acrescentar uma resistência à penetração (aumento do ISC), possivelmente em valores acima de 30% da mistura. Observou-se que dentre os três teores de composição testados, as amostras com solo-agregado na proporção de 1:1 foram as que apresentaram maior suporte nos ensaios, evidenciando que o RCD deve ser utilizado em uma quantidade considerável para contribuir com uma boa graduação de distribuição granulométrica e, conseqüentemente, com o aumento da capacidade de carga do material.

Já o fator de expansibilidade para esse solo não se mostrou crucial para justificar o uso de RCD. Ainda, assim, a ampliação destes ensaios para solos mais expansíveis se faz recomendada para a averiguação em maior escala da leve tendência de diminuição da variação volumétrica visto neste estudo.

Contudo, pode-se verificar uma promissora utilização do resíduo da construção civil para utilização em vias não pavimentadas uma vez que possibilita uma melhoria significativa na capacidade de suporte e expansibilidade, entretanto, ressalta-se a necessidade de um estudo mais abrangente em solos com diferentes classificações e ainda uma análise físico-químico do extrato solubilizado das misturas, para verificar se a mistura libera algum contaminante ao sofrer lixiviação.

#### Referências

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9895: Solo – Índice de Suporte Califórnia. 1987.
- BRITO, Laís Costa; PARANHOS, Haroldo da Silva. Estabilização de Solos. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, São Paulo, Edição 06, Ano 02, v. 1. p. 425-438, set. 2017. ISSN:2448-0959.
- DNER-ME 049: Solos – determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. 1994.
- DNER-ME 254/97: Solos compactados em equipamento miniatura – Mini-CBR e expansão. Rio de Janeiro, 1997.
- GRUBBA, D. C. R. P., Estudo do comportamento mecânico de um agregado reciclado de concreto para utilização na construção rodoviária. 139p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.
- LEITE, F. C. Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos. 185 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, 2007.
- Organização das Nações Unidas (ONU). 2019: natural resources for the future we want. Global Resources Outlook, 2019. Disponível em: [Global Resources Outlook](#). Acesso em: 15 de julho de 2023



IX Simpósio do Pesquisa em Sistemas de Infraestrutura Urbana SPInfra 2023  
02 e 03 de outubro de 2023

PETRARCA, R. W.; GALDIERO, V. A. Summary of testing of recycled crushed concrete. Transportation Research Record, n.973, p. 19-26, 1984.



# Uso do software InVEST na avaliação por Serviços Ecossistêmicos nas ciências ambientais

Mauricio Solera Rodrigues da Silva<sup>1</sup>, Raissa Caroline Gomes<sup>2</sup>, Luiz Henrique Freguglia Aiello<sup>3</sup>, Regina Márcia Longo<sup>4</sup>.

1. Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana e em Sustentabilidade [msolera@puc-campinas.edu.br](mailto:msolera@puc-campinas.edu.br), Pontifícia Universidade Católica de Campinas.
2. Pós Doutoranda em Sistemas de Infraestrutura Urbana, [raissa.cgt@hotmail.com](mailto:raissa.cgt@hotmail.com), Pontifícia Universidade Católica de Campinas.
3. Doutorando no Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, [luz.aiello@unesp.br](mailto:luz.aiello@unesp.br), Universidade Estadual Paulista – Campus Sorocaba.
4. Profa. Dra. Regina.longo@puc-campinas.edu.br, Programa de pós-graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana e em Sustentabilidade

**Resumo:** Ciências ambientais consiste em uma importante área do conhecimento que atualmente vem agregando importantes estudos em áreas prioritárias dentro dos sistemas urbanos. No contexto dos Serviços Ecossistêmicos (SEs), as áreas verdes vêm ganhando cada vez mais destaque dentro das cidades. Nesse sentido o estabelecimento de metodologias que auxiliem nesses estudos é de suma importância. Assim o presente artigo teve por objetivo analisar o uso do software InVEST na análise de SEs por meio de uma análise bibliométrica na literatura nos últimos 10 anos, utilizando a base de dados Scopus. De maneira geral observou-se um aumento progressivo na produção de trabalhos utilizando o software no dimensionamento dos serviços ambientais providos por diferentes áreas que englobam as ciências ambientais, porém constatou-se que esses estudos precisam ser incrementados no Brasil.

**Palavras-chave:** InVEST, áreas verdes, análise bibliométrica.

## 1. Introdução

Os efeitos da ação humana sobre a vida no planeta cresceram significativamente a partir da década de 1970, através de uma análise de um amplo mapeamento global demonstram que 6 milhões de Km<sup>2</sup> (equivalente a 32,8%) das terras que estão protegidas sofrem uma enorme interferência humana (DÍAZ *et al.*, 2019). Essas áreas desempenham um papel fundamental para a conservação da biodiversidade, melhoria da qualidade de vida das pessoas entre outros benefícios (JONES *et al.*, 2018).

As ações antrópicas são consideradas como riscos aos SEs gerados pela natureza. Uma gestão baseada nos ecossistemas, fornecem apoio aos gestores para a tomada de decisões e enfrenta desafios físicos, químicos e biológicos resultante da poluição de áreas de riscos (BASTOS *et al.*, 2023).

Uma administração pública adequada é aquela que prioriza o uso e ocupação do solo para manter os SEs, principalmente dentro do espaço urbano. No entanto essa compreensão ainda é limitada em manter os SEs em áreas altamente urbanizadas (MOHAMMADYARI *et al.*, 2023; WEN *et al.*, 2023).

A definição das áreas de preservação que são fundamentais para os serviços ecossistêmicos é um passo

importante para o gerenciamento ideal, mas esse equilíbrio ainda é um problema entre o processo de planejamento e as áreas de preservação (WANG *et al.*, 2023).

Algumas áreas são indispensáveis para uma administração sustentável, como parques, florestas e ruas arborizadas. Conciliar essa infraestrutura verde com o planejamento urbano, continua sendo um desafio para os governantes, apesar de todos os estudos que auxiliem a tomada de decisões (HAMEL *et al.*, 2021).

A variação no padrão da paisagem em nível regional e a distribuição dos SEs ao longo do espaço e tempo são moldados pela disposição de recursos naturais e pela melhoria socioeconômica. Analisar os SEs e observar como a combinação da paisagem pode influenciar esses serviços, podem ser cruciais para a proteção da paisagem e dos SEs (CHEN *et al.*, 2023).

Uma forma de analisar esses serviços é através de ferramentas que possam auxiliar as tomadas de decisões e assim recuperar e conservar essas áreas, uma dessas ferramentas é o Software InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*) (CASTRO, 2020).

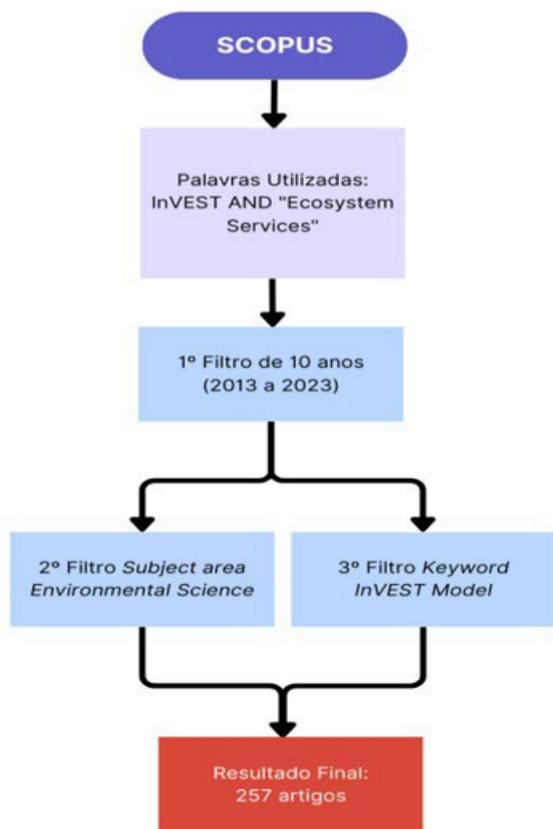
O software se baseia em modelos de mapas e pode ser classificado em três categorias (serviços de suporte, serviços finais e ferramentas para análise dos serviços ecossistêmicos), considerando os termos biofísicos e econômicos em escala local, regional e global, e gerando portanto, cenários futuros para embasar as possíveis tomadas de decisões (LOPES, 2019; CONG *et al.*, 2020). Neste sentido, o presente trabalho teve por objetivo analisar o uso do Software InVEST na análise de SEs por meio de uma análise bibliométrica da literatura. Ainda, o Software InVEST é um conjunto de modelos livre e de código aberto com a finalidade de estimar os bens e serviços prestados pela natureza. Sendo o software um projeto capital natural da Universidade de Stanford (NatCap) com diversas parcerias institucionais e ongs de nível mundial como por Academia Chinesa de Ciências, Centro de Resiliências de Estocolmo e ONGs como a World Wildlife Fund (WWF) entre outras (NATURAL, 2019).

## 2. Metodologia

A revisão bibliográfica ou revisão da literatura é um procedimento muito usado na fundamentação teórica que é primordial em todas as pesquisas científicas (ALBACH; MEDEIROS, 2019; KOHLS-SANTOS; MOROSINI, 2021).

Para tanto, a base de dados Scopus foi escolhida para a realização da análise bibliométrica com o objetivo de identificar a produção científica sobre SEs com o uso do software InVEST.

Foram cumpridas algumas etapas, onde selecionaram-se as seguintes palavras para a busca: InVEST AND "ecosystem services". A partir do resultado aplicou-se um refinamento, um primeiro filtro de 10 anos entre 2013 e 2023, onde foi encontrado um total de 1238 artigos, um segundo filtro em *subject area* (área relacionada) foi aplicado com a seleção de *Environmental Science* (ciência ambiental) e um terceiro filtro em *Keyword* (palavra-chave) foi aplicado limitado a InVEST Model (modelo InVEST) reduzindo a busca a 257 artigos, conforme apresenta-se na Figura 1.



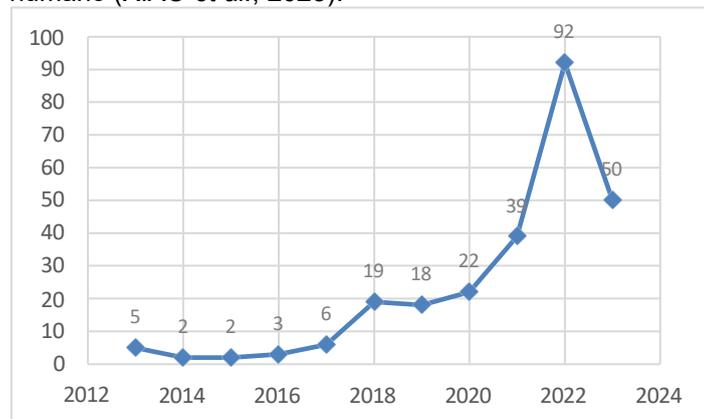
**Figura 1.** Fluxograma da pesquisa bibliométrica. Autoria própria.

### 3. Resultados

A busca realizada pela base de dados Scopus entre o período de 2013 a 2023 com a aplicação dos filtros encontrou um total de 257 artigos. A maior quantidade de artigos produzidos foi no ano de 2022 com 92 artigos e a partir do ano de 2017 ocorreu uma maior produção de artigos relacionados com o assunto como demonstrado na Figura 2.

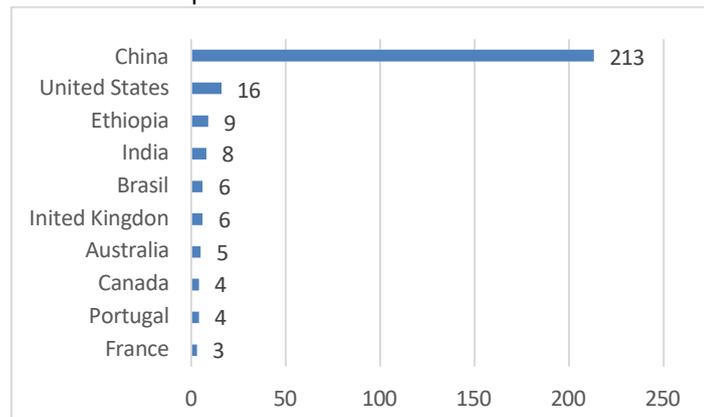
De maneira geral, pode-se observar que ainda existem poucos estudos que abordam a influência que o uso e ocupação do solo tem sob as mudanças climáticas, sendo que estes são os dois principais agentes atuantes nos SEs. Esses estudos são importantes pois os SEs atuam de forma

fundamental no desenvolvimento socioeconômico sustentável, além de ser importante para o bem-estar humano (XIAO *et al.*, 2023).



**Figura 2.** Quantidade de artigos por ano. Fonte: base de dados Scopus.

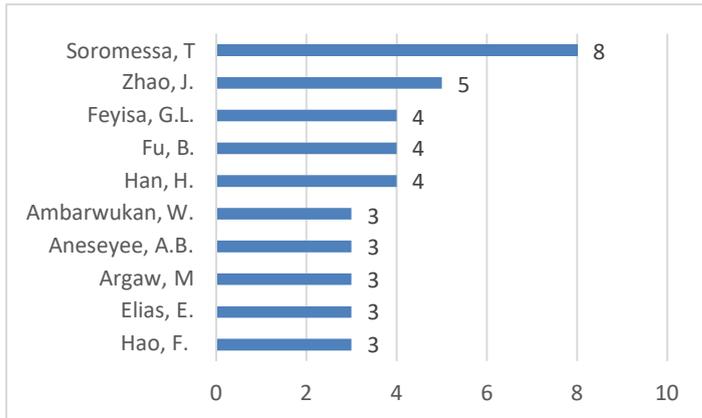
Na Figura 3 pode-se observar que o país que mais produziu artigos foi a China com um total de 212 artigos, seguido pelos Estados Unidos, o Brasil aparece em quinto lugar com um total de 6 artigos produzido entre os anos de 2019 e 2022 todos publicados em revistas internacionais.



**Figura 3.** Artigos por país. Fonte: base de dados Scopus.

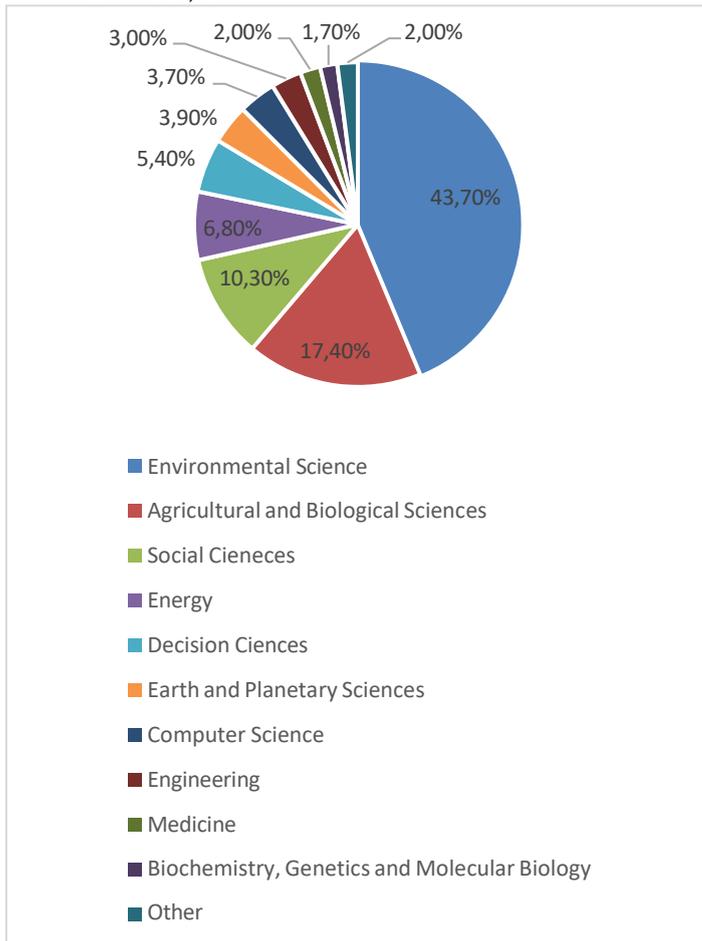
Observou-se também que o autor que mais produziu foi Teshome Soromessa com 8 artigos do Centro de Ciências Ambientais da Universidade de Addis Ababa na Etiópia conforme a Figura 4.

O InVEST constitui em uma ferramenta que utiliza padrões de LULC (LAND USE LAND COVER) que é o uso e cobertura do solo e pode determinar níveis e valores econômicos dos SEs definidos por sequestro de carbono, conservação do solo, mitigação de tempestades, etc. (NELSON *et al.*, 2009), podendo assim ser utilizado para a valoração de SEs na área de ciências ambientais. No entanto, no Brasil esses estudos ainda precisam de maior incremento. Para Vieira (2018) o aumento dos estudos permite a mitigação dos efeitos negativos, permitindo uma gestão ambiental e a monitorização do ambiente de forma adequada, possibilitando a identificação de áreas importantes para o planejamento e preservação dos recursos naturais e um desenvolvimento de forma sustentável.



**Figura 4.** Documentos por autor. Fonte: base de dados Scopus.

Na Figura 5 pode-se visualizar as principais áreas temáticas em que o modelo InVEST foi aplicado, onde as Ciências Ambientais aparecem com 43,7% dos artigos, seguido por Ciências Agrárias e Biológicas com 17,4% e Ciências Sociais com 10,3%.



**Figura 5.** Documentos por área temática. Fonte: base de dados Scopus.

A utilização do InVEST ocorre em diversos trabalhos e áreas para determinação dos SEs para a estruturação do território e um melhor planejamento estratégico (SILVA, 2022). Nelson (2009) utilizou o InVEST em três cenários de

uso e ocupação do solo (conservação, planejamento e desenvolvimento) mostrando como esse uso afeta os Serviços Ecossistêmicos na parte hidrológica, qualidade de água, sequestro de carbono entre outros, além de calcular o valor de mercado de commodities.

#### 4. Considerações Finais

De maneira geral, observou-se um aumento publicações que buscam compreender melhor os SEs que as áreas verdes prestam para a sociedade, sendo de grande valia para as decisões de políticas públicas. No entanto, a baixa publicação por pesquisadores brasileiros reforça a importância de se incrementar estudos com o uso do software InVEST para que a ciência possa avançar concomitante aos demais países.

#### Referências

ALBACH, V. M.; MEDEIROS, M. L. UTILIZAÇÃO DA REVISÃO SISTEMÁTICA EM TURISMO: PANORAMA INTERNACIONAL E IBERO-AMERICANO DOS TRABALHOS PRESENTES NO SCOPUS E REDALYC. **Ciências Sociais Aplicadas**, vol. 28, 20 Dec. 2019. DOI 10.5212/PublicatioCi.Soc.v.28.2020.14492. Available at: <https://revistas.uepg.br/index.php/sociais/article/view/14492/209209212748>. Accessed on: 7 Aug. 2023.

BASTOS, M.I.; ROEBELING, P.C.; ALVES, F.L.; VILLASANTE, S.; MAGALHÃES FILHO, L. High risk water pollution hazards affecting Aveiro coastal lagoon (Portugal) – A habitat risk assessment using InVEST. **Ecological Informatics**, vol. 76, p. 102144, Sep. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102144>.

CASTRO, JOSÉ IGOR ALMEIDA. **UTILIZAÇÃO DA PLATAFORMA INVEST PARA ESTIMAR OS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NO PLANALTO DO RIO GRANDE DO SUL**. 2020. 1–100 f. Dissertação apresentada como um dos requisitos à obtenção do Grau de Mestre em Ciência do Solo – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre - RS, 2020. Available at: <http://hdl.handle.net/10183/233207>. Accessed on: 4 Aug. 2023.

CHEN, JUNCHEN; QI, QI; WANG, BINYU; HE, SHUYU; LI, ZHAOHUA; WANG, LING; LI, KUN. Response of ecosystem services to landscape patterns under socio-economic-natural factor zoning: A case study of Hubei Province, China. **Ecological Indicators**, vol. 153, p. 110417, Sep. 2023. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110417>.

CONG, WENCUI; SUN, XIAOYIN; GUO, HONGWEI; SHAN, RUIFENG. Comparison of the SWAT and InVEST models to determine hydrological ecosystem service spatial patterns, priorities and trade-offs in a complex basin. **Ecological Indicators**, vol. 112, p. 106089, May 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106089>.

DÍAZ, SANDRA; SETTELE, JOSEF; BRONDÍZIO, EDUARDO S.; NGO, HIEN T.; AGARD, JOHN; ARNETH, ALMUT; BALVANERA, PATRICIA; BRAUMAN, KATE A.; BUTCHART, STUART H. M.; CHAN, KAI M. A.; GARIBALDI, LUCAS A.; ICHII, KAZUHITO; LIU, JIANGUO; SUBRAMANIAN, SUNEETHA M.; MIDGLEY, GUY F.; MILOSLAVICH, PATRICIA; MOLNÁR, ZSOLT; OBURA, DAVID; PFAFF, ALEXANDER; ... ZAYAS, CYNTHIA N. Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. **Science**, vol. 366, no. 6471, 13 Dec. 2019. <https://doi.org/10.1126/science.aax3100>.



- HAMEL, P.; GUERRY, A. D.; POLASKY, S.; HAN, B.; DOUGLASS, J. A.; HAMANN, M.; JANKE, B.; KUIPER, J. J.; LEVREL, H.; LIU, H.; LONSDORF, E.; MCDONALD, R. I.; NOOTENBOOM, C.; OUYANG, Z.; REMME, R. P.; SHARP, R. P.; TARDIEU, L.; VIGUIÉ, V.; XU, D.; ... DAILY, G. C. Mapping the benefits of nature in cities with the InVEST software. **npj Urban Sustainability**, vol. 1, no. 1, p. 25, 21 Jun. 2021. <https://doi.org/10.1038/s42949-021-00027-9>.
- JONES, KENDALL R.; VENTER, OSCAR; FULLER, RICHARD A.; ALLAN, JAMES R.; MAXWELL, SEAN L.; NEGRET, PABLO JOSE; WATSON, JAMES E. M. One-third of global protected land is under intense human pressure. **Science**, vol. 360, no. 6390, p. 788–791, 18 May 2018. <https://doi.org/10.1126/science.aap9565>.
- LOPES, V. A. A. **Modelos de valorização integrada no apoio à conservação e gestão de ecossistemas: Caso de estudo da Reserva Natural do Paul do Boquilobo** 2019. 140f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica, Planeamento e Gestão do Território), Instituto Politécnico de Tomar – Escola Superior de Tecnologia de Tomar, Tomar, 2019 <http://hdl.handle.net/10400.26/31524>
- KOHL-SANTOS, P.; MOROSINI, M. C. O REVISITAR DA METODOLOGIA DO ESTADO DO CONHECIMENTO PARA ALÉM DE UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. **Revista Panorâmica**, vol. 33, 2021. .
- MOHAMMADYARI, FATEMEH; TAVAKOLI, MOHSEN; ZARANDIAN, ARDAVAN; ABDOLLAHI, SEDIGHE. Optimization land use based on multi-scenario simulation of ecosystem service for sustainable landscape planning in a mixed urban - Forest watershed. **Ecological Modelling**, vol. 483, p. 110440, Sep. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2023.110440>.
- NATURAL CAPITAL PROJECT – InVEST, California, Stanford University, 2019. Disponível em: <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>. Acesso em: 18 ago. 2023.
- NELSON, ERIK; MENDOZA, GUILLERMO; REGETZ, JAMES; POLASKY, STEPHEN; TALLIS, HEATHER; CAMERON, DRICHARD; CHAN, KAI MA; DAILY, GRETCHEN C; GOLDSTEIN, JOSHUA; KAREIVA, PETER M; LONSDORF, ERIC; NAIDOO, ROBIN; RICKETTS, TAYLOR H; SHAW, MREBECCA. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. **Frontiers in Ecology and the Environment**, vol. 7, no. 1, p. 4–11, Feb. 2009. <https://doi.org/10.1890/080023>.
- SILVA, L. F. O; **Soluções Baseadas na Natureza – Análise Espacial Multicritérios: O caso de Dublin**. Mestrado (Risco, Cidades e Ordenamento do Território). Faculdade de Letras do Porto. Porto, 2022.
- VIEIRA, E.J.F; **Impacto das alterações da cobertura do solo no armazenamento de carbono em Angola entre 2005 a 2009**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Sistema de Informação Geográfica). NOVA Information Management School. Luanda, 2018.
- WANG, XIAOFENG; SUN, ZECHONG; FENG, XIAOMING; MA, JIAHAO; JIA, ZIXU; WANG, XIAOXUE; ZHOU, JITAO; ZHANG, XINRONG; YAO, WENJIE; TU, YOU. Identification of priority protected areas in Yellow River Basin and detection of key factors for its optimal management based on multi-scenario trade-off of ecosystem services. **Ecological Engineering**, vol. 194, p. 107037, Sep. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107037>.
- WEN, DING; WANG, XIUMING; LIU, JUN; XU, NAIZHONG; ZHOU, WEN; HONG, MAN. Maintaining key ecosystem services under multiple development scenarios: A case study in Guangdong–Hong Kong–Macao greater bay Area, China. **Ecological Indicators**, vol. 154, p. 110691, Oct. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110691>.
- XIAO, JUNZHU; SONG, FEI; SU, FANGLI; SHI, ZHEYU; SONG, SHUANG. Quantifying the independent contributions of climate and land use change to ecosystem services. **Ecological Indicators**, vol. 153, p. 110411, Sep. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110411>.



# ANÁLISE DE DESEMPENHO MECÂNICO DO UHPC COM ADIÇÃO DE FIBRA PVA E USO DE RESÍDUO DE LOUÇA SANITÁRIA

Wellington Sousa Mendes<sup>1</sup>

1. Engenheiro Civil, [Wellington.mendes@gmail.com](mailto:Wellington.mendes@gmail.com), PUC Campinas

**Resumo:** O concreto é um dos materiais mais utilizados construção civil e vem sendo estudado desde o século XIX, e sua evolução é constante devido às demandas de mercado e as especificidades de cada projeto. Um dos enfoques mais atuais destas pesquisas é o concreto UHPC (Ultra High Performance Concrete). O estudo consiste em uma análise de comportamento do concreto UHPC com adição de Fibra de PVA e substituição do pó de quartzo por resíduo de louça sanitária. Deste modo foram produzidos um total de 5 traços, com variações na de adição de fibra de PVA de 0,8 e 1% em relação a massa de cimento, juntamente com 100% de substituição do pó de quartzo por resíduo de louça sanitária, com a finalidade de analisar o comportamento das misturas quanto a suas propriedades físicas e mecânicas. Após desenvolvimento de todas as etapas foi notada a efetividade da substituição do pó de quartzo, por pó de louça sanitária com ganhos significativos de resistência à compressão axial, com módulos de elasticidade satisfatórios e necessidade de aumento no consumo de fibra de PVA para ensaio de tração na flexão.

**Palavras-chave:** Concreto, Fibras, Substituição

## Introdução

O uso do UHPC vem crescendo nos últimos 20 anos em vários tendo seu principal emprego na construção componentes estruturais, pontes, fachadas arquitetônicas, reparo e reabilitação, componentes verticais, como torres de moinhos de vento e torres de utilidades para aplicações na indústria de petróleo e gás, estruturas off-Shore, estruturas hidráulicas e entre outras (VOO et. al 2017).

Os principais componentes do UHPC aglomerantes são cimento Portland, sílica ativa, cinzas volantes, calcário em pó, lã de escória de aço e até nanopartículas, em seus agregados tem características de um módulo de finura o mais baixo possível e com maior homogeneidade dos grãos, tomando como parâmetros de o uso de agregados com um diâmetro de 0,1mm a 8mm. Os aditivos super plastificantes utilizados auxiliam na redução do fator água cimento ficando em parâmetros de 0,15 e 0,2 e por fim as fibras de aço funcionando como reforço para resistência mecânica e evitando deslocamento. (BUTTIGNOL et. al 2017). Devido ao considerável uso de materiais, especialmente cimento, na composição do UHPC, é essencial adotar abordagens e técnicas que coloquem a sustentabilidade em destaque, preservem os recursos naturais e controlem os custos durante seu processo de fabricação. Um conjunto de estudos tem sido conduzido nesse sentido, buscando alternativas mais ecologicamente eficazes para a produção desse concreto, ao mesmo tempo garantindo o cumprimento das metas de resistência. Sendo o resíduo de louça sanitária uma dessas alternativas, já que os resíduos de construção são um grave problema

ambiental, pois a construção e a demolição representam 10-30% dos resíduos recebidos em muitos aterros em todo o mundo. (BEGUM et. al , 2006).

A indústria cerâmica de louça sanitária que disponibiliza a o resíduo cerâmico que é utilizado neste trabalho, gera uma enorme quantidade de resíduos provenientes da produção, peças fora de especificação, perdas no transporte e descarregamento de matéria-prima, homogeneização da barbotina e lavagem de equipamentos. As cerâmicas podem reagir com o hidróxido de cálcio porque contêm altos níveis de pozolanas, resultando em silicatos e aluminatos de cálcio. (MELO, J. et al.,2020).

Existem estudos dedicados às reações pozolânicas em diversos materiais, como, por exemplo, pesquisas relacionadas à utilização de resíduos cerâmicos moídos. A composição da argila presente na cerâmica pode variar consideravelmente, sendo influenciada principalmente pela temperatura de queima e pela matéria-prima utilizada. Estes fatores desempenham um papel crucial na determinação das características do material pozolânico resultante. Além disso, a finura dos resíduos cerâmicos é um atributo crítico que afeta diretamente a sua reatividade, uma vez que quanto mais fino o material, maior será seu desempenho nas reações (Carvalho et al., 2016).

Em linhas gerais, a incorporação de pozolanas em concreto pode resultar em uma mistura mais homogênea e compacta, conferindo-lhe maior impermeabilidade. No processo de fabricação de produtos de cerâmica vermelha, a queima geralmente ocorre na faixa de temperatura de 700° C a 900° C, onde a cristalização se inicia e a formação de novas fases minerais é limitada. A alta reatividade dos cristais de sílica amorfa presente nesse processo classifica o material como pozolânico, o que significa que pode ser usado como adição mineral em outros materiais, contribuindo para melhorar suas propriedades (Garcia et al., 2014).

Para aumentar a resistência mecânica do material, o quartzo pode ser substituído por sinter de argila de alumina ou alumina, que pode ser parte ou todo o material. (CABRAL et al., 2009)

## 1. Metodologia

Este trabalho visa a análise da produção do UHPC com fibras de PVA e a substituição de Pó de quartzo por resíduos de louça sanitária, avaliando o comportamento físico e mecânico do concreto devido as variações de dosagens. Podendo ser divididas em duas etapas, sendo a primeira engloba todo o processo de caracterização dos materiais usados, a definição do traço e a distribuição de moldagens, como pode ser visto no fluxograma apresentado na figura 2 onde os processos tomam duas linhas de dosagem após a produção do traço referência,



sendo que na primeira linha temos dois traços referência com adição de fibras de 0,8% e 1,0% em cada respectivamente e não apresentam a substituição do pó de quartzo, já a segunda linha se tem os dois traços, com as mesmas adições de fibra que o anterior, porém com 100% de substituição do pó de quartzo por resíduo em pó de louça sanitária.

Na segunda etapa temos os processos de ensaios laboratoriais sendo eles a determinação da:

- Resistência à compressão;
- Modulo de elasticidade e
- Resistência à tração na flexão.

Assim podendo analisar os resultados e definir qual teor de fibras foi mais eficiente e se a substituições de resíduos sanitários foram vantajosas.

## 1.2. Traço

Foi utilizado como traço base o desenvolvido por Vigneshwari, Arunachalam e Angayarkanni (2018), pois em seu estudo apresentou resistência à compressão entre 137 MPa e 175 MPa aos 28 dias e por já ter sido reproduzido por Sumitomo (2022), neste laboratório, por isso foram utilizados os materiais do mesmo fornecedor. Deste modo na figura 1, são apresentados os consumos de materiais do traço referência produzido por Vigneshwari, Arunachalam e Angayarkanni (2018) e que o presente estudo focara em replicar juntamente com a adição de fibras de PVA e louça sanitária, com finalidade de analisar o comportamento do concreto com essas adições prezou-se pela utilização dos mesmos materiais utilizados por Sumitomo.

Traço	Referência	0,8% PVA - PQ	0,8% PVA - PLS	1% PVA - PQ	1% PVA - PLS
<b>Consumo</b>					
Volume (m <sup>3</sup> )	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018
Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	922,800	922,800	922,800	922,800	922,800
Silica ativa (kg/m <sup>3</sup> )	179,160	179,160	179,160	179,160	179,160
Areia (kg/m <sup>3</sup> )	1015,168	1015,168	1015,168	1015,168	1015,168
Pó de quartzo (kg/m <sup>3</sup> )	92,288	92,288	0,000	92,288	0,000
Pó de louça sanitária(kg/m <sup>3</sup> )	0,000	0,000	92,288	0,000	92,288
Aditivo	36,915	36,915	36,915	36,915	36,915
Água	179,160	179,160	179,160	179,160	179,160
Fibra de PVA	0,000	10,400	10,400	13,000	13,000

Figura 1- Consumo dos materiais.

## 1.2. Caracterização dos Materiais

O UHPC produzido neste trabalho foi produzido a partir da mistura de Cimento Portland CPV-ARI, areia de quartzo, pó de quartzo, pó de louça sanitária, sílica ativa, aditivo superplastificante, Fibra de PVA e água, assim todos os materiais foram caracterizados, conforme tabela 1

O cimento utilizado foi o cimento Portland LIZ CP V-ARI Premium que tem sua fabricação em Lagoa Santa- MG e Vespasiano-MG. Pois segundo Sumitomo (2022), o cimento utilizado por Vigneshwari, Arunachalam e Angayarkanni (2018) é denominado de cimento Portland Comum de grau 53, tem limites físicos e mecânicos que se se assemelham mais ao cimento CP-V conforme ABNT NBR 16697:2019. A areia utilizada é areia fina de quartzo, oriunda de processos de britagem a partir de rochas estáveis ou

naturais que são os encontrados na natureza, ou até da mistura de ambos, cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075 e sendo fornecida pela empresa Beneficiamento de Minérios Rio Claro (BMRC).O pó de quartzo que assim como a areia fina é proveniente do mesmo processo de fabricação e foi fornecida pela empresa Beneficiamento de Minérios Rio Claro (BMRC).

O pó de louça sanitária é um resíduo da produção de louças e foi fornecido pela Empresa Deca. A sílica ativa utilizada, Centrilit Fume S da empresa MC Bauchimie, em solução aquosa, teve seu teor de sólidos, determinado por Sumitomo, 2022, que obteve o teor de sólidos de 52,34%. Foi utilizado o superplastificante líquido, MC-Powerflow 4001, de base policarboxilato, assim foram escolhidos por serem ideais para concretos de baixa relação água/cimento. As fibras poliméricas utilizadas são de PVA da marca KURALON, com 0,04mm de diâmetro e 12,00 mm de comprimento e apresentando resistências características de tração de 1600 MPa, modulo de elasticidade de 41GPa e massa específica de 1300 Kg/m<sup>2</sup> assim visando fornecer resistência à flexão, controle de rachaduras e ductilidade ao material.

## 1.3. Moldagem e Mistura

O preparo da mistura do UHPC é similar ao preparo de concretos normais, porém em virtude da baixa quantidade de água e necessidade de mistura de finos é necessária alta energia de mistura. Caso não seja tomado certo cuidado no preparo, a temperatura da mistura pode aumentar muito, prejudicando substancialmente as propriedades do UHPC. Como solução para este problema, parte da água utilizada pode ser na forma de gelo, assim, diminuindo a temperatura da mistura (FRENCH STANDARD. NF P 18 470. Concrete – Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete).

O processo de produção do UHPC foi realizado modelo criado por Sumitomo, 2022. Os materiais foram colocados em argamassadeira vertical de capacidade de 9 litros, seguindo a ordem de mistura abaixo especificado:

1ª Entrada de materiais:

- Acrescentar 50% cimento + 100% sílica ativa. Misturando por 2 minutos e 30 segundos na velocidade mínima do equipamento.
- Parada rápida para raspagem do fundo e misturador da argamassa
- Reinício da mistura por 2 minutos e 30 segundos na velocidade mínima do equipamento.

2ª Entrada de materiais:

- Acrescentar 25% cimento + 100% do aditivo + 100% água. Misturando por 2 minutos e 30 segundos, sendo que se inicia na velocidade mínima até homogeneizar a mistura e após avança-se para velocidade média do equipamento.
- Parada rápida para raspagem do fundo e misturador da argamassa



- Reinício da mistura por 2 minutos e 30 segundos na velocidade média do equipamento.

3ª Entrada de materiais:

- Acrescentar 25% do cimento. Misturando por 2 minutos e 30 segundos, sendo que se inicia na velocidade mínima até homogeneizar a mistura e após avança-se para velocidade máxima do equipamento.

- Parada rápida para raspagem do fundo e misturador da argamassa

- Reinício da mistura por 2 minutos e 30 segundos na velocidade máxima do equipamento.

4ª Entrada de materiais:

- Acrescentar 100% da areia de quartzo + 100% do pó (quartzo ou louça sanitária). Misturando por 5 minutos, sendo que se inicia na velocidade mínima até homogeneizar a mistura e após avança-se para velocidade máxima do equipamento.

5ª Entrada de materiais:

- Adicionar 100% de fibra no minuto inicial da mistura. Comece com a velocidade mínima até que toda a fibra esteja completamente misturada, em seguida, aumente o equipamento para a velocidade máxima. Após o período de 5 minutos, a mistura estará pronta para ser moldada.

O preenchimento dos moldes é feito totalmente em uma única camada e o adensamento realizado de modo mecânico com o auxílio de uma mesa vibratória. Já os moldes prismáticos têm seu preenchimento somente na região central para que as fibras não sigam seu fluxo natural durante o processo de vibração e o tempo adotado foi de 2 minutos.

#### 1.4. Cura

De acordo com a ABNT NBR 5738 (2015), a cura do concreto deve ser executada logo após a sua moldagem, evitando, portanto, a secagem prematura e assim possibilitando que ele desenvolva resistência e durabilidade adequada. O procedimento adotado foi o de cura úmida, assim os corpos de prova foram desmoldados após 24 horas moldagem e ficaram mantidos durante todo o tempo de cura submersos em água com cal à temperatura ambiente.

#### 1.5. Caracterização UHPC

Por meio dos ensaios citados na tabela 1, foram determinadas resistência à compressão axial, módulo de elasticidade e resistência à tração na flexão, completando a caracterização mecânica dos traços.

**Tabela 1 –** Características, normas e corpo de provas para avaliação do UHPC

ENSAIO	Norma de Referência	Tipos de corpo de prova
Resistência à compressão axial	ABNT NBR 5739 2018	3 cilindros 72x144mm
Módulo de Elasticidade	ABNT NBR 8522 2017	3 cilindros 72x144mm

Determinação da resistência à tração na flexão	ABNT NBR 16940 2021	3 prismas 100x100x400
------------------------------------------------	---------------------	-----------------------

## 2. Resultados

### 2.1. Resistência à compressão axial

Os resultados de resistência à compressão aos 7 e 28 dias de idade dos traços, referência, 1%PVA-PQ, 1%PVA-PLS, 0,8%PVA-PQ e 0,8%PVA-PLS estão demonstrados na figura 2 como um comparativo de evolução da resistência dos traços aos 7 e 28 dias de idade. Os traços com adição de 0,8 % de fibra e substituição com pó de resíduos sanitários apresentaram valores 15,46 % acima do traço sem adição, já os traços com adição de 1 % de fibra e substituição com pó de resíduos sanitários de PVA apresentaram uma diminuição de 3,03% em sua resistência em relação aos traços sem a substituição. Com base nos resultados obtidos foi possível mensurar que todos os traços exceto a referência (REF) se enquadra na categoria de UHPC para uso não estrutural, por apresentarem resistências à compressão axial acima de 120 MPa conforme norma francesa NF P18-710:2016.

Traço	7 Dias		28 Dias	
	Carga máxima suportada (MPa)	Média (Mpa)	Carga máxima suportada (MPa)	Média (Mpa)
Referência	78,67	76,59	75,88	81,98
	73,58		87,95	
	77,52		82,12	
0,8% PVA -PQ	98,47	97,34	111,19	116,92
	93,72		120,66	
	99,84		118,92	
0,8% PVA -PLS	109,77	111,87	120,75	134,99
	116,53		149,12	
	109,30		135,10	
1% PVA -PQ	91,08	93,48	128,29	129,57
	91,49		141,47	
	97,88		118,95	
1% PVA -PLS	118,08	104,24	129,60	125,64
	97,66		124,57	
	96,98		122,74	

**Tabela 2-** Resistências à compressão axial aos 7 e 28 dias

### 2.2. Módulo de Elasticidade

Na Tabela 3 são apresentados os resultados de módulo de elasticidade aos 28 dias de idade dos traços, referência, 1%PVA-PQ, 1%PVA-PLS, 0,8%PVA-PQ e 0,8%PVA-PLS.

**Tabela 3** – Resultado dos módulos de elasticidade e médias.

	TRAÇO				
	Referência	0,8% PVA - PQ	0,8% PVA - PLS	1% PVA - PQ	1% PVA - PLS
Módulo de Elasticidade	60,13	63,1	59,66	65,61	68,57
	59,74	62,96	65,3	75,81	60,62
	63,4	62,96	64,25	64,29	61,74
Média do módulo de elasticidade estático (GPa)	61,09	63,01	63,07	68,57	63,64

Em relação ao módulo de elasticidade todos os traços atingiram valores acima de 45 GPa conforme referência dada NF P18-710:2016. Deste modo todos os traços atendem a esse requisito e o traço que apresentou o maior módulo de elasticidade foi 1% PVA – PQ com 68,57 GPa.

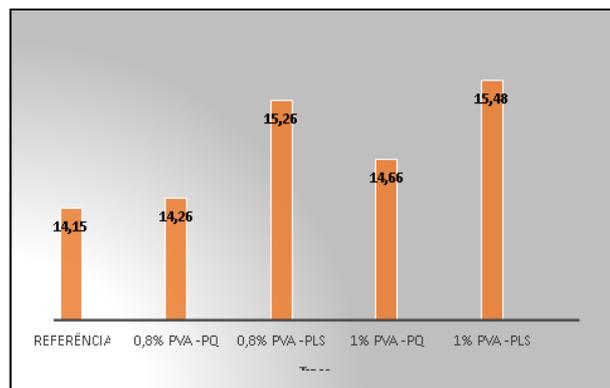
### 2.3. Tensão na Flexão

Na Tabela 3 são apresentados os resultados de tração na flexão aos 28 dias de idade dos traços, referência, 1%PVA-PQ, 1%PVA-PLS, 0,8%PVA-PQ e 0,8%PVA-PLS. e a figura 3 mostra um comparativo dos resultados obtidos em todos os traços nos ensaios de tensão na flexão.

**Tabela 4** – Resultados Tensão na flexão aos 28 dias de idade.

Traço	Carga máxima aplicada (N) - P	Média carga máxima aplicada (N) - P	Resistência à tração na flexão (MPa) - fct,f
Referência	48778,28	47182,57	14,5
	46522,65		
	46246,79		
0,8% PVA - PQ	47350,04	47530,61	14,26
	48482,80		
	46758,99		
0,8% PVA - PLS	52481,95	50882,98	15,26
	49960,37		
	50206,62		
	49635,28		

1% PVA -PQ	51270,44	48853,82	14,66
	45655,74		
1% PVA -PLS	56550,15	51592,20	15,48
	47478,11		
	50748,34		



**Figura 2-** Resistências à tensão na flexão.

Já nos ensaios de tração na flexão todos os corpos de prova apresentaram rompimento no terço médio, porém não atingiram a resistência mínima de 20 MPa conforme referência apresentada (TOUTLEMONDE et al., 2018; YOO; BANTHIA; YOON, 2017; AFNOR, 2016b). Mesmo assim os traços com adição de 0,8 % de fibra e substituição com pó de resíduos sanitários apresentaram valores 7,01 % acima do traço sem adição, já os traços com adição de 1 % de fibra e substituição com pó de resíduos sanitários de PVA apresentaram um aumento de 5,59% em sua resistência em relação aos traços sem a substituição.

### 3. Considerações Finais

Conclui-se que as substituições com pó de louça sanitária foram benéficas para o UHPC, tendo em vista que na maioria dos ensaios dos traços com a substituição apresentaram resultados superiores nos ensaios de compressão axial e por não interferir com comportamento dos ensaios de módulo de elasticidade.

Já em relação a fibra PVA foi possível a verificação da diminuição de deslocamento o que pode ser visto em números quanto a diferença de resistência à compressão em relação ao traço referência, porém nos ensaios de tração na flexão ainda não atingiu os limites mínimos para enquadramento no UHPC.

Deste modo sugere aumento da porcentagem de fibras em futuros estudos, já que conforme SUMITOMO,2022 sugere em seu estudo usos mínimos de 2% de fibras de PVA. Atrelado a esse fator sugere-se o uso de um aditivo retardador de pega inicial, pois com 1% o traço já apresentava uma dificuldade em trabalhabilidade e endurecimento da película superior da amostra já no processo de moldagem..

### Referências



- AFNOR - Association Française de Normalisation. NF P18-470, 2016 Concrete - Ultra-high performance fibre-reinforced concrete – Specifications, performance, production and conformity, p. 94, 2016a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5738. Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – Ensaio de Compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8522-1: Concreto endurecido – Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação Parte 1: Módulos estático à compressão. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16940: Concreto reforçado com fibras – Determinação das resistências à tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais) – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.
- BEGUM, R. A., SIWAR, C., PEREIRA, J. J., JAAFAR, A. H. A benefit–cost analysis on the economic feasibility of construction waste minimisation: The case of Malaysia. Institute for Environment and Development (LESTARI), Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi 43600, Selangor D.E., Malaysia, 2006.
- BUTTIGNOL, T. E. T.; SOUSA, J. L. A. O.; BITTENCOURT, T. N. Ultra High Performance Fiber-Reinforced Concrete (UHPC): a review of material properties and design procedures. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 10, n. 4, p. 957–971, ago. 2017.
- CABRAL, A.; SCHALCH, V.; MOLIN, D. D. Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha (Performance of red ceramic recycled aggregate concrete). Cerâmica, v. 55, p. 448–460, 2009.
- CARVALHO, Carlos Mavíael de. Caracterização de Resíduos da Indústria Cerâmica e seu Emprego em Argamassas de Cimento Portland. João Pessoa, PB, 2016.
- Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia dos Materiais) - Universidade Federal da Paraíba.
- FRENCH STANDARD. NF P 18 470. Concrete – Ultra-High Performance Fibre- Reinforced Concrete – specifications, performance, production and conformity. 2016.
- FRENCH STANDARD. NF P 18 710. Design of concrete structures: specific rules for Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete (UHPC). 2016.
- GARCIA, Eduardo et al. Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV): Uma alternativa como Material Pozolânico. Cerâmica Industrial. 2014. Disponível em: <https://ceramicaindustrial.org.br/article/587657577f8c9d6e028b4809/pdf/ci-19-4-587657577f8c9d6e028b4809.pdf>. Acesso em: 21 set 2023.
- MELO, Janaína Anne Mota et al. Avaliação do potencial de pozolanicidade do resíduo cerâmico. Revista Principia, João Pessoa, 2020.
- SUMITOMO, G. Estudo do comportamento mecânico do UHPC produzido com fibras de aço e de PVA submetidos a elevadas temperaturas. Tese (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) – Centro de Ciências Exatas, Ambientes e de Tecnologia da Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Campinas. 2022.
- TOUTLEMONDE, F. et al. Twenty years-long French experience in UHPC application and paths opened from the completion of the standards for UHPC. The 2nd International Conference on UHPC Materials and Structures (UHPC2018-China), Nov 2018, FUZHOU, China. 24 p., bibliogr. hal-01955204
- VIGNESHWARI, M.; ARUNACHALAM, K.; ANGAYARKANNI, A. Replacement of silica fume with thermally treated rice husk ash in Reactive Powder Concrete. Journal of Cleaner Production, v. 188, p. 264–277, jul. 2018.
- Voo Y.L., Foster S., Pek L.G. Ultra-High Performance Concrete—Technology for Present and Future; Proceedings of the High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet; Maastricht, The Netherlands. 12–14 June 2017.
- YOO, D. Y.; BANTHIA, N.; YOON, Y. S. Impact resistance of reinforced ultra-high-performance concrete beams with different steel fibers. ACI Structural Journal, v. 114, n. 1, p. 113–124, 2017. doi: <https://doi.org/10.14359/51689430>.



## VIABILIDADE TÉCNICA DO RESÍDUO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA CALCINADO COMO MATERIAL CIMENTÍCIO SUPLEMENTAR

Thuany Cristine Rieck<sup>1</sup>, Adriana Goulart dos Santos<sup>2</sup>.

1. Especialista, thuany.riECK@hotmail.com, UDESC
2. Doutora, adriana.santos@udesc.br, UDESC

**Resumo:** De acordo com a norma ABNT 10.004/2004, o produto derivado de estações de tratamento de água é determinado como "resíduo sólido". Em muitas situações, seu descarte ocorre de forma inapropriada, gerando consequências ao ambiente. Contudo, ao ser submetido a um tratamento térmico, esse resíduo revela propriedades químicas e mineralógicas que são similares às do cimento Portland. Este paralelo sugere sua potencial aplicação na produção de concreto. O principal intuito desta investigação científica é realizar uma análise das características físicas, químicas e mineralógicas do resíduo calcinado, com o propósito de avaliar sua capacidade de atuar como substituto parcial do cimento Portland em formulações de concreto destinadas à pavimentação. Para isso, foram conduzidas análises técnicas, incluindo a Fluorescência, que revelou a presença de componentes como Sílica, hematite e Alumina no material processado, a Difração de Raio X que apontou para a presença de quartzo e caulinita no lodo seco e, adicionalmente, quartzo e anortita no material após calcinação. O teste termogravimétrico foi crucial para entender o comportamento térmico, e, notavelmente, o índice de pozolanicidade, que excedeu o padrão percentual estabelecido pela norma de 90%, atingindo 112,73%. Estes dados corroboram a viabilidade do resíduo como alternativa ao cimento em concretos para pavimentação.

**Palavras-chave:** Lodo, Estação de tratamento de água, caracterizações.

### 1. Introdução

O tratamento convencional de água potável produz um resíduo conhecido como lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA), classificado como "resíduo sólido" de acordo com a norma brasileira ABNT 10.004/2004. A destinação desse resíduo é um desafio e, se mal descartado, pode causar danos ambientais. Tradicionalmente, o lodo das ETA's é descartado através de duas abordagens: aterramento e uso em solos agrícolas. A disposição em aterros, embora comum, não é ideal devido à regulamentação específica e aos custos associados. A aplicação do lodo ao solo requer ainda mais cuidado, pois, dependendo de sua origem, pode conter altos níveis de metais pesados, potencialmente tóxicos para seres humanos e ecossistemas terrestres e aquáticos (Huang & Wang, 2013).

A incorporação de resíduos, como o lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA), na indústria da construção civil se destaca como uma opção promissora e mais sustentável, em função da composição química desses resíduos ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  e  $SiO$ ), similares aos principais compostos de matérias-primas cimentícias. Essa prática permite a utilização do lodo na produção de materiais de construção, como tijolos, cerâmica e concreto (Gomes et al., 2019).

Essa adição representa uma alternativa sustentável para o uso de materiais cimentícios suplementares, uma vez que o resíduo possui características químicas e mineralógicas semelhantes ao cimento Portland. Estudos anteriores têm demonstrado o potencial desse resíduo para aprimorar as propriedades mecânicas do concreto.

Para que o lodo de ETA possa ser utilizado como aditivo mineral na indústria da construção, é necessário submeter o material a um tratamento térmico, processo conhecido como calcinação. Embora seja uma atividade com alto consumo energético e demorada, a calcinação é fundamental para a remoção de matéria orgânica e para as alterações mineralógicas do lodo de ETA. A ativação térmica aumenta a atividade pozolânica do resíduo, melhorando sua compatibilidade com o cimento e a água, características importantes para a utilização do material na construção civil (Cunha, 2019).

Segundo Godoy et al. (2019), há uma escassez de pesquisas que utilizam lodo de Estações de Tratamento de Água (ETA) do sul do Brasil como matéria-prima para a produção de materiais cimentícios suplementares (MCS). Os autores enfatizam a necessidade de caracterização dos lodos de ETA de diferentes locais, uma vez que sua composição e características químicas e físicas podem variar significativamente.

Estudos têm demonstrado o potencial do lodo de ETA como substituto parcial do cimento. Hegen (2014), por exemplo, relatou um aumento na resistência à compressão axial do concreto ao substituir parte do cimento por cinza de lodo de ETA calcinado. Zhi-hai He et al. (2023) confirmam esses achados, mostrando um aumento de 7,91% na resistência à compressão aos 90 dias ao substituir 10% do cimento por resíduo de ETA. Por outro lado, Altheman et al. (2023) encontraram uma ligeira diminuição na resistência à compressão ao substituir 25% do cimento por lodo de ETA, alcançando 39,5 MPa em comparação com o traço de referência de 44,3 MPa sem adição de resíduo, mas ainda atendendo os requisitos normativos.

O objetivo deste estudo é analisar as características físicas, químicas e mineralógicas do resíduo de Estação de Tratamento de Água (ETA) calcinado a fim de avaliar a sua potencialidade de ser utilizado como substituto parcial do

cimento Portland na produção de concreto para pavimento simples.

Além disso, será avaliada a atividade pozolânica do resíduo calcinado da ETA, isto é, sua capacidade de reagir com a água e o cimento para formar compostos que melhoram a resistência e a durabilidade do concreto.

## 2. Metodologia

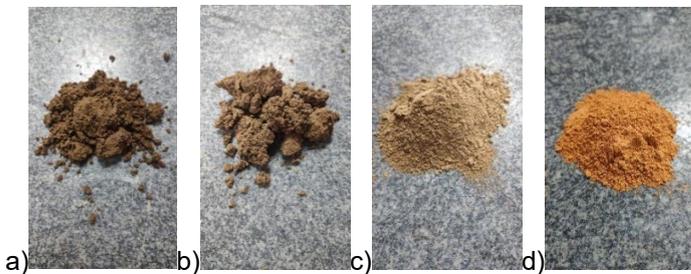
### 2.1 Materiais

O resíduo utilizado neste estudo foi retirado da estação de tratamento de água do Rio Cubatão **figura 1**, localizado na cidade de Joinville, Santa Catarina .



**Figura 1**– Estação de tratamento de água do Rio Cubatão- Joinville.

A **figura 2** demonstra esse lodo “in Natura” saído do *contipress* (a), seco em estufa na temperatura de 105°C (b), moído e peneirado em peneira de 45 µm (c) e calcinado a 800°C com uma taxa de 15°C/min (d).

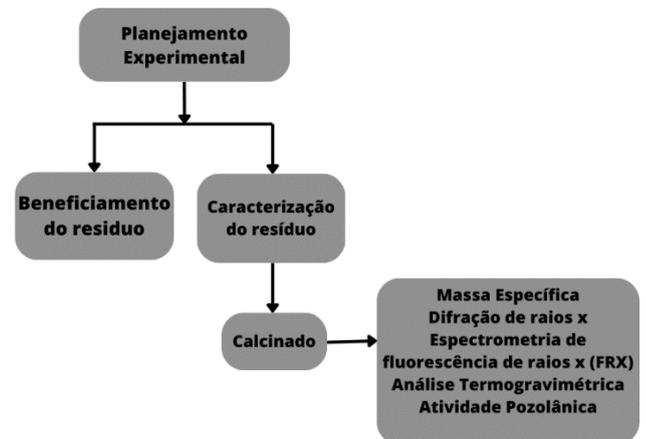


**Figura 2** – a) Lodo “in Natura”, b) Lodo seco, c) Lodo moído, d) Lodo calcinado a 800°.

### 2.2 Caracterização do resíduo

Neste estudo, foram determinadas as caracterizações físicas do resíduo como a massa específica, espectrometria de fluorescência de raio-x e análise termogravimétrica. A composição química deste resíduo foi realizada com o intuito de identificar os elementos químicos presentes na amostra do resíduo de ETA e estabelecer a concentração de cada um desses elementos. Com a Fluorescência de

Raio X (FRX), as composições mineralógicas foram determinadas a partir da Difração de Raios X (DRX) e a Termogravimetria para conhecer os efeitos que o aquecimento pode ocasionar no material, além disso ainda foi medida a pozolanicidade do resíduo. A **figura 3** ilustra as caracterizações efetuadas no resíduo de estação de tratamento de água, seco e calcinado.



**Figura 3** – Planejamento experimental e caracterização do resíduo seco e calcinado

## 3. Resultados

### Caracterização do lodo de ETA

A **tabela 1** representa a caracterização química com FRX do lodo de estação de tratamento de água utilizada na pesquisa.

**Tabela 1** – Composição Química com FRX

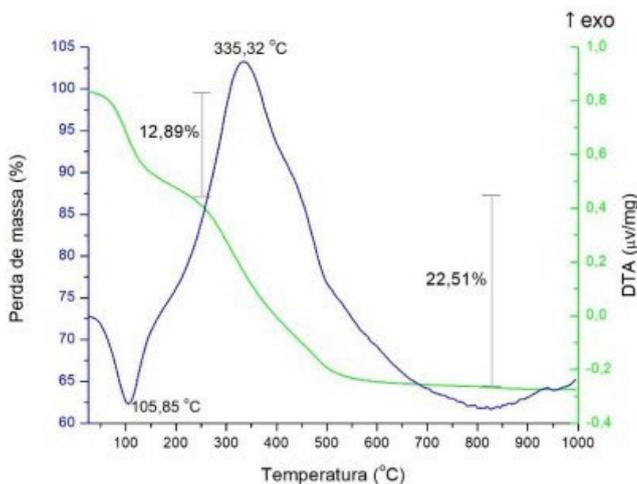
Composição(%)	Lodo Seco	Lodo Calcinado
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,24	38,65
SiO <sub>2</sub>	18,77	31,86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,57	21,68
K <sub>2</sub> O	1,06	1,63
TiO <sub>2</sub>	1,05	1,41
CaO	0,93	1,52
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,79	0,87
SO <sub>3</sub>	0,72	0,73
MnO	0,35	0,25
Na <sub>2</sub> O	0,22	0,23
Perda de fogo	37,3	1,17

Na composição química, percebe-se que sua maior porcentagem está entre os componentes Sílica (SiO<sub>2</sub>),

Hematita ( $Fe_2O_3$ ) e Alumina ( $Al_2O_3$ ), são características bastante parecidas com o cimento Portland e Metacaulim, o que se deve, provavelmente, pela adição de sulfato de alumínio durante o tratamento da água na estação. Já a perda de fogo deve-se a presença de compostos voláteis do lodo seco.

Além disso, a massa específica do resíduo foi medida utilizando o LE Chatelier, conforme NBR 16605 (ABNT,2017), obtendo um resultado de  $2,25\text{ g/cm}^3$ .

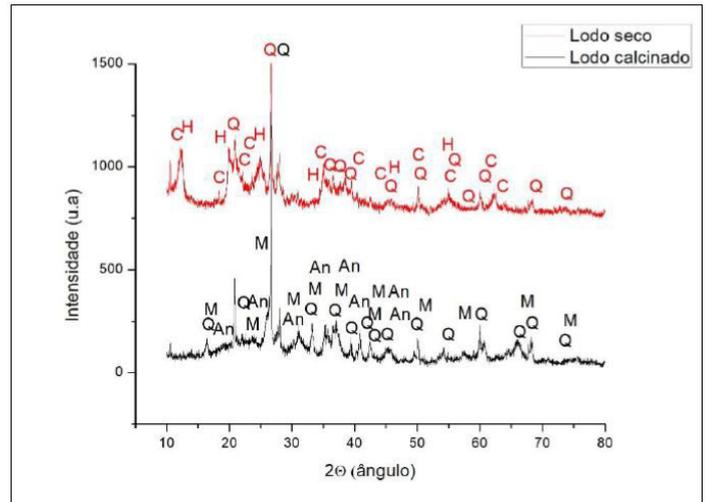
A termogravimetria foi empregada para analisar o comportamento térmico do lodo, os resultados da análise estão descritos na **figura 4** utilizando como referência de Andrioli (2019), que revela duas etapas de perda de massa ao ser aquecido. Na primeira etapa, entre  $0^\circ\text{C}$  e  $105,85^\circ\text{C}$ , houve uma perda de 12,89% devido à liberação de umidade, caracterizada por um pico endotérmico a  $105,85^\circ\text{C}$ . Já na segunda etapa, entre  $105,89^\circ\text{C}$  e  $828,49^\circ\text{C}$ , temperaturas onde ocorreram a calcinação do material, a perda de 22,51% foi observada devido à liberação de compostos voláteis e degradação de compostos orgânicos, com um pico exotérmico a  $335,32^\circ\text{C}$  indicando tais reações.



**Figura 4** – Termogravimetria do resíduo de estação de tratamento de água

Para caracterizar as fases cristalinas do resíduo de ETA, foi realizada uma difração de raios-X no lodo seco e no lodo calcinado à  $700^\circ\text{C}$  como na **figura 5**. O lodo seco é composto pelos minerais: quartzo ( $SiO_2$ ), caulinita ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ) e haloisita ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$ ). Por outro lado, o lodo calcinado contém quartzo, mulita ( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ) e anortita ( $Ca \cdot 2Al_2O_3 \cdot SiO_2$ ).

Dessa forma, percebe-se que existe uma provável variabilidade na composição mineralógica do lodo. Além disso, pode-se afirmar que as fases cristalinas encontradas corroboram com sua presença na composição química do lodo mostrada na **Tabela 1**.



**Figura 5** – Comparação dos difratogramas do lodo calcinado e lodo seco

A ABNT NBR 5752:2014 estabelece diretrizes para avaliar a atividade pozolânica com o cimento Portland, especificamente o tipo CP II-F-32. Esse cimento deve apresentar uma resistência à compressão de  $(33 \pm 3)\text{ MPa}$  ao atingir 7 dias. O ensaio requer o uso de areia normal, de acordo com a ABNT NBR 7214. Quando se analisam novos materiais pozolânicos ou aqueles que passarão por tratamentos subsequentes na indústria, é necessário que a amostra esteja seca e tenha sido moída até que seu resíduo em uma peneira de  $45\ \mu\text{m}$  seja menor que 20%, sendo o ideal entre 10 e 15%.

O índice de consistência normal (IC) deve ser mantido estável, alinhado à mistura de referência com uma variação de  $\pm 10\text{mm}$ . Pode-se recorrer a um aditivo superplastificante para ajustes, se necessário. O índice de desempenho relacionado ao cimento é determinado pela comparação da resistência da argamassa com 25% de cimento substituído por pozolana, em relação à resistência da argamassa de referência com 100% de cimento Portland. No ensaio, o lodo foi primeiro seco em estufa a  $105^\circ\text{C}$  durante 24 horas, depois homogêneo e calcinado em mufla, com durações de 1 e 2 horas. As cinzas resultantes foram então moídas a seco por 20 minutos. A **tabela 2** mostra os dados e resultados dos ensaios de pozolanicidade com cimento Portland.

**Tabela 2** – Resultados dos ensaios de pozolanicidade aos 28 dias.

Corpo de Prova	Finura (%)	Ind. de cons. <sup>1</sup>	ADT 2	Fc28 dias (MPa)	IAP (%) <sup>3</sup>
Ref.	15,5	132	-	44	-
Resíduo	14,3	135	0,2	49,6	112,73

1-Índice de consistência 2-Aditivo 3 Índice de atividade Pozolanica

A resistência à compressão obtida com a queima de temperatura de  $800^\circ\text{C}$  por 2 horas, com teor de resíduo na peneira  $45\ \mu\text{m}$  de 14,3% é de 49,6 MPa, gerando assim um índice de atividade pozolânica de 112,73%, superior ao de



referência, sem a adição de resíduo, que obteve o resultado de 44 MPa. Desse modo, o índice de atividade pozolânica (IAP) obtido está acima do requerido em norma, cujo valor é de 90%. Ruviaro et al. (2020) também obtiveram resultados potenciais para o índice de pozolanicidade de lodo calcinado em 114%, como citado anteriormente sendo maior que o IAP de norma, Já Hengen (2014), calculou a IAP do Lodo calcinado em temperaturas de 400°C a 700°C, o lodo calcinado por uma hora e duas horas a 400°C obteve um resultado de IAP 98% e 101%, respectivamente. O lodo calcinado por uma hora e duas horas, teve a IAP de 125% e 113% respectivamente. Agra et al. (2023) caracterizou o lodo de estação de tratamento de água calcinado entre 600 °C e 800°C e também do Metalcaulim, este último obteve o maior valor de resistência à compressão, apresentando um IAP de 134%, já os lodos calcinados a 600°C, 700°C e 800°C apresentaram os valores de IAP iguais a 89,63, 112,94 e 108,35%, respectivamente.

#### 4. Considerações Finais

A análise de FRX do lodo oriundo de estação de tratamento de água mostrou características químicas similares às do cimento e do metacaulim. Isso sugere que a composição química do lodo pode influenciar na constituição final do concreto. Adicionalmente, há indicações de uma possível variação na composição mineralógica do lodo, com as fases cristalinas presentes sendo consistentes com a composição química observada no lodo e no cimento Portland.

Quanto ao índice de atividade pozolânica, foi evidenciado que o resíduo apresenta uma resistência à compressão superior à dos corpos de prova feitos sem o resíduo da estação de tratamento de água. Além disso, o índice ultrapassa o limite estabelecido pela norma. Isso sugere que o lodo proveniente da estação de tratamento de água tem potencial para ser utilizado como substituto ao cimento Portland.

Diante disso, esta pesquisa terá continuidade com a análise do desempenho térmico e mecânico de concreto para pavimentação dosado com resíduo calcinado de estação de tratamento de água (ETA) em substituição ao cimento.

#### Referências

AGRA, Thiago M. da Silva. Avaliação da pozolanicidade da cinza do lodo proveniente de estação de tratamento de água (ETA). Dissertação – Mestrado Engenharia Civil- Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.

ALTHEMAN, Dener et al. Water treatment waste as supplementary cementitious material. **Materials Today: Proceedings**, 2023.

ANDRIOLI, Thays Karolini. Influência do resíduo de estação de tratamento de água calcinado como um aditivo mineral na produção de argamassa Dissertação – Mestrado Engenharia Civil- Universidade Estadual de Santa Catarina, Joinville, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004:2004: Resíduo Sólido - Classificação . Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9935: Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

AWWA; ASCE. Water treatment plant design.3rd ed. New York: McGraw-Hill,1998.806p.

CUNHA, Bruna Baia da. Resíduo do lodo da estação de tratamento de água da região metropolitana de Belém em substituição parcial ao cimento Portland em argamassa. Dissertação (Mestrado). Belém-PA: Universidade Federal do Pará, 2019.

GODOY, L. G. G. et al Valorization of water treatment sludge waste by application as supplementary cementitious material. *Construction and Building Materials*, v. 223, pp. 939-950, 2019.

GOMES, S. C. John L. Zhou, Wengui Li, Guangcheng Long. Progress in manufacture and properties of construction materials incorporating water treatment sludge: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 145, p. 148-159, 2019.

HENGEN, Mirdes Fabiana. Caracterização de cinza de lodo de ETA para uso no concreto – (Resistência a compressão axial). Dissertação – Mestrado Engenharia Civil- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

HE, Zhi-Hai et al. Recycling of water treatment sludge in concrete: The role of water-binder ratio from a nanoscale perspective. *Science of The Total Environment*, v. 873, p. 162456, 2023.

RUVIARO, A. S.; SILVESTRO, L.; SCOLARO, T. P.; PELISSER, F.; GLEIZE, P. J. P. Incorporação de lodo calcinado de estação de tratamento de água como material cimentício suplementar. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 243-260, out./dez. 2020.



# ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PROCESSOS DE CURA TÉRMICA NO DESEMPENHO DO UHPC – UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Ana Caroline dos Santos<sup>1</sup>  
Lia Lorena Pimentel<sup>2</sup>

1. Engenheira Civil, [a.carolinesantos1@gmail.com](mailto:a.carolinesantos1@gmail.com), Pontifícia Universidade Católica de Campinas
2. Doutora, [lialorenepimentel@gmail.com](mailto:lialorenepimentel@gmail.com), Pontifícia Universidade Católica de Campinas

**Resumo:** O concreto de ultra-alto desempenho (UHPC) destaca-se como um material inovador empregado tanto em projetos de construção contemporâneos quanto em sinergia com concretos convencionais. Entretanto, alguns desafios limitam a sua aplicabilidade abrangente, incluindo retração autóloga elevada, baixa trabalhabilidade para produção em larga escala, custos substanciais. Este estudo abrangente tem como objetivo lançar luz sobre os efeitos de diferentes métodos de cura no processo de desenvolvimento da resistência, tanto no concreto convencional quanto no UHPC. Neste contexto, o artigo revisita investigações que empregaram uma variedade de métodos de cura, com o uso de micro-ondas, autoclave, vapor, elétrica e ambiente. A resistência à compressão foi avaliada como indicador-chave. A análise das diversas abordagens de cura revela que todas elas culminaram em valores satisfatórios de resistência à compressão. Contudo, a definição precisa de protocolos de cura, seja para concreto convencional ou UHPC, permanece desafiadora devido à necessidade de monitoramento meticuloso dos parâmetros de cura. Este levantamento espera não apenas direcionar futuras pesquisas, mas também proporcionar uma perspectiva panorâmica do campo de estudo, oferecendo insights valiosos para aqueles engajados na exploração e aprimoramento das propriedades do UHPC através das diversas modalidades de cura disponíveis. Palavras-chave: concreto, processos de cura, UHPC

## 1. Introdução

O Concreto de Ultra Alto Desempenho (UHPC) é uma variante de concreto que apresenta propriedades substancialmente superiores às do concreto convencional. Sua composição inclui materiais de alta qualidade, como cimento de elevada resistência, sílica ativa, fibras de aço e outros aditivos que aprimoram significativamente suas características mecânicas (BAJABER; HAKEEM, 2021). Em razão do substancial consumo de materiais, notadamente cimento, na formulação do UHPC, torna-se imperativo adotar abordagens e métodos que priorizem a sustentabilidade, a conservação de recursos naturais e a contenção de gastos durante sua fabricação. Uma série de pesquisas tem sido empreendida nessa direção, visando opções mais ecologicamente eficientes para a produção desse concreto, assegurando simultaneamente que as metas de resistência sejam atingidas. Dentre essas considerações, destaca-se a importância da adequada cura do concreto. A cura abarca a manutenção de condições propícias de umidade e temperatura durante o processo de

endurecimento do material. Essa etapa é de caráter fundamental para a criação de uma matriz cimentícia densa e robusta, requisito primordial para a conquista de elevadas resistências mecânicas no UHPC (Zou et al., 2022) A literatura tem sido farta em ressaltar a relevância desse procedimento para otimizar o desempenho do material.

Conforme observado por GRAYBEAL, (2006a), a cura prolongada possibilita um incremento gradual da resistência do concreto, resultado da persistência dos processos de hidratação e desenvolvimento dos produtos resultantes dessa reação química. Essa evolução assume particular importância para o UHPC, que exibe um notável potencial para o aprimoramento de sua resistência ao longo do tempo.

Outro aspecto de suma importância reside na consideração da temperatura de cura. A aplicação de temperaturas estritamente controladas durante o processo de cura é capaz de acelerar a hidratação e estimular uma taxa de desenvolvimento de resistência mais acentuada no UHPC. De acordo com Yalçinkaya & Yazıcı, (2017), a cura em temperaturas elevadas pode induzir um notável aumento na resistência do UHPC, decorrente do grau mais substancial de hidratação alcançado. Contudo, deve-se proceder com cautela para evitar a geração de tensões térmicas prejudiciais.

Existem diversos métodos disponíveis para a cura do concreto. A cura elétrica, por exemplo, envolve a aplicação controlada de corrente elétrica no concreto, o que gera um aquecimento interno capaz de acelerar o processo de endurecimento. Esse método conduz a um aumento mais rápido e eficaz da resistência do material. Outra abordagem é a cura por carbonatação, que pode ocorrer naturalmente ou ser induzida. Nesse processo, o dióxido de carbono presente no ar reage com o cimento endurecido, formando carbonato de cálcio nos poros do concreto. Isso resulta em um aumento de densidade e resistência, conferindo proteção contra a entrada de substâncias nocivas. A cura térmica, por sua vez, consiste na aplicação de calor ao concreto, acelerando a hidratação do cimento. Esse procedimento culmina em um endurecimento mais rápido, o que reduz o tempo necessário para que o concreto esteja pronto para uso. Já a cura química faz uso de produtos químicos para manter o concreto úmido durante um período prolongado. Essa estratégia se mostra especialmente vantajosa em ambientes secos ou quentes, onde a evaporação da água poderia prejudicar a cura apropriada. A hidratação do cimento ocorre gradualmente, resultando em uma estrutura mais sólida e resistente.

A seleção do método de cura adequado está intrinsecamente relacionada com as especificidades do tipo de concreto, das condições ambientais vigentes e da disponibilidade de equipamentos e recursos. Com isso em mente, o presente estudo abrangente almeja proporcionar uma compreensão mais clara acerca das variadas influências exercidas pelos métodos de cura no progresso da resistência, tanto no contexto do concreto convencional quanto no do UHPC

## 2. Metodologia

A revisão sistemática de literatura foi elaborada tendo como referência o método elaborado por Joyce Ruiz e Ariovaldo Granja (2013). O processo de aplicação definido pelos autores é dividido em 5 etapas principais, porém jogou-se pertinente adicionar mais uma etapa ao processo, sobre como manipular os artigos, conforme demonstrado na figura 1.



Figura 1- Etapas para aplicação da revisão sistemática

Na fase inicial intitulada "O que buscar?", seguindo o protocolo de pesquisa, são delimitadas as palavras-chave e os termos de pesquisa associados ao tópico em foco. Para esta pesquisa em particular, foram estabelecidos como termos-chave os conceitos de Concreto de Ultra Alto Desempenho (Ultra High Performance) e Cura a Vapor (Steam Curing), limitados ao campo do título.

Na etapa subsequente, intitulada "Onde buscar?", são estabelecidas as bases de dados acadêmicas nas quais será conduzida a busca sistemática. Esse processo visa assegurar a abrangência e a inclusão de estudos pertinentes. No contexto deste estudo, optou-se por realizar a pesquisa no portal de periódicos CAPES, acessado por meio da modalidade CAFE. Ademais, as fontes de dados selecionadas englobam a Elsevier, Web of Science, EBSCO, ACSE e Gale Academic.

Na terceira fase designada como "como buscar?", são delineados critérios específicos para conduzir a pesquisa. No âmbito deste estudo, foram estipulados parâmetros de busca em relação ao período de publicação e ao tipo de documento. A busca foi delimitada aos dois anos mais recentes, ou seja, de 2021 a 2023, e restringiu-se exclusivamente a registros do gênero artigo.

O passo subsequente engloba a ação de arquivar os documentos de acordo com um padrão pré-definido, com o propósito de viabilizar a análise dos dados. No escopo deste estudo, a obtenção dos documentos ocorreu através do acesso ao portal de periódicos CAPES, empregando os critérios mencionados previamente. Consequentemente, a aplicação desses critérios resultou em uma compilação de 552 artigos. Uma vez efetivado o acesso, os arquivos foram preservados em formato PDF, visando a posterior avaliação dos dados.

No quinto estágio, denominado "como analisar?", uma vez que os arquivos foram devidamente arquivados, procedeu-se à sua incorporação no Mendeley. Nesse contexto, os campos de título, resumo e palavras-chave foram minuciosamente examinados. No caso de documentos nos quais se verificou a ausência de informações, uma atualização manual foi realizada para garantir a integridade e precisão dos dados.

Na etapa cinco, intitulada "Método de Análise", após a conclusão da fase de arquivamento, os arquivos foram exportados no formato BIBTeX e transformados em um arquivo Excel abarcando informações como tipo de documento, autores, título, título da revista, data de publicação, volume, página, resumo e palavras-chave.

investigada: Cura a Vapor (Steam Curing), Cura Térmica (Thermal Curing), Cura Elétrica (Electrical Curing), Cura por Micro-ondas (Microwave Curing), Cura por Carbonatação (Carbonation Curing) e Cura em Autoclave (Autoclave Curing). Esse procedimento de filtragem culminou na identificação de 15 artigos destinados à análise, distribuídos da seguinte maneira: 4 sobre cura em autoclave, 3 referentes à cura a vapor, 3 relacionados à cura por carbonatação, 2 abordando a cura elétrica, 2 sobre a cura por micro-ondas.

## 3. Resultados

### 3.1. Cura Elétrica

O método de cura por aquecimento ôhmico (OH), também referido como cura elétrica, envolve a aplicação direta de correntes elétricas nas armaduras ou em eletrodos incorporados no concreto recém-concretado, ocasionando um aquecimento ôhmico em conformidade com a Lei de Joule (CHEN et al., 2023).

A cura elétrica é viabilizada por diversas abordagens, como a aplicação de corrente contínua ou corrente alternada. No transcurso desse processo, a administração de corrente elétrica induz o aquecimento, fomentando a hidratação acelerada do cimento e, por conseguinte, impulsionando o desenvolvimento da resistência do concreto.

Na presente pesquisa foram localizadas duas pesquisas que abordavam a cura elétrica no concreto de ultra alto desempenho, os artigos de Jung et al. (2020b e 2020c) abordam a aplicação de concreto de ultra alto desempenho (UHPC) curado eletricamente e incorporado com nanotubos de carbono para fundição em campo e detecção de fissuras. O estudo explora a utilização de corrente elétrica para a cura do UHPC, enquanto também incorpora nanotubos de carbono para aprimorar a sensibilidade à detecção de fissuras. O objetivo é desenvolver um material que possa ser fundido em campo e que seja capaz de monitorar fissuras de forma eficaz.

Para isso foram aplicadas tensões de corrente contínua de 19-23V por fonte de alimentação por um período de 12 horas, e após, os corpos de provas foram mantidos a temperatura de 28°C, até o período de 28 dias. Os resultados demonstraram que os nanotubos de carbono (CNTs) dispersos diminuíram substancialmente a resistividade elétrica do UHPC e formaram um forte



caminho condutor em todo o compósito, atingindo a maior a maior resistência a compressão no valor de 196,6MPa e módulo de elasticidade de 52,1 GPa.

### 3.2. Cura em Autoclave

O processo de cura do concreto em autoclave tem sido objeto de amplo estudo e aplicação na indústria da construção civil, no exterior principalmente em elementos cimentícios como placas blocos e pavers. Essa abordagem envolve a submissão do concreto a temperaturas e pressões elevadas dentro de uma autoclave, acelerando assim o processo de cura do material.

Em um estudo conduzido por CHEN; GAO; REN (2018), foi investigado o impacto da cura em autoclave e da dosagem de cinzas volantes nas propriedades mecânicas do UHPC. Diferentes dosagens de cinzas volantes, variando de 0% a 30%, e diferentes pressões (0,5MPa, 1,0MPa, 1,5MPa) em intervalos de tempo diversos (6, 8, 10 e 12 horas) foram analisadas. Os resultados revelaram que a adição de cinzas volantes entre 10% e 30% aumentou a resistência à compressão e a tração na flexão do UHPC. A cura em autoclave também foi observada como um fator significativo para elevar a resistência mecânica, já que as amostras obtiveram um aumento de cerca de 15% em relação as curadas de forma padrão.

Outro estudo, conduzido por (XIONG et al., 2022b), explorou o efeito da cura em autoclave combinada com a substituição da sílica ativa por pós minerais inertes, como o pó de quartzo e o pó de granito. Os materiais foram mantidos em cura úmida até o desmolde e, em seguida, submetidos à autoclave a 100 graus por 1 hora e após foram mantidas por 8 horas, sob pressão de 1,2MPa e temperatura entre 190 e 200 graus. Os resultados demonstraram que a resistência à compressão do concreto com pó de quartzo (QP20B) alcançou 191,5MPa, próximo ao valor de referência de 208,0MPa.

Em consonância, FANG et al. (2022) verificaram uma notável melhoria na resistência à compressão e tração do concreto através da cura em autoclave, obtendo ganhos de cerca de 24% e 15,7%, respectivamente. Esse estudo explorou a viabilidade do uso do Concreto de Ultra Alto Desempenho no revestimento de poços de perfuração.

Adicionalmente, o trabalho de TIAN et al. (2022) investigou os efeitos da autoclavagem nas propriedades do concreto de ultra alto desempenho. Nesse estudo, as amostras foram mantidas a 20 graus por 24 horas e, posteriormente, submetidas a temperaturas de 200 graus e pressão de 1,55MPa por 10 dias. As amostras que passaram pela cura em autoclave e tiveram 20% do cimento substituído por cinzas volantes apresentaram as maiores resistências, alcançando valores de 218,0MPa e 26,5MPa na compressão e flexão, respectivamente, obtendo um resultado a resistência a compressão cerca de 18% maior do que a cura convencional que atingiu os valores de 178Mpa e 26.4Mpa respectivamente.

### 3.3. Cura a Vapor

A cura a vapor é um método de tratamento do concreto que envolve a aplicação de vapor de água sobre sua superfície, com o propósito de acelerar o processo de hidratação e cura. Tal abordagem pode ser particularmente vantajosa em cenários que demandam a aceleração do processo de cura, como em projetos de grande envergadura ou com prazos limitados.

Uma investigação realizada por MO et al. (2021) explorou o desempenho mecânico e as microestruturas de uma matriz de concreto de ultra alta resistência contendo metacaulim, quando sujeita a condições de cura a vapor. Nesse estudo, diferentes temperaturas (55 e 90 graus) e períodos de cura (24 e 48 horas) foram avaliados. Os achados revelaram que a cura a vapor resultou em um notável aumento da resistência à compressão em estágios iniciais, entretanto, o crescimento dessa resistência diminuiu após o término da cura. As amostras que incorporaram 15% de metacaulim e foram submetidas a uma cura a vapor a 90 graus por 24 horas apresentaram a maior resistência à compressão, atingindo 103,6Mpa, cerca de 12 a 15% maiores que os curados por cura padrão.

MO et al. (2022) também investigou as propriedades de resistência e a hidratação de concreto de ultra-alto desempenho contendo argila calcinada e calcário, sob diferentes regimes de cura a vapor (55 e 90 graus, 24 e 48 horas). Os resultados indicaram que maiores temperaturas de cura estavam associadas a resistências mais altas em estágios iniciais. As amostras curadas a 90 graus por 24 horas, contendo 15% de metacaulim, apresentaram consistentemente maior resistência à compressão.

Adicionalmente, a pesquisa conduzida por XU et al. (2022) investigou e comparou as propriedades do UHPC sob diferentes métodos de cura, a saber, cura a vapor e cura convencional. Em um dos grupos, as amostras foram curadas a 90 graus por 3 dias, enquanto o outro grupo seguiu o método convencional. Os resultados evidenciaram aumentos nas resistências à compressão e à tração na flexão após 3 dias de cura a vapor a 90 graus. Notavelmente, o grupo que recebeu a adição de 1% de fibra e foi curado a vapor (grupo U2) registrou as maiores resistências, atingindo 138,9MPa (compressão) e 16,10MPa (flexão), cerca de 25% superiores a cura convencional que atingiu 104Mpa e 14,58Mpa respectivamente.

### 3.4. Cura por Microondas

A cura por micro-ondas é um método alternativo de tratamento do concreto que se utiliza de ondas eletromagnéticas de alta frequência para aquecer o material, acelerando assim o processo de cura. Esse enfoque se mostra particularmente valioso em situações que requerem a aceleração da cura do concreto, tais como em projetos de grande escala ou com prazos limitados.

Pesquisas realizadas por LI et al. (2021) exploraram o potencial do aquecimento isoterma por micro-ondas como um método alternativo de cura para o concreto de ultra-alto desempenho, comparando-o com o processo convencional. Para essa finalidade, um forno padrão foi empregado, com uma potência de cura de 600W e uma taxa de aquecimento



de 5°C por minuto. As amostras foram submetidas a uma cura por micro-ondas a 80 graus por 30 minutos. Sob essa abordagem, a inclusão de fibras de aço em volumes de 0,6%, 1,2% e 2,4% resultou em notáveis aprimoramentos na resistência à compressão inicial, com incrementos de 19,1%, 33,0% e 34,8% em relação à cura convencional. Alcançou-se uma resistência de 160 MPa após 1 dia de cura por micro-ondas com uma adição de 2,4% de fibras. O estudo conduzido por ZHANG et al. (2022) investiga os efeitos do pré-tratamento por micro-ondas no processo de hidratação do UHPC e no desenvolvimento de sua microestrutura. As amostras de UHPC foram submetidas à cura por micro-ondas por diferentes intervalos de tempo (60 s, 120 s, 180 s e 240 s), utilizando um forno de micro-ondas com potência de saída de 700 W e frequência de trabalho de 2450 MHz. Os resultados atingiram 105 MPa e 20 MPa, respectivamente (na idade de 8 h), melhorando significativamente a resistência inicial sem sacrificar a resistência a longo prazo.

### 3.5. Cura por carbonatação

A cura por carbonatação representa um processo intrínseco ao concreto após sua aplicação, onde o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) presente no ar reage com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) gerado durante a hidratação do cimento. Essa reação culmina na formação de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>), que penetra nos poros do concreto, ampliando sua resistência e durabilidade.

LIU et al. (2021) conduziu um estudo voltado à valorização da escória de aço de conversor em concreto de ultra-alto desempenho (UHPC) ecologicamente amigável, por meio de um pré-tratamento com CO<sub>2</sub> ambiente. Esse processo envolve a exposição controlada da escória de aço ao gás CO<sub>2</sub>, com a finalidade de aprimorar propriedades como a atividade pozolânica e a capacidade de ligação com o cimento. Os resultados destacaram que o UHPC incorporando até 60% de pó de CSS (Escória de aço) apresentou uma resistência significativamente maior, variando de 150MPa a 162MPa.

Em outra abordagem de pesquisa, LIU et al. (2021) desenvolveram um concreto carbonatável de alto desempenho visando a valorização da escória de aço. O foco era criar um concreto capaz de reagir com o CO<sub>2</sub> ambiental, desencadeando um processo controlado de carbonatação que aprimora as características do material. O método de cura consistiu em desmoldar as amostras após 24 horas, seguido de pré-secagem a 40 graus. Posteriormente, as amostras foram inseridas em um ambiente de CO<sub>2</sub> de alta pureza (99,99%) com pressão gradualmente controlada. Os resultados evidenciaram ganhos expressivos de resistência na cura por carbonatação forçada, alcançando valores de 35,5MPa em 30 minutos, 160,9MPa após 72 horas e 173,3MPa em 7 dias.

DIXIT et. al (2021) investigou a viabilidade e eficácia do uso de CO<sub>2</sub> pressurizado como agente de cura para o concreto de ultra-alto desempenho, simultaneamente capturando e armazenando CO<sub>2</sub> na estrutura do material. Nesse processo, CO<sub>2</sub> puro de grau industrial (99%) foi aplicado em amostras frescas, mantidas em uma câmara de

carbonatação customizada de 500 L. Embora a resistência à compressão das misturas RC e S30-C tenha diminuído em comparação às curadas em ambiente, houve uma melhoria na resistência em S50-C em relação a S50

## 4. Considerações Finais

Este estudo abrangeu uma variedade de métodos de cura aplicados ao Concreto de Ultra Alto Desempenho (UHPC), visando lançar luz sobre os efeitos dessas abordagens na resistência e nas propriedades mecânicas do material. A comparação dos resultados revela que todas as modalidades de cura investigadas contribuíram para um aprimoramento significativo da resistência à compressão do UHPC.

A cura elétrica, que envolve a aplicação direta de correntes elétricas, mostrou resultados promissores no aprimoramento da resistência, especialmente quando combinada com materiais como nanotubos de carbono. A cura em autoclave, com alta temperatura e pressão, demonstrou impactos positivos na resistência e nas propriedades mecânicas do UHPC, com ganhos notáveis após a cura. A cura a vapor, através da aplicação de vapor de água, também acelerou a hidratação e a resistência do UHPC, especialmente em estágios iniciais. A cura por micro-ondas, que utiliza ondas eletromagnéticas para aquecer o material, mostrou aumentos significativos na resistência, especialmente quando combinada com materiais como fibras de aço. Apesar dos benefícios observados em cada método de cura, é importante considerar as limitações e desafios associados a cada um deles. Por exemplo, no caso da cura a vapor, a garantia de uma cura uniforme pode ser um desafio devido à dificuldade em distribuir vapor de maneira homogênea sobre a superfície do concreto. Esse desafio é ainda mais evidente em estruturas complexas ou de grande escala, o que pode resultar em variações nas propriedades e resistência do material. Da mesma forma, na cura por autoclave, a eficácia desse método é mais evidente em peças de menor tamanho. Peças maiores podem encontrar dificuldades em assegurar uma distribuição uniforme de pressão e temperatura, afetando a qualidade da cura. Além disso, na cura elétrica, a aplicação do método pode se tornar complexa devido à necessidade de infraestrutura adicional, como a instalação de eletrodos e sistemas de alimentação elétrica. Esse aspecto pode não apenas aumentar a complexidade do processo, mas também acarretar custos adicionais. No que diz respeito à cura por micro-ondas, um dos desafios é a penetração limitada dessas ondas no concreto. Isso resulta em uma cura mais rápida da superfície do material em comparação com seu interior, o que pode gerar gradientes de resistência indesejados ao longo da estrutura. É importante ressaltar que, apesar dos benefícios observados em cada método, a definição precisa de protocolos de cura para o UHPC continua sendo um desafio devido à necessidade de monitoramento rigoroso dos parâmetros de cura. Além disso, a viabilidade técnica e econômica de cada método deve ser avaliada caso a caso.

## Referências



- BAJABER, M. A.; HAKEEM, I. Y. UHPC evolution, development, and utilization in construction: A review. *Journal of Materials Research and Technology* Elsevier Editora Ltda, , 1 jan. 2021.
- CHEN, T.; GAO, X.; REN, M. Effects of autoclave curing and fly ash on mechanical properties of ultra-high performance concrete. *Construction and Building Materials*, v. 158, p. 864–872, 15 jan. 2018.
- CHEN, Z. et al. Effect of coarse aggregate and carbon fiber content on ohmic heating curing of concrete slab in realistic severely cold weather. *Cold Regions Science and Technology*, v. 211, p. 103861, jul. 2023
- DIXIT, A.; DU, H.; PANG, S. D. Carbon capture in ultra-high performance concrete using pressurized CO<sub>2</sub> curing. *Construction and Building Materials*, v. 288, 21 jun. 2021.
- FANG, Y. et al. Permeability evolution characteristics and microanalysis of reactive powder concrete of drilling shaft lining under stress-seepage coupling. *Construction and Building Materials*, v. 331, 9 maio 2022.
- GRAYBEAL, B. A. Material Property Characterization of Ultra-High Performance Concrete. [s.l.: s.n.].
- JUNG, M. et al. Electrically cured ultra-high performance concrete (UHPC) embedded with carbon nanotubes for field casting and crack sensing. *Materials and Design*, v. 196, 1 nov. 2020b.
- JUNG, M. et al. Electrically cured ultra-high performance concrete (UHPC) embedded with carbon nanotubes for field casting and crack sensing. *Materials and Design*, v. 196, 1 nov. 2020c.
- LI, S. et al. Effects of isothermal microwave heating on the strength and microstructure of ultra-high performance concrete embedded with steel fibers. *Journal of Materials Research and Technology*, v. 14, p. 1893–1902, 1 set. 2021.
- LIU, G. et al. Valorization of converter steel slag into eco-friendly ultra-high performance concrete by ambient CO<sub>2</sub> pre-treatment. *Construction and Building Materials*, v. 280, 19 abr. 2021.
- LIU, Z.; ZENG, H.; WANG, F. Development of high performance carbonatable concrete for steel slag valorization. *Construction and Building Materials*, v. 291, 12 jul. 2021.
- MO, Z.; GAO, X.; SU, A. Mechanical performances and microstructures of metakaolin contained UHPC matrix under steam curing conditions. *Construction and Building Materials*, v. 268, 25 jan. 2021.
- MO, Z. et al. Strength properties and hydration of ultra-high performance concrete incorporating calcined clay and limestone with steam curing regimes. *Case Studies in Construction Materials*, v. 17, 1 dez. 2022.
- RUIZ, J. A.; GRANJA, A. D. Um mapeamento sistemático da literatura sobre a relação entre valor e colaboração na construção. VIII Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção. Anais...Salvador: 2013.
- TIAN, H. et al. The Influence of Long-Term Autoclaving on the Properties of Ultra-High Performance Concrete. *Frontiers in Materials*, v. 9, 4 mar. 2022.
- YALÇINKAYA, Ç.; YAZICI, H. Effects of ambient temperature and relative humidity on early-age shrinkage of UHPC with high-volume mineral admixtures. *Construction and Building Materials*, v. 144, p. 252–259, 30 jul. 2017.
- XIONG, X. et al. Performance and microstructure of ultra-high-performance concrete (UHPC) with silica fume replaced by inert mineral powders. *Construction and Building Materials*, v. 327, 11 abr. 2022b.
- XU, X. et al. IMPact properties of Ultra High Performance Concrete (UHPC) cured by steam curing and standard curing. *Case Studies in Construction Materials*, v. 17, 1 dez. 2022
- ZHANG, J. et al. Hydration kinetics and microstructure development of Ultra-High Performance Concrete (UHPC) subjected to microwave pre-curing. *Cement and Concrete Composites*, v. 129, 1 maio 2022.
- ZOU, D. et al. Influence of self-dispersing particles on workability, hydration and strength of ultra-high-performance concrete. *Construction & building materials*, v. 326, p. 126727, 2022.



# APLICAÇÃO DE ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS PARA AVALIAR A EFICIÊNCIA NA PRESTAÇÃO DO SERVIÇO DE MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DOS MUNICÍPIOS CATARINENSES COM ATÉ 30.000 HABITANTES

Joice Jeremias Zink<sup>1</sup>, Jarbas Cleber Ferrari<sup>2</sup>, Elisa Henning<sup>3</sup>

1. Graduação em Engenharia Sanitária, joicezink@hotmail.com, Universidade do Estado de Santa Catarina
2. Doutorado em Engenharia Química, jarbas.ferrari@udesc.br, Universidade do Estado de Santa Catarina
2. Doutorado em Engenharia de Produção, elisa.henning@udesc.br, Universidade do Estado de Santa Catarina

**Resumo:** A Política Nacional de Resíduos Sólidos é o principal instrumento normativo para gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos no Brasil, em destaque entre seus objetivos está a garantia da sustentabilidade operacional e financeira do setor. No entanto é necessário que a gestão dos recursos disponíveis seja realizada de forma eficiente, principalmente em municípios onde a arrecadação é baixa ou insuficiente. Em razão disso, este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência na prestação do serviço de manejo de resíduos sólidos urbanos dos municípios catarinenses com população até 30.000 habitantes, analisando suas características e verificando a hipótese de correlação da eficiência com a atuação das agências reguladoras. Para tal, este artigo aplica a técnica de Análise Envoltória de Dados (DEA) com o auxílio do aplicativo SAGEPE, com dados oriundos do Sistema Nacional de Informação sobre o Saneamento. Como resultado, 27 municípios alcançaram eficiência máxima, chamados de benchmarks. Estes realizam, em sua maioria, a administração direta do serviço de manejo de RSU com a contratação de empresa privada para a disposição final dos resíduos sólidos em aterro sanitário. Além disso, não foi possível verificar uma relação direta entre a eficiência do setor e a atuação das agências reguladoras.

**Palavras-chave:** Análise Envoltória de Dados, Resíduos Sólidos Urbanos, Eficiência.

## 1. Introdução

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) instituída pela Lei nº 12.305/2010, é o principal instrumento normativo para gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos no Brasil. Nesse âmbito, o poder público figura como um dos atores principais, a quem a PNRS atribui responsabilidade, bem como aos geradores, pela gestão e gerenciamento dos RSU.

A evolução na gestão do serviço de manejo de resíduos sólidos vem sendo acompanhada no Brasil desde 2002, sendo realizada através do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), através de informações declaradas pelos próprios municípios. No entanto, o setor vem se desenvolvendo a passos lentos, principalmente pela ineficiência na gestão dos poucos recursos destinados ao serviço de manejo dos RSU.

Segundo SNIS (2019a) 75% dos municípios catarinenses não arrecada recursos suficientes para cobrir as despesas com o manejo de RSU, comprometendo a sustentabilidade

financeira e evolução na prestação do referido serviço público.

Outra característica dos municípios catarinenses é que 83% possuem população menor de 30.000 habitantes (IBGE, 2020), o que agrava ainda mais a situação, pois esses municípios, em sua maioria, possuem baixa arrecadação, comprometendo os investimentos em serviços de saneamento básico como um todo.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo utilizar a técnica *Data Envelopment Analysis* (DEA) para avaliar a eficiência na prestação do serviço de manejo de resíduos sólidos urbanos de municípios catarinenses com população até 30.000 habitantes. Como objetivos específicos pretende-se: determinar quais municípios possuem escore máximo de eficiência; selecionar *benchmarks* e verificar quais suas características e verificar se há relação direta entre os escores máximos e a atuação das agências reguladoras. Busca-se também identificar quais os municípios catarinenses que conseguem gerir o sistema de manejo de RSU com eficiência financeira e operacional utilizando-os como benchmarking para aqueles que são ineficientes.

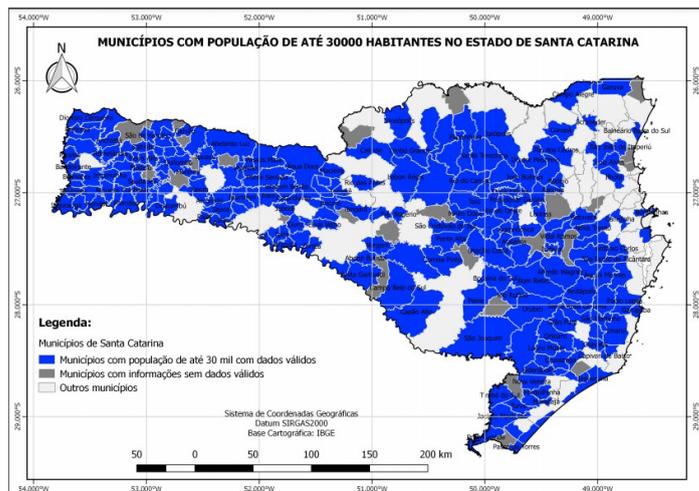
## 2. Metodologia

Foi utilizada a técnica de Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* [DEA]) que permite medir a eficiência de um conjunto unidades tomadoras de decisão (DMU) a partir de múltiplas entradas e saídas. A técnica identifica as DMUs mais produtivas que servem como benchmark para as DMUs ineficientes, utilizando, nesse caso, as informações do diagnóstico SNIS (2019a).

A amostra de DMUs selecionada para o estudo compreende todos os municípios catarinenses com população até 30.000 habitantes que participaram da coleta de dados do SNIS no ano de 2019. A escolha se dá pela representatividade que possuem no estado e pela dificuldade financeira operacional, consequência da baixa arrecadação e dificuldade de contratação de equipe técnica especializada. Além disso, tais municípios estão mais sujeitos a interferências políticas sazonais, visto que, em sua maioria, a gestão do manejo de RSU está sob responsabilidade da administração pública direta através de suas secretarias, departamentos, coordenadorias ou setores de secretarias, que muitas vezes praticam gestão por demanda, sem dar a devida importância ao planejamento estratégico regido pelo Plano Municipal de

Saneamento Básico (PMSB) ou Plano Municipal de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (PMMRSU). Após essa primeira seleção, a amostra era de 226 municípios, dos quais 26 foram excluídos por apresentarem respostas não válidas para o estudo. A Figura 1 apresenta a distribuição dos municípios no estado de Santa Catarina.

**Figura 1** – Municípios com população até 30.000 habitantes



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Os dados utilizados no estudo foram extraídos do diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos de 2019, disponível no Sistema Nacional de Informações (SNIS) sobre Saneamento. Este por sua vez, é o maior sistema de informações sobre a saneamento no Brasil, nele estão reunidos informações e indicadores sobre a prestação dos serviços das quatro componentes do saneamento básico. Ao definir a base de dados, de acordo com Piran et al. (2018), a identificação das entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) do sistema foi feita a partir dos resultados de uma revisão sistemática da literatura sobre a aplicação do método DEA na área de RSU. Posteriormente, efetuou-se a seleção dos *inputs* e *outputs* mais pertinentes para atender os objetivos, que tivessem dados disponíveis no SNIS. Os *inputs* e *outputs* utilizados selecionados estão sumarizados no Quadro 1.

O modelo VRS (Variável Retorno de Escala) foi selecionado pela variedade de escala entre as DMUs em análise. De acordo com Piran et al. (2018), este modelo admite que a produção máxima varie de acordo com a escala de produção, permitindo avaliar DMUs de portes diferentes em uma mesma análise.

A orientação do modelo DEA assim como Marques e Simões (2009) e Yang et al. (2018) foi escolhida com o objetivo de minimizar as entradas, visto que, nesta condição passa a ser relevante a conscientização da população em minimizar a geração de RSU como também a necessidade de redução dos gastos públicos. Contudo, observada a manutenção da prestação de um serviço com qualidade e eficiência econômica e operacional.

**Quadro 1** – *Inputs*, *outputs*, código de referência e descrição do SNIS.

<b>Inputs</b>	
Despesa total com serviços de manejo de RSU	Valor anual da soma das despesas com serviços de manejo de RSU realizadas por agentes privado e público (R\$/ano)
Quantidade total de trabalhadores remunerados envolvidos nos serviços de manejo de RSU	Quantidade total de trabalhadores (remunerados) dos agentes públicos ou privados dos serviços de manejo de RSU, no final do ano de referência.
<b>Outputs</b>	
Receita arrecadada com taxas e tarifas referentes à gestão e manejo de RSU	Valor anual dos recursos arrecadados por meio da cobrança de taxas, tarifas ou outras formas vinculadas à prestação de serviços de manejo de RSU (R\$/ano)
Quantidade total de RDO e RPU coletada por todos os agentes	Valor anual da soma das quantidades totais de RDO e RPU coletadas por todos os agentes mencionados, públicos, privados e outros agentes, exceto cooperativas de catadores. (Tonelada/ano)
Taxa de cobertura do serviço de coleta de RDO em relação à população total do município (%)	$\frac{CO1165}{POP\_URB} \times 100$  CO164: População total atendida no município POP_TOT: População total do município

Fonte: Os autores (2023)

Para efetuar a modelagem e os cálculos de produtividade e eficiência, foi utilizado o aplicativo Sistema de Análise e Gestão da Produtividade e Eficiência (SAGEPE)<sup>1</sup> desenvolvido por Piran et al. (2018).

### 3. Resultados

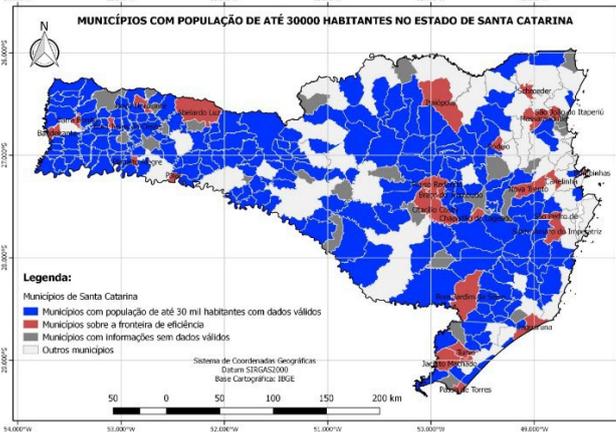
Dos municípios da amostra 27 alcançaram eficiência máxima (Figura 2), representando 13,5% dos municípios da amostra.

A administração pública direta através de suas secretarias, departamentos, coordenadorias ou setores, é característica comum do modelo institucional com maior representatividade entre os órgãos gestores dos municípios de eficiência máxima, como mostra o gráfico da Figura 3.

<sup>1</sup> Disponível gratuitamente no site <http://www.sagepe.com.br/>.

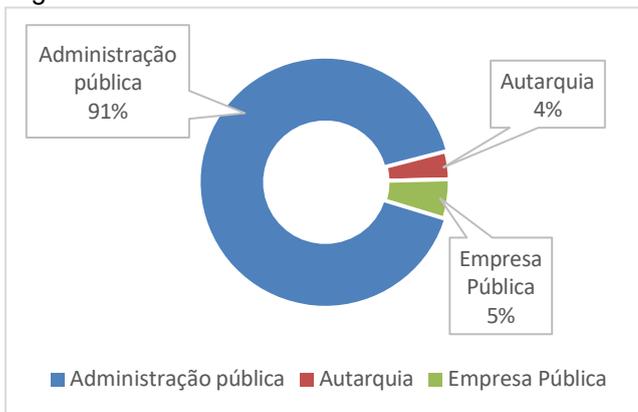
Apenas dois municípios, Canelinha e São João do Itaperiú, possuem uma autarquia e uma Empresa pública, respectivamente, como órgãos responsáveis pela gestão dos RSU.

**Figura 2 – Municípios sobre a fronteira de eficiência.**



Fonte: Os autores (2023)

**Figura 3 - Natureza jurídica do órgão municipal responsável pela gestão do RSU**



Fonte: Adaptado SNIS (2019)

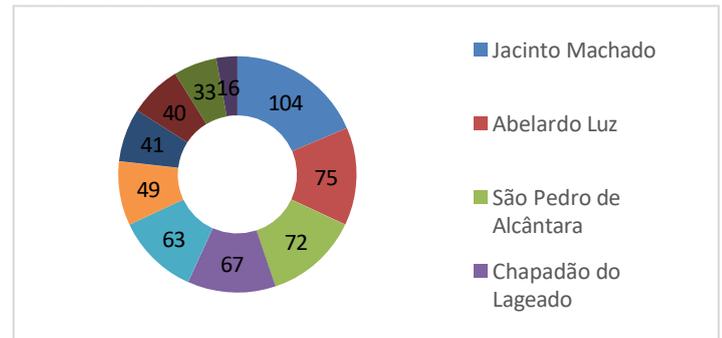
Dentre os que se encontram na fronteira de eficiência, podemos citar aqueles que mais foram utilizados como referência para as DMUs ineficientes, apresentados na Figura 4, em ordem crescente de acordo com quantidade de vezes que foram utilizadas como *benchmark*. Destaca-se Jacinto Machado, Abelardo Luz, São Pedro de Alcântara, Chapadão do Lageado e Paial utilizados como referências para 104, 75, 72, 67 e 63 DMUs ineficientes, respectivamente.

No Quadro 2 constam informações sobre a gestão e prestação do serviço de manejo RSU dos principais municípios classificados como *benchmark*, coletadas *in loco*.

Ao se analisar as informações do Quadro 2, observa-se que não há um modelo específico de gestão, porém todos os municípios citados são de administração pública direta com órgãos como secretarias ou setor de obras, como o responsável pela gestão dos RSU. A prestação do serviço de varrição de ruas e coleta convencional, é de

responsabilidade da prefeitura, com exceção de São Pedro de Alcântara que tem empresa contratada para varrição. Ao se tratar da disposição final, todos possuem empresa contratada para a prestação dessa etapa do serviço.

**Figura 4 – Algumas DMUS consideradas como benchmarks**



Fonte: Os autores (2023)

**Quadro 2 – Informações adicionais dos benchmarks**

Município	Jacinto Machado	Abelardo Luz	São Pedro de Alcântara	Chapadão do Lageado	Paial
<b>Órgão municipal responsável pela gestão dos RSU</b>	Setor de Obras	Secretaria de Infraestrutura	Secretaria de Água, Saneamento Básico e Meio Ambiente	Setor de obras e Secretaria do meio ambiente	Secretaria de Infraestrutura
<b>Varrição</b>	Prefeitura	Prefeitura	Empresa contratada	Prefeitura	Prefeitura
<b>Coleta Convencional</b>	Prefeitura até o aterro	Prefeitura até o aterro	Prefeitura até o transbordo	Prefeitura até a triagem, depois ao aterro;	Prefeitura até o aterro
<b>Coleta e triagem Reciclável</b>	Não possui	Não possui	Empresa contratada	Prefeitura e empresa contratada	Prefeitura e Associação de catadores
<b>Destino Final</b>	Empresa contratada	Empresa contratada	Empresa contratada	Empresa contratada	Empresa contratada

Fonte: Os autores (2023)

Ainda em observância ao Quadro 2, no que se trata da coleta e triagem dos resíduos recicláveis é possível observar que dois dos *benchmarks* não prestam esse o serviço. São Pedro de Alcântara possui um contrato de prestação do serviço com valor fixo. Por fim, Paial e Chapadão do Lageado mantêm a coleta e estrutura física



dos galpões de triagem pela prefeitura e uma associação de catadores e uma empresa contratada, respectivamente, são responsáveis por efetuar a triagem, tendo como pagamento o retorno financeiro da venda do material triado. Vale destacar que, a dimensão ambiental não fez parte da análise de eficiência realizada neste trabalho, sendo necessário para isso um horizonte de tempo de pesquisa maior para compreender as interações entre *inputs* e *outputs*.

Outra constatação é a de que a administração pública direta se apresenta como uma boa alternativa para a gestão dos RSU de municípios com população de até 30.000 habitantes. A execução da coleta convencional pela própria prefeitura, através de secretarias ou setor de obras, pode ser um dos fatores que favorecem a economia de gastos com o setor, pois, muitas vezes, pode haver um compartilhamento de equipamentos dentro do setor, sem deixar de mencionar a possibilidade de acesso a “recursos a fundo perdido” e ou emendas parlamentares que possibilitam a aquisição de bens como no caso do caminhão coletor compactador. Do ponto de vista de recursos humanos, possuir os funcionários vinculados a própria prefeitura também pode colaborar para redução de gastos.

Porém, se estas características podem ser o motivo pela eficiência desses municípios, por que isso não se repete com municípios que reproduzem esse mesmo arranjo de prestação de serviço? Uma das razões, pode estar relacionada a gestão desses recursos. A análise das folgas pode fornecer um indicativo de como devem agir os municípios ineficientes.

O método DEA disponibiliza os dados de folga para cada *input*, os quais representam o quanto as DMUs ineficientes precisam reduzir suas entradas (no caso de modelos com orientação para *input*) para se tornarem eficientes. Tais informações podem auxiliar os gestores públicos no desenvolvimento de estratégias para alcançar melhores níveis de eficiência na prestação do serviço de manejo de RSU. Como forma de exemplificar tal cenário, foram selecionados 4 municípios, descritos segundo seus valores de folga (Tabela 1).

**Tabela 1**– Folgas para as 4 DMUs selecionadas

DMU	FN220 R\$/ano	TB015 Empregados
Ascurra	27.433,20	0,72
Ibirama	127.192,66	1,49
José Boiteux	100.600,87	3,90
Presidente Getúlio	654.209,55	16,40

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Desse modo, para que o município de Ascurra alcance a fronteira de eficiência é necessário que reduza em R\$ 27.433,20 suas despesas anuais com o manejo de RSU e diminua 1 funcionário. Já o município de Presidente Getúlio teria que conter R\$ 654.209,55 de seus gastos e reduzir 16

funcionários do setor. Vale lembrar que as informações do SNIS são auto declaratórias, ou seja, de responsabilidade do próprio município, o que pode gerar inconsistências na análise.

As agências reguladoras têm papel fundamental na condução das DMUs ineficientes em direção à fronteira de eficiência. A fiscalização e regulação do serviço de manejo de RSU é mais uma forma de identificar quais recursos ou partes do processo precisam ser revistas ou reformuladas para melhorar os níveis de eficiência financeira e operacional. O Quadro 3 identifica entre as DMUs eficientes cada qual sua agência reguladora responsável.

**Quadro 3** – Lista das DMUs eficientes e a agência reguladora responsável.

DMU	Agência Reguladora
Abelardo Luz	ARIS
Bandeirante	ARIS
Barra Bonita	ARIS
Bom Jardim da Serra	ARESC
Bom Jesus do Oeste	ARIS
Bombinhas	ARESC
Braço do Trombudo	ARIS
Canelinha	ARIS
Chapadão do Lageado	ARIS
Ermo	ARIS
Itaiópolis	ARIS
Jacinto Machado	Sem regulação
Jaguaruna	ARIS
Massaranduba	ARIS
Nova Trento	ARIS
Novo Horizonte	ARIS
Otacílio Costa	ARIS
Paial	ARIS
Passo de Torres	ARIS
Planalto Alegre	ARIS
Pouso Redondo	ARIS
Rodeio	AGIR
Santo Amaro da Imperatriz	ARESC
São João do Itaperiú	ARIS
São Pedro de Alcântara	ARESC
Schroeder	ARIS
Turvo	ARIS

Fonte: Os autores (2023)

De acordo com o Quadro 3, pode-se identificar que a grande maioria das DMUs é regulada pela ARIS. Os municípios de Bom Jardim da Serra, Bombinhas, Santo Amaro da Imperatriz e São Pedro de Alcântara são regulados pela ARESC e somente Rodeio possui convenio



com a AGIR. Enquanto Jacinto Machado ainda sem regulação, está em processo de adesão ao CISAM. Apesar de a grande maioria dos municípios serem reguladas pela ARIS, não podemos afirmar que há uma relação direta entre a agência reguladora e os melhores resultados de eficiência, pelo fato de que a proporcionalidade dos municípios de Santa Catarina conveniados a ARIS ser de aproximadamente 68%. Ademais, a regulação do setor de RSU ainda é muito incipiente, aplicado quase que exclusivamente à disposição final, pelo fato de que a maioria dos municípios prestam esse serviço diretamente pela prefeitura e não possuem um instrumento jurídico legal que possibilite a fiscalização e regulação de forma eficiente. Logo, não há uma clareza nas informações de competências e responsabilidades dos entes envolvidos na prestação do serviço de manejo de RSU, dificultando o acesso as informações e a regulação do setor como um todo.

Cabe citar aqui, como um “case” de sucesso no setor, a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) de Portugal, que anualmente realiza um relatório onde sintetiza as informações de caracterização, evolução, análise econômica e uma avaliação comparada (*benchmarking*) da qualidade do serviço prestado aos usuários através de uma metodologia própria, considerada como importante ferramenta de regulação do setor (ERSAR, 2020).

A diminuição das incertezas em relação as informações contidas no diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos do SNIS, de responsabilidade dos municípios, são fundamentais para se construir uma proposta metodológica consistente que, permita a fiscalização e regulação do serviço de manejo de RSU no Brasil. Nesse caso, como já observado em outros países, a técnica DEA se mostra robusta e coerente na tarefa de realizar esta avaliação de eficiência, buscando nesse caso, evitar avaliações tendenciosas e incoerentes com a realidade de cada município.

#### 4. Considerações Finais

Neste trabalho, a técnica DEA foi utilizada para avaliar a eficiência na prestação do serviço de manejo de RSU em municípios catarinenses com população até 30.000 habitantes, considerando indicadores financeiros e operacionais. Os indicadores utilizados têm origem no diagnóstico de resíduos sólidos de 2019, do SNIS.

A técnica DEA – VRS, mostrou-se ser um bom instrumento de avaliação para a amostra em questão, considerando a variedade de escala de produção entre as DMUs resultando em uma boa discriminação entre elas. Além disso, a técnica DEA elimina problemas de ordem subjetiva ao estabelecer parâmetros de eficiência a partir de dados reais.

Os resultados indicam a existência de 27 DMUs na fronteira de eficiência, que representam 13,5% dos municípios da amostra. Dentre os municípios eficientes foi observado que o modelo de administração pública direta na prestação do serviço de coleta convencional e varrição através do setor de obras ou secretarias e a contratação de empresas privada para disposição final é uma característica comum

entre eles. Assim, levando em conta o limitado conjunto de parâmetros envolvidos nesta breve análise, pode-se considerar que esse arranjo institucional se mostra eficiente na prestação dos serviços de RSU.

Não foi possível identificar relação direta entre a agência reguladora e os municípios com maiores escores de eficiência, visto que há uma relação de proporcionalidade muito alta de municípios conveniados a ARIS.

Dentre os obstáculos encontrados para realização desse trabalho está a ausência ou inconsistências das informações declaradas ao SNIS, uma vez que todos os resultados dessa pesquisa são influenciados diretamente por estas. Ressalta-se que houve a necessidade de consultas in loco aos municípios em busca de informações que possibilitasse uma discussão mais ampla dos resultados.

Considerando a importância do assunto na busca de práticas eficientes para gestão do serviço de manejo RSU, torna-se necessário o aprofundamento do trabalho analisando outros aspectos relacionados ao setor como: responsabilidade ambiental, comprometimento com questões sociais, qualidade na prestação do serviço, formando uma visão mais ampla de eficiência na prestação do serviço de manejo de RSU no âmbito dos municípios de pequeno porte. Para a continuidade das pesquisas sugere-se realizar uma análise estatística adicional para a escolha dos *inputs* e *outputs*. A aplicação da técnica DEA em dois estágios que correlaciona a eficiência a fatores externos como densidade populacional, renda per capita, PIB e outros, poderia trazer informações relevantes ao estudo, determinando se os fatores exógenos possuem influência nos níveis de eficiência.

#### Referências

ERSAR. Relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal. Portugal: Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos, 2020. (ISBN:978-989-8360-39-7). Disponível em: <http://www.ersar.pt/pt/site-publicacoes/Paginas/edicoes-anuais-do-RASARP.aspx>. Acesso em: 01 de mar. 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Brasil/Santa Catarina: IBGE, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/panorama>. Acesso em: 29 jan. 2021.

MARQUES, R. C.; SIMÕES, P. Incentive regulation and performance measurement of the Portuguese solid waste management services. *Waste Management & Research*, v. 27, n. 2, p. 188-196, 2009.

PIRAN, F. S.; LACERDA, D. P.; CAMARGO, L. F. R. *Análise e gestão da eficiência: aplicação em sistemas de bens e serviços*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

SNIS. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos: 2019. 2019. 2020. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos-solidos/diagnostico-do-manejo-de-residuos-solidos-urbanos-2019>. Acesso em: 02 mar. 2021.

SNIS. Série Histórica. [2019]. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 09 nov. 2020.



## Uso de *wetlands* para tratamento de esgoto

Carlos Alberto Benedito Junior<sup>1</sup>, Regina Marcia Longo<sup>2</sup>, Guilherme T. N. P. de Lima.<sup>3</sup>

1. Mestrando, carlosbene00@hotmail.com, P.U.C. Campinas
2. Doutora, regina.longo@puc-campinas.edu.br, P.U.C. Campinas
3. Doutor, gtnplima@gmail.com, Pesquisador Independente

### Resumo:

As *wetlands*, ou zonas úmidas, são ecossistemas que desempenham um papel importante no tratamento natural de esgoto e águas residuais. Existem dois tipos principais de *wetlands*: as construídas, criadas pelo homem, e as naturais, que ocorrem naturalmente. Esse tratamento envolve processos como a filtração mecânica, a decomposição biológica, a remoção de nutrientes e a adsorção de contaminantes. As plantas aquáticas e os microrganismos presentes nessas áreas contribuem para a purificação da água. As *wetlands* para tratamento de esgoto oferece diversas vantagens, como a redução do uso de produtos químicos, menor consumo de energia, criação de habitats naturais e melhoria da qualidade da água. Porém, sua implementação requer um planejamento cauteloso, levando em consideração as características locais e a manutenção contínua para garantir a eficácia ao longo do tempo. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo realizar um mapeamento sistemático da literatura a fim de identificar, no campo acadêmico, quais universidades e países que estão desenvolvendo pesquisas sobre a relação entre *wetlands* como uma alternativa sustentável aos métodos tradicionais de tratamento de águas residuais, contribuindo para a preservação dos recursos hídricos e do meio ambiente. A análise foi realizada utilizando a base de dados Scopus, limitando o período 2010-2023.

**Palavras-chave:** Wetlands, zonas úmidas, tratamento natural de esgoto

### 1. Introdução

A implementação de *wetlands*, como parte de sistemas de tratamento de esgoto, é uma abordagem cada vez mais conhecida e adotada para lidar com os desafios crescentes de gestão de águas residuais de maneira sustentável e ambientalmente responsável. Essa abordagem usa processos naturais encontrados em ecossistemas aquáticos que utilizam plantas aquáticas, zonas úmidas e microrganismos para remover poluentes e melhorar a qualidade da água. Nas últimas décadas, a conscientização sobre os efeitos adversos dos métodos convencionais de tratamento de esgoto, que muitas vezes envolvem produtos químicos e demandam alta energia, tem levado à busca por alternativas mais ecológicas e eficientes. As zonas úmidas surgem como uma solução promissora, oferecendo diversos benefícios (Pires, 2022).

**Tratamento Natural:** As zonas úmidas emulam processos naturais de depuração e filtração que ocorrem em

ecossistemas aquáticos. Isso resulta em uma abordagem mais orgânica e menos dependente de produtos químicos agressivos (Lopes, 2021).

**Remoção de Poluentes:** As plantas aquáticas e a atividade biológica nas áreas úmidas ajudam a remover partículas sólidas, nutrientes em excesso, patógenos e outros contaminantes presentes na água (Lopes, 2021).

**Conservação de Energia:** Ao contrário dos sistemas convencionais que recebem grandes reservatórios de energia para aeração e outros processos, como zonas úmidas principalmente dependentes de processos naturais, atendendo ao consumo de energia (Lopes, 2021).

**Habitats Naturais:** Além de sua função de tratamento de esgoto, as zonas úmidas fornecem habitats para diversas formas de vida aquática e avifauna, garantindo para a biodiversidade local (Pires, 2022).

**Aproveitamento de Áreas Não Utilizadas:** *Wetlands* construídos podem ser integrados em áreas subutilizadas ou margens de rios, abrindo espaços muitas vezes negligenciados em locais de valor ecológico e funcional (Lopes, 2021).

**Baixa Manutenção:** Com o manejo adequado, as áreas úmidas podem ser relativamente fáceis de manter ao longo do tempo, especialmente em comparação com sistemas complexos convencionais (Da Cunha, 2018).

**Resiliência Climática:** As zonas úmidas podem ajudar na mitigação dos impactos das mudanças climáticas, como enchentes e secas, ao agir como áreas de armazenamento de água e de redução do escoamento pluvial (Da Cunha, 2018).

No entanto, uma introdução bem-sucedida de áreas úmidas requer cuidados de planejamento, considerando fatores como tipo de poluentes presentes, tamanho da população atendida, características geográficas e hidrológicas do local, entre outros. Além disso, é importante que haja monitoramento e manutenção contínua para garantir o desempenho eficaz das áreas úmidas ao longo do tempo. Em resumo, a implementação de *wetlands* para tratamento de esgoto representa um passo significativo na direção de um futuro mais sustentável e equilibrado em termos de gestão de recursos hídricos (Herzog, 2021).

O presente trabalho tem como principal objetivo apresentar um levantamento bibliométrico a respeito do tema “*wetlands*” como uma alternativa sustentável aos métodos tradicionais de tratamento de águas residuais” a partir de artigos científicos publicados, nos últimos 13 anos, com o intuito de identificar, no âmbito acadêmico, os principais desenvolvimentos pertinentes ao tema.



## 2. Metodologia

O presente trabalho foi realizado através de uma pesquisa de levantamento bibliométrico, que consiste em um mapeamento sistemático da literatura acerca do tema “Wetlands para tratamento de esgoto”. A proposta metodológica deste trabalho de forma sucinta, foi a utilização de base de dados da plataforma Scopus, onde houve a definição de palavras chaves de busca, que foram: *sustainable, wetlands, sewage treatment*. Após o levantamento de dados obtidos pela busca foi realizada uma triagem dos artigos com base no título e resumo e análise na íntegra dos artigos selecionados.

No dia 07 de agosto de 2023 foi realizada uma pesquisa na base de dados Scopus utilizando as palavras chaves anteriores. Diante da pesquisa foram encontrados dos dados expostos na Figura 1.

Figura 1: Quantidade de documentos encontrados na base de dados Scopus

DOCUMENT TYPE	UNITS.
Article	171
Review	40
Conference Paper	23
Book Chapter	16
Conference Review	10
Erratum	1
Note	1
TOTAL	262

Fonte: Scopus, Elsevier B.V. – ADAPTADO, 2023.

Estes dados foram coletados e analisados com o auxílio do software Microsoft Excel, onde foi possível separar os tipos de trabalhos realizados, totalizando em 262 trabalhos diferentes realizados em um período de 13 anos (2010 – 2023). Além da análise de separação por categoria, foram realizadas busca por principais autores, países com maior quantidade de publicação por ano, estes dados ajudam a refletir a necessidade de um estudo maior do assunto, os resultados foram expostos com auxílio de recursos gráficos para melhor representação dos dados obtidos.

## 3. Resultados

### Wetlands para tratamento de esgoto

As *wetlands* são áreas que desempenham um papel importante no tratamento natural de esgoto e águas residuais. Elas são ecossistemas compostos por vegetação aquática, solo alagado e água, que podem ser utilizados para purificar águas residuais de maneira mais sustentável do que os métodos convencionais. Há dois tipos principais de *wetlands* utilizados para o tratamento de esgoto: *Wetlands* Construídas (*Wetlands* Artificiais): Estas são criadas pelo ser humano para imitar as funções naturais das

zonas úmidas. Elas podem ser projetadas para tratar águas residuais domésticas, industriais ou agrícolas. As áreas úmidas construídas geralmente consistem em uma série de lagoas rasas ou canais, preenchidas com vegetação aquática e solo específico para promover a depuração biológica e física das águas (Zinato, 2017).

*Wetlands* Naturais: Essas são zonas úmidas naturais que também podem ser usadas para o tratamento de esgoto.

Elas aproveitam os processos naturais de filtração, degradação biológica e retenção de nutrientes para melhorar a qualidade da água. Os processos que ocorrem nas zonas úmidas para o tratamento de esgoto incluem:

**Filtração Mecânica:** As plantas naturais e a vegetação ajudam a reter partículas sólidas e materiais suspensos presentes na água. **Decomposição Biológica:** Bactérias e microrganismos presentes nas raízes das plantas e no solo das zonas úmidas ajudam a quebrar e decompor materiais orgânicos presentes na água. **Remoção de Nutrientes:** As plantas absorvem nutrientes como fósforo e nitrogênio, estimulando sua concentração na água e prevenindo a eutrofização (crescimento excessivo de algas). **Adsorção:** Partículas carregadas, como metais pesados, podem aderir às partículas do solo e da vegetação, sendo assim removidas da água. **Aeração:** A própria movimentação da água através das plantas e da estrutura das zonas úmidas permite a oxigenação da água, favorecendo processos biológicos aeróbicos (Guimarães, 2013).

### Locais que foram aprimorados *wetlands* para tratamento de esgoto

As *wetlands* para tratamento de esgoto foram implementadas em várias partes do mundo como uma abordagem sustentável para o tratamento de águas residuais. Aqui estão alguns exemplos de lugares onde *wetlands* foram implantadas para esse fim: Arcata, Califórnia, EUA: O Arcata Marsh and Wildlife Sanctuary é um exemplo pioneiro de *wetlands* construídas para tratamento de esgoto. A cidade utiliza uma série de lagoas e pântanos construídos para purificar as águas residuais, proporcionando também um habitat para aves e outros animais selvagens (Halverson, 2013).

Chesapeake Bay, EUA: A região da Baía de Chesapeake tem implementado *wetlands* como parte de estratégias para reduzir a poluição de nutrientes e melhorar a qualidade da água na baía (Schieder, 2018).

Curitiba, Brasil: O Parque São Lourenço em Curitiba, Brasil, possui um sistema de *wetlands* construídas que trata as águas residuais do parque antes de liberá-las em um riacho local (Amorim, 2018)

China: Algumas cidades chinesas têm implementado *wetlands* construídas como parte de suas estratégias de tratamento de esgoto para lidar com os desafios crescentes de poluição hídrica (Jiang, 2015).

Esses são apenas alguns exemplos de locais ao redor do mundo onde *wetlands* foram implantadas com sucesso para o tratamento de esgoto. Cada caso é adaptado às necessidades e condições locais, demonstrando a



versatilidade dessa abordagem de tratamento de águas residuais.

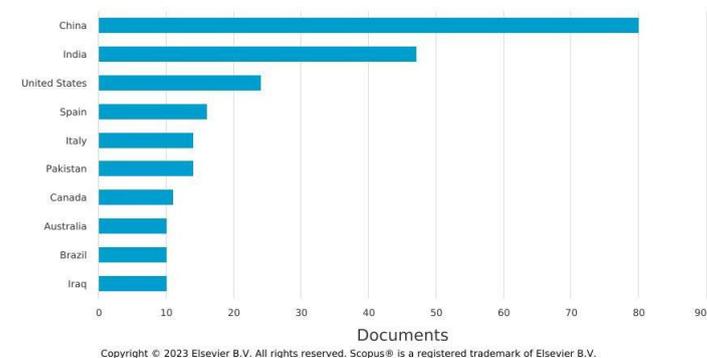
## Levantamento na base de dados SCOPUS

Foram relacionados um total de 262 trabalhos com as palavras chaves definidas. De acordo com os resultados obtidos na figura 02 onde mostra os 10 países com mais trabalhos a respeito das *wetlands* para tratamento de águas residuais ou como contenção para drenagem pluvial, para maior visibilidade gráfica a figura delimita apenas os 10 países com mais publicações, mas ao todo foram encontrados em 60 países com o tema abordado. Dentre os países que mais publicaram, se destacam três países, China com um número expressivo de 80 trabalhos realizados, Índia com 47 trabalhos realizados e os Estados Unidos com 24 trabalhos se encontra em terceiro lugar, já o Brasil aparece em nono lugar no ranking, com 10 publicações.

Figura 02 – Documentos por países.

Documents by country or territory  
Compare the document counts for up to 15 countries/territories.

Scopus



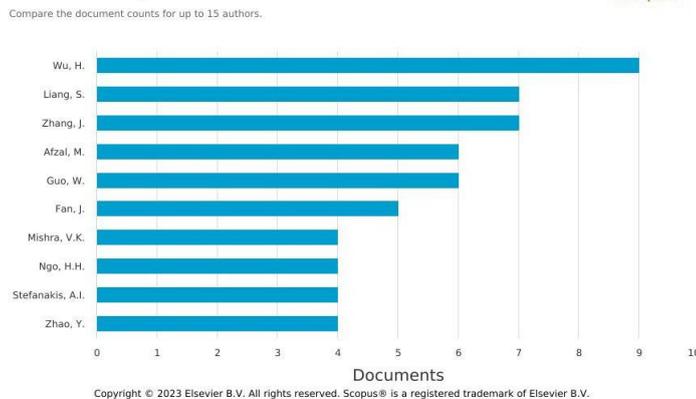
Fonte: Scopus, Elsevier B.V. (07/08/2023)

A figura 03 mostra que dos 262 trabalhos obtidos nos últimos 13 anos, foram produzidos por 159 autores diferentes, onde na figura aparecem apenas os 10 primeiros com mais publicações. Este número de 159 autores, mostra que diferentes pesquisadores estão desenvolvendo seus trabalhos com uma abordagem em *wetlands* para tratamento de águas residuais ou como contenção para drenagem pluvial, sendo um estudo que está ligado diretamente a administração pública, pois o poder público é único capaz de implantar tais medidas em seu território.

Figura 03: Quantidade de documentos por autores

Documents by author  
Compare the document counts for up to 15 authors.

Scopus



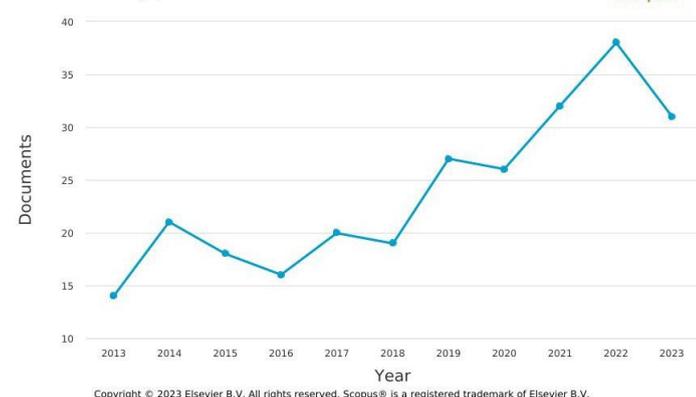
Fonte: Scopus, Elsevier B.V. (07/08/2023)

A figura 04 representa a quantidade de trabalhos elaborados por ano, o gráfico obteve um crescimento na linha de pesquisa constante de 2020 a 2022 com um total de 96 publicações. Pode-se observar que no ano de 2023 foram registradas 31 publicações novas, se considerar um crescimento proporcional ao longo do ano, estima-se que em 2023 encerrar com aproximadamente 48 publicações.

Figura 04: Quantidade de documentos por ano

Documents by year

Scopus



Fonte: Scopus, Elsevier B.V. (07/08/2023)

Dado o exposto do trabalho realizado, que tem o objetivo de quantificar estudos já realizados sobre o tema de *Wetlands* para tratamento de esgoto, utilizando-se uma base de dados (Scopus) para atingir os resultados. Como relatado anteriormente, foram encontrados 262 trabalhos, um número pouco expressivo se levar em consideração que esta pesquisa abordou um período de 13 anos e em escala global.

## 4. Considerações Finais

Em conclusão, as *wetlands* para tratamento de esgoto representam uma abordagem notável e promissora na busca por soluções mais sustentáveis e eficazes para a gestão de águas residuais. Ao imitar os processos naturais de purificação presentes em ecossistemas aquáticos, essas áreas oferecem uma série de benefícios tangíveis.



A utilização de *wetlands* para tratamento de esgoto reduz a dependência de produtos químicos agressivos e consome menos energia em comparação com métodos convencionais. Além disso, ao fornecer habitats naturais para a vida selvagem, as *wetlands* contribuem para a conservação da biodiversidade e a restauração de ecossistemas degradados. Essa abordagem, por ser considerada uma "Solução Baseada na Natureza" responde aos desafios das mudanças climáticas, na medida em que utiliza um processo natural para ciclagem de nutrientes, mas que também pode ajudar a mitigar os eventos extremos de inundações e secas.

No entanto, é crucial reconhecer que a implementação bem-sucedida de *wetlands* requer um planejamento minucioso e uma abordagem adaptada às condições locais. Manutenção constante e monitoramento são essenciais para garantir o desempenho contínuo dessas áreas ao longo do tempo, confirmando assim necessidade de ser implantado pelo poder público.

À medida que a conscientização sobre a importância da gestão sustentável da água continua a crescer, as *wetlands* para tratamento de esgoto emergem como uma alternativa valiosa e eficaz. Seu potencial para oferecer benefícios ambientais, sociais e econômicos torna essa abordagem um exemplo inspirador de como a natureza pode ser um aliado poderoso na resolução dos desafios contemporâneos de tratamento de esgoto e preservação dos recursos hídricos.

## Referências

AMORIM, Ana Maria Pereira Barreto et al. Efficiency of a pilot system using wetlands in the post-treatment of the leachate generated in the Curitiba Landfill, Curitiba, Paraná, Brazil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 23, p. 535-542, 2018.

DA CUNHA, Diego de Oliveira; MERLIM, Rodolpho Lopes; JUNIOR, Ely Severiano. O uso do tratamento de esgoto sustentável: o estado da arte das Wetlands. *Revista de Administração e Negócios da Amazônia*, v. 10, n. 2, p. 143-163, 2018.

GUIMARÃES, Tarcio Moreno Veloso de Andrade et al. Comportamento de filtro plantado horizontal (*wetlands* construídos) no tratamento de esgoto unifamiliar. 2013.

HALVERSON, Heidi M. Treatment capabilities of the enhancement wetlands at the Arcata wastewater treatment facility. 2013.

HERZOG, Cecilia Polacow. Soluções baseadas na Natureza para um novo paradigma no tratamento de esgoto em áreas urbanizadas. *Parcerias Estratégicas*, v. 25, n. 50, p. 133-158, 2021.

JIANG, Ting-ting et al. Current status of coastal wetlands in China: degradation, restoration, and future management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 164, p. 265-275, 2015.

LOPES, Thaís Andrade de Sampaio et al. Desempenho ambiental e energético do tratamento de esgotos sanitários

por meio da associação do processo anaeróbico e *wetlands* construídos. 2021.

PIRES, Tanile Lima. Estratégias de planejamento territorial para a mitigação e adaptação aos efeitos das alterações climáticas. *Ciclo de vida da água*. 2022.

PORTAL, Claire; KERGUILLER, Riwan. The shape of a city: geomorphological landscapes, abiotic urban environment, and geoheritage in the western world: the example of parks and gardens. *Geoheritage*, v. 10, n. 1, p. 67-78, 2018.

SCHIEDER, Nathalie W.; WALTERS, David C.; KIRWAN, Matthew L. Massive upland to wetland conversion compensated for historical marsh loss in Chesapeake Bay, USA. *Estuaries and coasts*, v. 41, p. 940-951, 2018.

ZINATO, Thamires Maria Campos; GUIMARÃES, Márcia Maria. Estudo sobre a utilização de "wetlands" construídas para tratamento de águas residuárias no Brasil. In: VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, novembro. 2017. p. 27-30.



## Avaliação de Impactos Ambientais simplificada na Luvas Mineradora – Uberlândia/MG

Emily Giovanna Felipe Firmino<sup>1</sup>, Maria Eduarda Godoy<sup>2</sup>, Marina Perez Morais<sup>3</sup>, Raissa Caroline Gomes<sup>4</sup>

1. Estudante de Engenharia Ambiental e Sanitária, [emily.g3798@gmail.com](mailto:emily.g3798@gmail.com), ESAMC.
2. Estudante de Engenharia Ambiental e Sanitária, [eduardagodoy.mg@gmail.com](mailto:eduardagodoy.mg@gmail.com), ESAMC.
3. Estudante de Engenharia Ambiental e Sanitária, [marinaperez@gmail.com](mailto:marinaperez@gmail.com), ESAMC.
4. Pós doutoranda em Sistemas de Infraestrutura Urbana, [raissa.cgt@hotmail.com](mailto:raissa.cgt@hotmail.com), PUC-Campinas.

**Resumo:** As atividades de mineração têm um impacto significativo no meio ambiente e prejudicam o funcionamento dos ecossistemas. Dessa forma, os poluentes emitidos pela atividade minerária alteram totalmente a qualidade da água, do ar, do solo, da flora e da fauna. A exploração mineral não planejada é mais prejudicial ao meio ambiente. Para que a exploração mineral seja menos danosa as exigências legais devem ser atendidas. Isso significa planejar com antecedência o uso da terra e da água, que é abordado em estudos e relatórios de impacto ambiental. Nessa perspectiva, esta AIA – Avaliação de Impactos Ambientais - investiga os potenciais impactos das atividades de mineração da Luvas Mineradora na cidade de Uberlândia, estado de Minas Gerais e traz propostas para reduzir a magnitude desses impactos.

**Palavras-chave:** mineração, atividade mineradora, danos ambientais.

### 1. Introdução

Os danos ambientais decorrentes de atividades antrópicas têm ganhado atenção especial devido à sua importância e crescente ocorrência. Nos últimos anos foi verificado um aumento expressivo de danos em impactos ambientais relacionados à atividade mineradora (Bandeira et al., 2022; Armstrong et al., 2019). Neste contexto se faz necessária a utilização de ferramentas que possibilitem avaliar a situação real do ambiente estudado. As Avaliações de Impacto Ambiental (AIA) objetivam constatar e prever os possíveis impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente e propor sistematicamente medidas para reduzir e eliminar os impactos negativos (Morgan, 2012).

Na contemporaneidade, a AIA tem sido utilizada mundialmente como uma ferramenta de gestão ambiental, comprovadamente capaz de prevenir a degradação ambiental e melhorar a qualidade de vida humana, fornecendo um conjunto de informações essenciais para o desenvolvimento da definição de viabilidade ambiental de um projeto. O inovador processo de AIA baseado nos EUA foi estabelecido por volta de 1969, e a base do processo de AIA foi criada depois que o Congresso dos EUA promulgou a Lei Nacional de Política Ambiental (NEPA). A Lei de Política Ambiental Nacional da América do Norte é um modelo para uma nova legislação ambiental semelhante em todo o mundo e pode ser considerado um marco importante na conscientização ambiental global (Dias, 2001).

No que tange às políticas ambientais nacionais, as mesmas são coordenadas e formuladas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), órgão consultivo e deliberativo criado através da adoção da Lei nº 6.938/81, que

estabelece também a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) como um instrumento de gestão ambiental (art. 9º), Avaliação de Impacto Ambiental de atividades efetivas ou potencialmente poluidoras. A Resolução CONAMA 01/86 torna vigente o procedimento de AIA no Brasil e descreve orientações sobre requisitos legais a serem apresentados nos estudos (Brasol, 1986).

A AIA visa identificar impactos ambientais no meio físico, biótico e socioeconômico e deve ser desenvolvida em etapas: antes de introduzir o estabelecimento; durante sua introdução e/ou operação; até que se termine a atividade. Assim, o presente trabalho aplicou uma AIA simplificada previamente à instalação da Luvas Mineradora em Uberlândia (MG), com o intuito de prever os possíveis impactos socioambientais da sua implantação.

### 2. Metodologia

O empreendimento Luvas Mineradora será instalado em Uberlândia/MG, na BR-050 sentido Araguari/MG. Trata-se de uma mineradora cuja principal atividade será a extração de basalto. Há uma estimativa de exploração de cerca de 24 milhões de toneladas da rocha. O pó do basalto se tornará a principal ferramenta de recuperação de áreas percoladas e um remineralizante capaz de substituir os fertilizantes existentes. Estima-se que o empreendimento será a maior planta de britagem da cidade e conseqüentemente a maior planta de remineralização do país (CIMM, 2021).

O ambiente nas proximidades da mineradora é rico em área verde, sua vegetação predominante é a mata subcaducifólia e o local corte o rio Araguari. O fato de a mineradora Luvas ser construída no meio de dois centros urbanos é um fator a ser considerado para na avaliação de impactos.

Para realizar a avaliação dos impactos sociais foi adaptada uma Matriz de Leopold (Leopold et al., 1971), a qual apresenta partes do meio em um eixo e no outro apresenta ações que podem promover impactos em cada meio apresentado. Essa distribuição permite que o avaliador verifique de maneira abrangente quais as ações mais impactantes e quais os ambientes mais impactados (Gomes, 2017).

De acordo com o método e aplicações adaptadas do mesmo, é possível selecionar as ações e os ambientes de acordo com o objetivo da avaliação, conforme também proposto por Ribeiro et al. (2012) e Zangirolami (2012). Fica a critério do autor/avaliador considerar o ambiente de maneira mais abrangente, conforme proposto e aplicado por Gomes (2017), onde avaliou separadamente água,

solo, aspectos bióticos e socioculturais, ou selecionar uma área de avaliação específica, conforme aplicado neste artigo, onde se considerou apenas impactos socioambientais das ações de operação do empreendimento em questão. A Matriz de Leopold adaptada encontra-se ilustrada na **Figura 1**.

**Figura 1.** Modelo de Matriz de Leopold adaptada aplicada na Luvás Mineradora.

		Ações impactantes				
		Geração de ruído / Poluição sonora	Geração de resíduos	Geração de vibração	Atividades de manutenção	Escavações do solo
Componentes afetados	Circulação de pedestres					
	Circulação de veículos					
	Utilização do solo					
	Paisagem urbana					
	Qualidade de vida					
	Comércios locais					

Interferência Nula   
 Pequena Interferência   
 Grande Interferência 

Para a avaliação considera-se o preenchimento da quadrícula localizada no cruzamento de uma linha com uma coluna, por exemplo: a geração de ruído na operação da atividade tem algum impacto na circulação de pedestres? Nesta avaliação, optou-se por preencher as quadrículas colorindo-as indicando apenas o grau de interferência. Ainda observando a **Figura 1** é possível verificar que quando a quadrícula foi colorida com vermelho, trata-se de uma grande interferência (quando as consequências são duradouras e severas. Este grau de interferência pode/ ou não serem desfeitos, porém trará sequelas para o meio), quando a quadrícula for colorida com amarelo, trata-se de uma pequena interferência (são interferências de impactos temporários, de médio a longo prazo e cíclicos) e quando não houver coloração, indica-se uma interferência nula (nesses casos o impacto gerado não modifica ou interfere o meio), onde não há alteração significativa no meio avaliado pela ação correspondente. Os resultados obtidos através da aplicação do método são discutidos posteriormente à aplicação e são representativos

da realidade daquele local específico. Ressalta-se que para a aplicação do método em outros locais, há a necessidade de adequação da ferramenta à realidade do ambiente em questão. Apesar da limitação e da pessoalidade, a Matriz de Leopold é considerada como um dos métodos mais completos de avaliação ambiental e representativo da realidade local, desde que seja aplicada de maneira correta e coerente, por equipes multidisciplinares.

### 3. Resultados

A aplicação da matriz apresentada encontra-se na **Figura 2**, onde pode-se verificar que cada ação teve uma única quadrícula marcada com grande interferência, o que por si só não permite identificar se há alguma mais evidente. No entanto, quando se analisa as quadrículas marcadas em amarelo é possível notar que (em ordem decrescente) podem ser organizadas, sendo que a escavação do solo é a mais impactante (com quatro quadrículas em amarelo), seguida pela geração de ruídos e resíduos (com três quadrículas amarelas), geração de vibração (com duas) e atividades de manutenção (com apenas uma). O que permite concluir que as alterações no relevo promovidas pela atividade minerária podem ser bastante evidentes no contexto socioambiental, assim como também verificado por Castro (2019).

**Figura 2.** Aplicação da Matriz de Leopold adaptada para na Luvás Mineradora.

		Ações impactantes				
		Geração de ruído / Poluição sonora	Geração de resíduos	Geração de vibração	Atividades de manutenção	Escavações do solo
Componentes afetados	Circulação de pedestres					
	Circulação de veículos					
	Utilização do solo					
	Paisagem urbana					
	Qualidade de vida					
	Comércios locais					

Interferência Nula   
 Pequena Interferência   
 Grande Interferência 



Observando os componentes do meio, verifica-se que a qualidade de vida da população, a utilização do solo e a paisagem urbana são as componentes indicadas com duas quadrículas por grande interferência, o que significa, que dos meios analisados, são os que demandam mais atenção. Assim como também observado por Castro (2019) que constatou que a qualidade de vida da população residente nas proximidades de mineradoras é comprometida. O uso do solo também chama a atenção, uma vez que, abertas as cavas, os possíveis usos futuros ficariam bastante restritos. No que tange à paisagem urbana, o cenário não é distinto, as possíveis ações promovidas impactariam não apenas ambientalmente, mas socialmente, o que restringiria uma área minerada de diversos usos futuros.

O comércio local recebeu coloração amarela em todas as quadrículas, o que indica que ele poderá ser influenciado por todas as ações, sejam influências positivas ou negativas, o que também demanda atenção. Esta influência comercial não se relaciona apenas com a geração de matéria prima para a venda (Castro, 2019), mas com toda circulação de pessoas. O aumento populacional ocasionado pela geração de empregos também movimenta o comércio local (Gomes, 2021).

Por fim, a atividade minerária traz consigo uma expectativa iminente de geração de renda, geração de empregos, movimentação comercial de insumos e especulação imobiliária também (Gomes 2021). Vale acompanhar para que os investimentos e o retorno financeiro sejam devidamente destinados à melhorias na qualidade de vida da população, como investimentos em educação, saúde e transportes, por exemplo.

#### 4. Considerações Finais

Conclui-se, portanto, que os impactos socioambientais são bastante evidentes, destacando-se o comprometimento da qualidade de vida da população que tornar-se-á diretamente afetada pela mineração. A abertura da cava para a mineração é apresentada como destaque dentre as ações consideradas também. Evidencia-se a necessidade de planos municipais que considerem os ambientes de instalações de empreendimentos minerários de modo a minimizar os impactos sociais. Muito se fala sobre impactos ambientais das mineradoras, como alteração de relevo, contaminação de recursos hídricos perda de qualidade do ar, entre outros, e por vezes os impactos socioambientais são deixados em segundo plano, podendo ser positivos, como a movimentação da economia (também considerada nesta avaliação), geração de renda e empregos na cidade e arredores, no entanto, a qualidade de vida (principalmente nas proximidades) é consideravelmente afetada.

É importante ressaltar ainda que após os crimes ambientais observados nos municípios de Mariana e Brumadinho, no estado de Minas Gerais, toda atividade minerária ganha maior evidência, principalmente pela população afetada (seja direta ou indiretamente). Assim, evidencia-se a importância de estudos como este (com maior robustez, dados, levantamento fotográfico e registros), que antecedem a instalação do empreendimento e que sejam

realizados por equipes capacitadas e comprometidas com a responsabilidade de garantir que o Artigo n.º 225 da Constituição Federal Brasileira se faça valer.

#### Referências

ARMSTRONG, M., PETTER, R., & PETTER, C. (2019). Why have so many tailings dams failed in recent years? *Resources Policy*, 63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101412> ASSIS

BANDEIRA, L. D. S.; DOUGLAS GOMES DE SOUZA, D.; ANDREIA DA SILVA SANTOS, J. Reflexos econômico-financeiros nas companhias responsabilizadas pela ocorrência de desastres ambientais. **ConTexto - Contabilidade em Texto**, Porto Alegre, v. 22, n. 50, p. 48–62, 2022. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ConTexto/article/view/122313>.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA N° 01, de 23 de janeiro de 1986.

CASTRO, M. T. A. C. Desafios globais da mineração em larga escala : uma análise dos códigos de conduta de responsabilidade social das multinacionais do setor. 2019. 139 f. Dissertação (Mestrado em Direito) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019

CIMM. Centro de Informação Metal Mecânica. Empresa investirá até R\$ 200 milhões em nova mineradora em Uberlândia. 2021

DIAS, E. G. C. S. Avaliação de impacto ambiental de projetos de mineração no estado de São Paulo: a etapa de acompanhamento. USP. Tese de doutorado. Departamento de Engenharia de Minas. São Paulo, 2001.

GOMES, R. C. Interferências do uso e ocupação do solo na qualidade das águas do Ribeirão das Pedras – Campinas/SP. Dissertação. Campinas: PUC-Campinas, 2017.

GOMES, R. C. Revegetação de áreas degradadas por mineração na Floresta Nacional do Jamari e sua relação com a qualidade das águas superficiais. Sorocaba: Unesp, 2021 153 f.

LEOPOLD, L. B.; CLARKE, F. E.; HANSHAW, B. B.; BALSLEY, J. R. A procedure for evaluating environmental impact. Geological Survey. Circular 645. Washington, 1971.

MORGAN, R. K. Environmental impact assessment: the state of the art. *Environment Impact Review*, v. 3, n.1, p 5-14, 2012.



RIBEIRO, A. I.; PERUSSO, F. C.; MEDEIROS, G. A.;  
LONGO, R. M.; PECHE FILHO, A. Proposta de  
diagnóstico ambiental de uma área degradada no parque  
Estadual do Juquery, Franco da Rocha – SP. III  
Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Goiânia. 2012.

ZANGIROLAMI, G. F.; LONGO, R. M. Avaliação da  
degradação ambiental do entorno da Mata do Quilombo  
(Campinas/SP) e proposta de recuperação. 2012. TCC  
(Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, CEATEC,  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas,  
2012.



# Uso de tecnologias para gestão hídrica em ambientes urbanos e cidades inteligentes

Stanley Cabral Cramolichi<sup>1</sup>, Julia Ramos Protásio<sup>2</sup>, Katia Sakihama Ventura<sup>3</sup>, Elza Luli Miyasaka<sup>4</sup>

1. Mestrando em Engenharia Urbana, stancramolichi@gmail.com, Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

2. Doutoranda e Mestre em Engenharia Urbana, eng.juliaprotasio@gmail.com, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar

3. Doutora em Hidráulica e Saneamento e docente do PPGEU, katiav@ufscar.br, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar

4. Doutora em Tecnologia e docente do PPGEU, elza.miyasaka@ufscar.br, Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

**Resumo:** A gestão dos recursos hídricos para o desenvolvimento urbano e a qualidade de vida nas cidades pode ser incentivada com a aplicação de tecnologias inteligentes para enfrentar os desafios da escassez de água, poluição ambiental e mudanças climáticas em áreas urbanas. O objetivo deste artigo foi investigar os usos de tecnologias para gestão hídrica em ambientes urbanos e cidades inteligentes. A metodologia utilizada foi baseada em revisão bibliográfica e análise documental em dados secundários. O produto da análise bibliográfica resultou em um universo de 35 artigos, após a aplicação e atendimento dos critérios de inclusão, a amostra finalizada foi de 12 pesquisas. Os resultados das pesquisas analisadas evidenciaram o uso de geoprocessamento, sistemas baseados em *Internet of Things* (IoT) e *Machine Learning* como os condutores tecnológicos primordiais para disponibilização de dados em tempo real, a fim de contribuir para gestão eficiente de recursos hídricos no ambiente urbano e para cidades inteligentes. A principal limitação é que as pesquisas não apontaram o custo operacional para implantação das tecnologias observadas, o que seria essencial em estudos futuros.

**Palavras-chave:** *Smart Water Management, Water Resources, Technologies.*

## 1. Introdução

Os efeitos das mudanças climáticas, da escassez e do aumento da população nas áreas urbanas contribuem para a crescente necessidade de uma gestão sustentável no setor de recursos hídricos (Sachidananda *et al.*, 2016).

A gestão dos recursos hídricos para cidades inteligentes ganha importância significativa quanto aos princípios da sustentabilidade financeira e ambiental, independentemente do domínio específico no setor hídrico (Ramos *et al.*, 2019).

Cidades inteligentes são caracterizadas por investimento em capital humano e social, promovendo o uso das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) como instrumento facilitador do crescimento econômico sustentável com foco na melhoria da qualidade de vida da população residente. Isso, por sua vez, possibilita uma gestão mais eficaz do setor energético e hídrico (Lombardi *et al.*, 2012). No setor dos recursos hídricos, a criação de tecnologias para previsão, planejamento e gestão tem

promovido coleta extensa de dados para armazenamento em diversas bases de dados (Jeong *et al.*, 2021).

Entretanto, apesar do potencial de sua utilização, a gestão inteligente de recursos hídricos, sobretudo quanto ao tratamento e distribuição de água potável, ainda se mostra como um desafio contemporâneo no Brasil. Com relação às perdas de água na rede de distribuição, o Atlas da Água, elaborado pela Agência Nacional de Águas (ANA), revela que 22% das sedes municipais urbanas fazem uso ineficiente dos recursos (Classe D); 13% necessitam reduzir vazamentos (Classe C) e 19% apresentam potencial de melhoria significativa (Classe B). Os demais 46% ainda carecem de análise criteriosa para confirmar a efetividade de melhorias (Classe A2) (Brasil, 2021).

A gestão inteligente da água tem como objetivo a administração sustentável e autossuficiente dos recursos hídricos em âmbito regional ou municipal (Ramos *et al.*, 2019). O objetivo deste artigo foi investigar os usos de tecnologias para gestão hídrica em ambientes urbanos e cidades inteligentes.

## 2. Método

Neste estudo, adotou-se uma abordagem baseada na revisão bibliográfica e na análise documental. A finalidade dessa abordagem foi verificar o tipo de tecnologia proposto para a Gestão de Água Inteligente nos documentos analisados e seus respectivos resultados para a eficiência da distribuição de recursos hídricos.

O levantamento bibliográfico abrangeu os seguintes temas: Gestão de Água Inteligente, Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos, Cidades Inteligentes, Planejamento Urbano, Resiliência Hídrica e Urbana, incluindo a Implementação de Tecnologias e Práticas Inovadoras na Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos em Ambientes Urbanos.

Os critérios de inclusão de artigos para análise foram: i) artigos de engenharia com palavras-chaves “smart city”, “water management” e “water supply”; ii) devido à evolução dos avanços tecnológicos, o período da pesquisa foi de 2015 a 2023; iii) referências amplamente conceituadas, mesmo em períodos anteriores, por sua relevância científica, citações de outros autores, credibilidade na fonte bibliográfica, e maior impacto e visibilidade do artigo; iv) leitura do resumo de cada artigo, buscando identificar relação do artigo com a temática desta pesquisa.

Em cada artigo foram analisadas as seguintes informações: relevância e justificativa de investimento tecnológico para gestão de recursos hídricos; benefícios econômicos com o



uso de tecnologias neste sentido; tipos de tecnologias e ferramentas em recursos hídricos adotadas em “*smart cities*” para otimizar recursos e ganho temporal; modelos, ferramentas e sistemas de apoio à decisão no setor de águas inteligentes; e benefícios resultantes da coleta contínua de dados relacionados aos recursos hídricos.

Do total de artigos selecionados pelas *strings* iniciais, aplicam-se os critérios, obtendo-se, por fim, o número de artigos analisados.

As principais bases para a obtenção de dados e informações foram *Scopus* (4 bibliografias), *Google Scholar* (25 bibliografias), *Web of Science* (5 bibliografias) e livro disponível na Biblioteca Virtual da Universidade Federal de São Carlos (1 bibliografia).

As principais *strings* utilizadas nas buscas, individuais ou em associação foram: Cidades Inteligentes, Recursos Hídricos, Cidades inteligentes, *Smart Cities*, *Smart Water Management*, Planejamento Urbano, Resiliência Hídrica, Resiliência Urbana, Vulnerabilidade Hídrica. Estes termos foram utilizados com os operadores lógicos booleanos de “e/ou”, nas línguas portuguesa e inglesa, associados em dupla ou trio.

### 3. Resultados

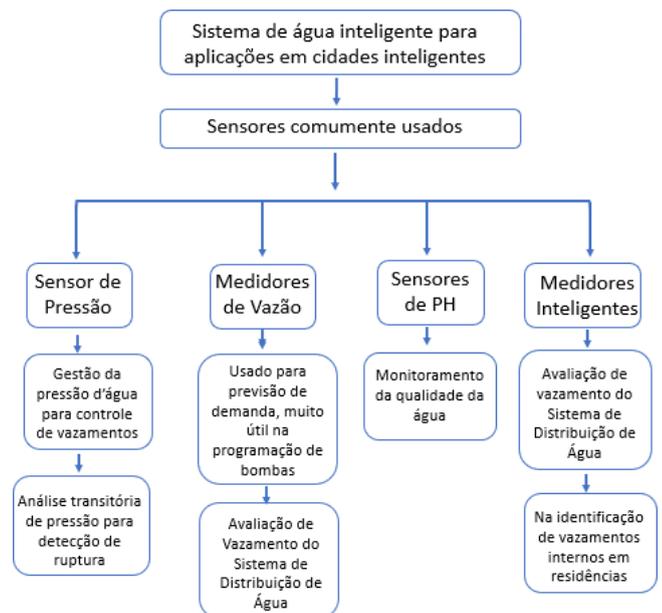
A análise bibliográfica resultou em um universo de 35 artigos, após a aplicação e atendimento dos critérios de inclusão, a amostra finalizada foi de 12 pesquisas, das quais são apresentadas as informações relevantes a seguir. Durante as últimas décadas, regiões globais têm enfrentado o aumento da demanda por água, desafios relacionados à poluição das fontes hídricas e pressões significativas sobre os recursos hídricos. A busca por maior eficiência, a abordagem interligada entre água e energia e o controle de perdas de água por meio de uma gestão mais precisa da pressão e da implementação de tecnologias inteligentes são considerados passos cruciais em direção a uma gestão hídrica sustentável (Ramos *et al.*, 2019).

Desta maneira, a adoção de tecnologias de em um sistema de água inteligentes capacita as empresas de serviços públicos a construir bases de dados abrangentes para identificar áreas suscetíveis a perdas de água e conexões clandestinas, além de oferecer benefícios econômicos significativos para a preservação de água e energia, ao mesmo tempo em que aprimoram a eficiência do serviço prestado aos clientes (Ramos *et al.*, 2019).

Uma, entre outras tecnologias, é o Sistema de Informação Geográfica (SIG), que desempenha um papel fundamental na gestão inteligente da água. Eles fornecem informações completas sobre os componentes da rede hídrica e suas localizações espaciais. Essa ferramenta é útil para elevar a qualidade do planejamento e da gestão dos sistemas hídricos, incorporando elementos espaciais em modelos que simulam a realidade e fazem a previsão de cenários. A principal vantagem do SIG é a capacidade de criar simulações baseadas em dados geograficamente referenciados, abrangendo desde a coleta até a

apresentação de informações (Sharmavelle *et al.*, 2017; Ramos *et al.*, 2019).

A utilização de modelos, ferramentas de otimização e sistemas de apoio à decisão também são ferramentas que otimizam o suporte ao setor de águas inteligentes. A adoção de um sistema de medição de desempenho padronizado com indicadores relevantes e interfaces de apoio à decisão pelas entidades responsáveis permite às partes interessadas avaliar melhorias, construir confiança e monitorar o progresso. Neste sentido, ter conhecimento de previsões confiáveis de demanda de curto prazo é crucial para desenvolver abordagens e tomar decisões em tempo real em sistemas de gestão de água inteligentes (Gurung *et al.*, 2015). Gupta *et al.* (2019) identificou os principais tipos de sensores utilizados em sistemas de água inteligentes, ilustrado na Figura 1.



**Figura 1** - Sensores comumente usados em sistemas de água inteligentes. Fonte: Gupta *et al.* 2020 (traduzido).

O esquema ilustrado na Figura 1 facilita a compreensão da estrutura da análise da água e quais os respectivos sensores adequados para atuação em cada etapa.

Algumas das principais vantagens associadas à gestão de água inteligente permitem uma compreensão mais profunda do sistema hídrico, permitindo a detecção eficaz de vazamentos e aprimoramento da qualidade da água (Ramos *et al.*, 2019).

A implementação de sistemas de gestão de água inteligente com base na *Internet of Things* (IoT) oferece soluções acessíveis e escaláveis. A adoção de plataformas IoT proporciona um acesso conveniente para monitoramento e controle remoto, no qual a utilização de sensores de custo reduzido simplificam a avaliação da qualidade da água em relação a diversos contaminantes, e são tecnologias de comunicação amplamente utilizadas que possibilitam a



integração em sistemas existentes com pouca necessidade de configuração (Singh & Ahmed, 2021).

No que se refere ao controle de dados e informações sobre o sistema de gestão inteligente de águas, Jeong *et al.* (2021) observaram em estudos anteriores que frequentemente a implementação deste controle tinha prática limitada. Assim, utilizando um estudo de caso como base na cidade de Daecheong Dam Basin, na Coreia do Sul, os autores desenvolveram um processo eficiente para validar dados hidrológicos, identificando informações faltantes e falsas de maneira precisa, através de combinações diferentes de métodos de validação. Além disso, desenvolveram um sistema de controle de qualidade que vincula a validação e a correção dos dados, alcançando alta confiabilidade. Os resultados sugerem que essa abordagem pode melhorar o controle de qualidade dos dados hidrológicos de forma prática e confiável.

Já Chandrappa *et al.* (2020) realizaram a aplicação da internet das coisas (IoT) e machine learning em parques verdes da cidade australiana de Cairns. Por meio de sensores eletromagnéticos duplos (DUAL-EM), uma rede de área ampla e baixa potência (LoRaWAN), uma microestação meteorológica (ATMOS 41), o sistema monitora a área do parque em tempo real, avaliando os diferentes teores de umidade em cada um dos pontos específicos do parque e determinando as características de irrigação ideais para as respectivas áreas; reduzindo o consumo excessivo de água em irrigação e mitigando a lixiviação do solo.

Na avaliação do controle da qualidade na água no aspecto físico-químico, Nanda *et al.* (2021) propuseram a elaboração de um sistema completo utilizando sensores para análise de parâmetros físicos e químicos da água como pressão, temperatura, turbidez da água, condutividade, vazão, pH e umidade do solo. Os sensores são conectados a um hardware equipado com software para o pré-processamento das informações que serão enviadas posteriormente a serviços de IoT baseados em nuvem para análise e comunicação de estatísticas de uso a fim de controlar os sistemas de processamento. O estudo indica que o sistema proposto pode reduzir o desperdício enquanto fornece informações sobre a qualidade da água. O sistema proposto por Alam *et al.* (2021) se assemelha ao modelo visto anteriormente, no qual sugerem um sistema baseado em IoT constituído de conjunto de sensores, minicomputador e servidor em nuvem; fornecendo dados em tempo real que podem ser acessados em qualquer lugar. Os autores inferem que a gestão inteligente da água impacta positivamente na produtividade, permitindo rastreamento, monitoramento e melhoria contínua. O sistema proposto se apresenta como versátil, econômico e personalizável para aplicações residenciais, industriais e agrícolas com a ressalva da fragilidade do microcontrolador, cujo circuito precisa ser elaborado detalhadamente.

Contrapondo, de certa forma, as experiências apresentadas até então, Stein *et al.* (2023) trabalharam sobre dois

estudos de caso (Paris e Berlim) para investigar o potencial das soluções digitais no sentido de dar visibilidade à gestão da água em meio urbano, aumentando a consciência sobre questões específicas de gestão desse recurso. Os autores analisam os estudos de caso sob método de abordagem mista e concluem que a participação efetiva do cidadão na gestão dos recursos hídricos ficou mais evidente no caso de Paris, que permite ao utilizador o envio de *feedback* aos gestores enquanto o sistema adotado em Berlim é meramente expositivo quanto aos dados da qualidade da água.

Ainda que possa haver essa interação bilateral no caso de Paris, a pesquisa levanta uma crítica às políticas públicas de ambos os casos direcionadas ao tema pois dificultam a implementação de medidas que possam transcender a função simplesmente informativa. Os autores supracitados reconhecem as limitações do estudo, bem como a complexidade de se adotar métodos que possam evidenciar o impacto das soluções digitais para o envolvimento público, embora argumentem que a aceitação pública dos serviços digitais pode ser alcançada com uma aproximação clara e profunda do usuário nos benefícios possíveis dessa estratégia.

Antzoulatos *et al.* (2020) propõem uma estrutura unificada para a gestão da água urbana por meio de soluções de IoT aplicadas na telemetria remota e no controle do consumo de água em combinação com processos baseados em *machine learning*, que, segundo Carbonell *et al.* (1983), compreende o conceito de estudo e a modelagem computacional dos processos de aprendizagem em suas múltiplas manifestações, constituindo o aprendizado de uma máquina.

A principal conclusão foi que os serviços de telemetria e controle remoto em tempo real são viáveis através de uma rede fixa sem fio e bidirecional, que pode gerenciar mensagens de múltiplos protocolos e padrões (wM-Bus, LoRaWAN, NB-IoT, GSM). Apesar dos dados preliminares serem encorajadores, destaca-se a necessidade de estudos adicionais no sentido de avaliar a performance em toda a tubulação. Estima-se que a coleta contínua de dados, as estatísticas tornam-se mais robustas a fim de determinar os perfis de consumo dos consumidores (Antzoulatos *et al.*, 2020).

Diante do apresentado, destaca-se que implementar um sistema de gestão de águas inteligente é a necessidade do momento para cidades inteligentes (Singh & Ahmed, 2021), melhorando a sustentabilidade e gestão dos recursos hídricos, bem como a política de cidades inteligentes adequadamente adaptada, considerando as diferentes restrições de cada localidade em que os sistemas serão implementados (Gupta *et al.*, 2019; Ramos *et al.*, 2019).

#### 4. Considerações Finais

Os resultados apontam que os avanços tecnológicos no universo da gestão inteligente dos recursos hídricos seguem na direção da implementação de sistemas baseados na Internet das Coisas, da aplicação do conceito



de aprendizado das máquinas (*machine learning*) e do processamento de dados em tempo real. Com isso, os resultados das pesquisas analisadas ilustraram otimização de processo na distribuição de água tratada e melhorias na conscientização pública e caracterização de perfil do consumidor, bem como em atividades de irrigação de áreas verdes. As conclusões dos estudos abordaram a economia dos serviços e de custos operacionais ao passo que implementa medidas de gestão hídrica para mudanças de paradigma (sustentabilidade, resiliência e oferta de serviço) sobre inovação tecnológica e ganhos no sistema produtor de água.

Cabe destacar que o custo por habitante para a implantação de indicadores e sensores para medição de dados com tecnologia baseada em IoT deve ser investigado e aprofundado em futuros trabalhos, pois servirá de subsídio à tomada de decisão à gestão hídrica para cidades inteligentes.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## Referências

ALAM, Md Nazmul *et al.* Efficient smart water management system using IoT technology. In: **2021 International Conference on Automation, Control and Mechatronics for Industry 4.0 (ACMI)**. IEEE, 2021. p. 1-6.

ANTZOULATOS, Gerasimos *et al.* Making urban water smart: the SMART-WATER solution. **Water Science and Technology**, v. 82, n. 12, p. 2691-2710, 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. Atlas águas: **segurança hídrica do abastecimento urbano**. Brasília - DF: ANA, 2021.

CARBONELL, Jaime G.; MICHALSKI, Ryszard S.; MITCHELL, Tom M. An overview of machine learning. **Machine learning**, p. 3-23, 1983.

CHANDRAPPA, Varun Yarehalli *et al.* Application of internet of things (iot) to develop a smart watering system for cairns parklands—a case study. In: **2020 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)**. IEEE, 2020. p. 1118-1122.

GURUNG, Thulo R., STEWART, Rodney A., BEAL, Cara D., SHARMA, Ashok K. Smart meter enabled water end-use demand data: platform for the enhanced infrastructure planning of contemporary urban water supply networks. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, p. 642-654, 2015.

JEONG, Gimoon; YOO, Do-Guen; KIM, Tae-Woong; LEE, Jin-Young; NOH, Joon-Woo; KANG, Doosun. Integrated Quality Control Process for Hydrological Database: A Case Study of Daecheong Dam Basin in South Korea. **Water**, v. 13, n. 20, p. 2820, 2021.

LOMBARDI, Patrizia; GIORGINAO, Silvia; FAROUH, Hend; YOUSEF, Wael. Modelling the smart city performance. **Innovation: The European Journal of Social Science Research**, v. 25, n. 2, p. 137-149, 2012.

NANDA, Ipseeta *et al.* Design and real time implementation of SmartWater management using LabVIEW and IoT. In: **2021 International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy (ICCIKE)**. IEEE, 2021. p. 524-528.

RAMOS, Helena M.; MCNABOLA, Aonghus; LÓPEZ-JIMÉNEZ, P. Amparo; PÉREZ-SÁNCHEZ, Modesto. Smart water management towards future water sustainable networks. **Water**, v. 12, n. 1, p. 58, 2019.

SACHIDANANDA, Madhu; WEBB, D. Patrick; RAHIMIFARD, Shahin. A concept of water usage efficiency to support water reduction in manufacturing industry. **Sustainability**, v. 8, n. 12, p. 1222, 2016.

SHARVELLE, Sybil; DOZIER, Andre, ARABI, Mazdak, REICHEL, Brad. A geospatially-enabled web tool for urban water demand forecasting and assessment of alternative urban water management strategies. **Environmental modelling & software**, v. 97, p. 213-228, 2017.

SINGH, Manmeet; AHMED, Suhaib. IoT based smart water management systems: A systematic review. **Materials Today: Proceedings**, v. 46, p. 5211-5218, 2021.

STEIN, Ulf *et al.* Making urban water management tangible for the public by means of digital solutions. **Sustainability**, v. 15, n. 2, p. 1280, 2023.



## Análise Multicritério e Geoprocessamento no Planejamento do Sistema de Espaços Livres Urbano

Renata Michelon Cocco<sup>1</sup>, Raquel Weiss<sup>2</sup>, Luis Guilherme Aita Pippi<sup>3</sup>

1. Doutoranda, renatamcocco@gmail.com, Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo
2. Doutora, raquel.weiss@ufsm.br, Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul
3. Doutor, luis.g.pippi@ufsm.br, Universidade Federal de Santa Maria

**Resumo:** Este trabalho visa apresentar o planejamento do Sistema de Espaços Livres da cidade média de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil com enfoque nos espaços livres de lazer e recreação potenciais da cidade através da aplicação da metodologia de Análise Multicritério e do Processo de Hierarquia Analítica (AHP). A Análise Multicritério e o método AHP permitem a atribuição de valores ou pesos estatísticos às variáveis de pesquisa, tendo como objetivo reunir atributos distintos de avaliação em uma só análise, como áreas de preservação ambiental com áreas de patrimônio cultural, vazios urbanos ou ainda, importantes eixos de mobilidade para a cidade. No presente estudo, foram elencados sete critérios de pesquisa fundamentais para a delimitação de praças e parques futuros, tendo como base de dados em Sistema de Informação Geográfica (SIG), a leitura dos condicionantes biofísicos e construídos de Santa Maria, ou seja, as infraestruturas naturais, construídas, socioculturais e socioeconômicas. A partir dos mapeamentos, conclui-se que análises quali-quantitativas como o método multicritério é de fundamental relevância para o estudo das paisagens urbanas, principalmente para a elaboração e revisão de planos urbanísticos, os quais devem estar pautados na gestão sustentável do solo.

**Palavras-chave:** espaços livres potenciais, análise de decisão multicritério, Sistema de Informação Geográfica.

### 1. Introdução

No processo de urbanização contemporâneo, além das dinâmicas econômicas e migratórias, as cidades médias passam por um novo processo de reestruturação, do qual se destaca o conflito entre a disputa por territórios pelo capitalismo de ponta, o agravamento da dispersão urbana, as desigualdades socioespaciais e os desafios para a sustentabilidade ambiental (CHATEL, SPÓSITO, 2015; BELLET et al., 2015; SPÓSITO, 2001).

Neste contexto de crescimento significativo, as cidades médias têm apresentado baixo rigor de gerenciamento urbano municipal se comparado às cidades maiores, o que implica na acelerada desqualificação dos seus espaços livres e na utilização dos recursos ambientais como forma de suprir as necessidades dos seus habitantes (COCOZZA, ALBIERI, 2022; PIPPI et al., 2018; ANGEOLETTO et al., 2016). No que tange aos espaços livres de lazer e recreação, parte integrante do conjunto de demais espaços livres de edificação, o Sistema de Espaços Livres (SEL), bem como a qualidade, a distribuição e a oferta de praças

e parques públicos tem sido afetada em detrimentos da expansão de loteamentos, condomínios e da própria rede viária (COCOZZA, ALBIERI, 2022).

O SEL é primordial e vital como infraestrutura verde para a cidade e se sustenta pela vinculação funcional e ambiental entre os seus espaços, já que fisicamente somente os espaços públicos estão conectados entre si através das ruas. Já as áreas vegetadas e permeáveis do SEL, apesar de separadas espacialmente, são de extrema importância para os eventos ambientais, pois inclui os recursos hídricos, as florestas, as superfícies de drenagem e os ecossistemas urbanos (MACEDO et al., 2018).

Desse modo, entre os métodos mais utilizados para avaliar os atributos da paisagem e do seu Sistema de Espaços Livres, seja para prevenir problemas ambientais ou indicar potencialidades de uso do território, se destaca o emprego da Análise de Decisão Multicritério ou Multicriteria Decision Analysis. Nas metodologias de análise e planejamento ecológico da paisagem apoiada em um Sistema de Informações Geográficas é necessário estar em contato constante com o processo decisório. A Análise de Decisão Multicritério é considerado um modelo de apoio à tomada de decisão delimitada por um conjunto básico de vários critérios que podem ser medidos e avaliados. Frequentemente esta ferramenta metodológica tem sido utilizada com o propósito de auxiliar profissionais ou organizações em situações nas quais é necessário identificar prioridades de forma transparente e coletiva a partir da apresentação de diferentes alternativas (GOMES, GOMES, 2014; LANG, BLASCHKE, 2009).

A cidade de médio porte de Santa Maria, localizada no centro do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), possui conflitos e potencialidade muito semelhantes às demais cidades médias brasileiras, principalmente no que se refere à fragmentação acelerada do SEL, assim como à insuficiência de espaços públicos em termos de quantidade, raio de atendimento, tamanho, conectividade, acessibilidade e qualidade paisagística. Somado a isso, não há uso de geotecnologias em prol da caracterização de novos espaços livres, deixando os mesmos à mercê da especulação imobiliária e da ocupação irregular de Áreas de Preservação Permanente (APPs).

Em relação às potencialidades, Santa Maria possui como presença marcante na paisagem natural os morros no cenário urbano da cidade a norte, bem como a predominância das elevações planas e onduladas onde se localizam a mancha urbana e as áreas de campo do bioma Pampa. Além dos morros com presença de mata Atlântica na porção norte da cidade, possui os morros testemunhos

com a presença de sítios fossilíferos ao centro (Morro Cerrito e Morro Mariano da Rocha), áreas com grandes estoques de vegetação arbórea e vasta rede hidrográfica. Já as regiões sul, leste e oeste caracterizam-se predominantemente por campos e planícies alagadas de vegetação rasteira e arbustiva com a presença de mananciais. A paisagem construída é caracterizada pelo tecido urbano bastante adensado e verticalizado na área central, onde se concentra o patrimônio cultural edificado provenientes da implantação da ferrovia no início do século XX, bem como a maioria dos espaços livres de lazer e recreação públicos.



Figura 1 – Localização de Santa Maria, RS, Brasil

Nesse sentido, o presente trabalho tem como premissa o apontamento dos espaços livres públicos potenciais destinados ao lazer e recreação da população, como praças, parques, largos, ciclovias, canteiros centrais de avenidas, entre outros. A partir do diagnóstico atual dessas áreas e da escolha de sete critérios de análise no escopo das dinâmicas físico-ambientais, sociais, histórico-culturais e da mobilidade, tem-se como resultado o mapa-síntese de áreas potenciais. Esse mapa, resultado da interpolação dos critérios, aponta novas possibilidades para o planejamento de um Sistema de Espaços Livres embasado em múltiplos critérios de análise, contrariando assim, a atual inexistência de atributos paisagísticos de avaliação do então Plano Diretor de Santa Maria, revisado no ano de 2019.

## 2. Metodologia

Para a identificação das áreas potenciais para lazer e recreação na cidade de Santa Maria (RS) foi escolhido o método de Análise Multicritério. A partir do problema a ser resolvido e os objetivos a serem alcançados, o pesquisador elenca as variáveis necessárias para o seu estudo através de árvores de decisão. Sendo assim, foram elencados sete critérios de pesquisa fundamentais para a delimitação de praças, parques ou outros tipos de espaços de lazer e recreação futuros, tendo como base de dados em geoprocessamento, a leitura dos condicionantes biofísicos e construídos de Santa Maria, ou seja, as infraestruturas naturais, construídas, socioculturais e socioeconômicas. De acordo com a Figura 2, os sete critérios de pesquisa estão ilustrados com as suas respectivas classes.

- 1) Critério 1: Áreas de Preservação Permanente (APP) dos Recursos Hídricos.
- 2) Critério 2: Áreas Especiais Naturais.
- 3) Critério 3: Vazios Urbanos.
- 4) Critério 4: População.

- 5) Critério 5: Renda.
- 6) Critério 6: Espaços Livres de Interesse Histórico, Patrimonial e Cultural.
- 7) Critério 7: Espaços Livres de Circulação.

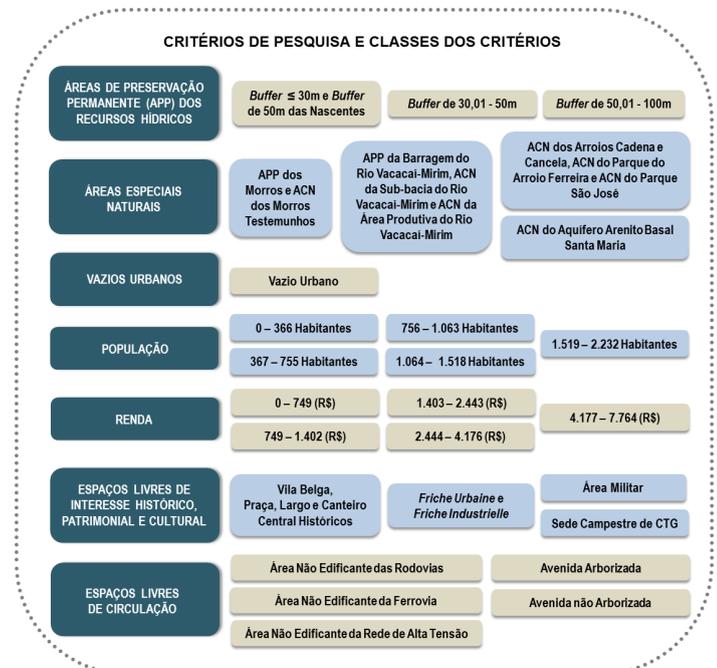


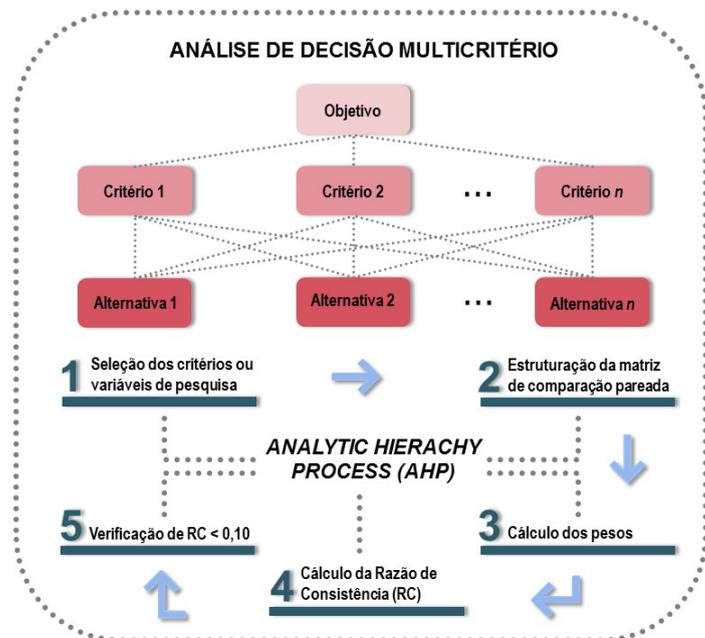
Figura 2 - Organização dos critérios e classes de análise

Após a definição e justificativa destes critérios foram atribuídas notas de 0 a 10 às classes de cada critério para gerar os mapas temáticos iniciais. E por fim, conforme os diferentes graus de importância elencados para cada critério são atribuídos os pesos para ter ao final do estudo o mapa síntese que traz a análise quali-quantitativa integrada dos dados espaciais relevantes para o problema em questão (FOLLMANN, 2018).

Para a validação dos pesos utiliza-se no âmbito da análise multicritério, o Processo de Hierarquia Analítica ou Analytic Hierachy Process (AHP), modelo proposto por Thomas Wharton em 1977 e muito utilizado na análise de múltiplos critérios pelos estudos de Thomas Saaty. A AHP se baseia em três princípios: construção de hierarquias de critérios, definição de prioridades (julgamento por pares) e consistência lógica.

O método AHP é necessário para a verificação da consistência de avaliação da análise, isto é, da coerência dos pesos através do cálculo da Razão de Consistência (RC) que deve estar compreendido entre os valores 0 e 0,10 para satisfazer as simulações espaciais. No caso do planejamento da paisagem, a hierarquização das variáveis através de pesos é um instrumento importante para definir e valorar regiões quanto à sua sensibilidade/fragilidade ecológica e/ou antrópica ou ainda, quanto ao seu potencial/atratividade em diferentes graus de importância: extremamente alta, alta, média, baixa e extremamente baixa. Por exemplo, estas potencialidades podem estar atreladas a diferentes níveis de conservação e preservação

ambiental ou ainda, potencial uso para atividades de lazer e recreação (LYLE, 1999; MCHARG, 1969). A Figura 3 mostra o exemplo de escolha, justificativa e hierarquização dos critérios e as demais etapas da matriz AHP (SAATY, VARGAS, 1979).



**Figura 3** – Diagrama conceitual da análise de decisão multicritério pelo método AHP

Para a espacialização da análise, a ferramenta de geoprocessamento utilizada foi o software ArcGIS 10.4.1®, Sistema de Coordenadas SIRGAS 2000 UTM Zona 22S, de acordo com a base dados do Instituto de Planejamento de Santa Maria (IPLAN) a partir da aero imagem do ano de 2019. De acordo com o estudo de Guirra, Yallouz e Silva (2020), o uso das geotecnologias no planejamento e gestão das cidades médias em pesquisas científicas ainda é muito tímido em comparação à contribuição social e econômica que estas ferramentas trazem quando bem aplicadas por estudantes ou gestores municipais. O estudo mostra que as geotecnologias equivalem a 7,9% das publicações sobre planejamento urbano e as cidades médias a 0,15% das pesquisas de geotecnologias e planejamento urbano. Nesse âmbito, métodos de análise com SIG tem sido uma lacuna de estudo em pesquisas acadêmicas e Planos Diretores mais assertivos na delimitação de tendências de ocupação da paisagem urbana. Nesse contexto, a aplicação de multimétodos de análise deve ser incentivada e incorporada na prática acadêmica e profissional para que se torne um método natural de estudo das paisagens.

### 3. Resultados

As variáveis se destacam pela possibilidade de estabelecer áreas públicas de lazer e a recreação na cidade através de atribuição de pesos aos diferentes critérios. Os pesos validados pela matriz AHP estão discriminados na Tabela 1, conforme o grupo de critérios da paisagem natural, dinâmicas socioeconômicas e paisagem construída.

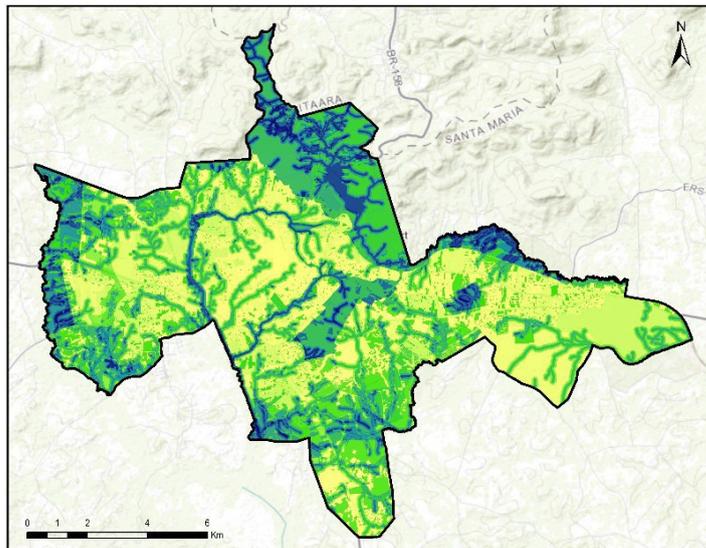
**Tabela 1** – Pesos atribuídos aos critérios

CRITÉRIOS DE CARÁTER NATURAL		PESOS	(%)
APP	Áreas de Preservação Permanente (APP) dos Recursos Hídricos	0,29	29%
AEN	Áreas Especiais Naturais	0,29	29%
VU	Vazios Urbanos	0,18	18%
CRITÉRIOS DE CARÁTER SOCIOECONÔMICO		PESOS	(%)
POP	População	0,08	8%
REN	Renda	0,08	8%
CRITÉRIOS DE CARÁTER PATRIMONIAL E DA MOBILIDADE		PESOS	(%)
ELIHPC	Espaços Livres de Interesse Histórico, Patrimonial e Cultural	0,05	5%
ELC	Espaços Livres de Circulação	0,03	3%

O mapa resultado aponta as áreas de lazer e recreação potenciais da cidade média de Santa Maria em quatro níveis de potencialidade – baixa, moderada, alta e extrema potencialidade, conforme mostra a Figura 4.

Os resultados demonstram que as áreas com alta potencialidade constituem atualmente grandes estoques de floresta urbana por se localizarem ao longo de Áreas de Preservação Permanente (APP) de rios e áreas de morros com Mata Atlântica preservada, mas que já possuem bordas recortadas pela ocupação humana. A grande potencialidade desses espaços livres só reforça a configuração de Santa Maria como um grande SEL, em forma de pequenos arroios urbanos, que ainda resistem a projetos de canalizações ou retirada total de suas matas ciliares. Estas áreas foram consideradas de maior peso na análise, justamente por esta importância hídrica que possuem, principalmente porque estão sobre a zona de recarga do Aquífero Arenito Basal, nas porções oeste e sul da cidade e a norte, onde se localizam a maioria das nascentes, em meio aos morros do rebordo do Planalto. Sendo assim, as áreas naturais de preservação e conservação devem ser analisadas em escalas mais aproximadas para a elaboração de projetos de parques para os bairros e, principalmente, de parques setoriais para a cidade como um todo.

Os espaços livres de média potencialidade se caracterizam como os espaços de vazios urbanos. Nota-se que esses vazios coincidem com as áreas menos povoadas, com estoque de campos e várzeas alagadas, onde os bairros são mais populosos e mais pobres em termos de renda per capita. Quando estas áreas de grandes vazios coincidem com a vegetação presente nos rios, elas são de alta potencialidade, pois além de serem amplas áreas livres e abertas para futuros parques em áreas carentes, elas estão agregando a função de conexão na forma de corredores verdes, azuis e ecológicos.



Sede Urbana de Santa Maria, RS  
Espaços Livres de Lazer e Recreação Potenciais

**Legenda**  
 Perímetro Urbano

**Grau de Potencialidade**  
 Extrema Potencialidade  
 Alta Potencialidade  
 Moderada Potencialidade  
 Baixa Potencialidade

Definido e Elaborado por: J. G. S. 2023  
 Base de Dados: Google Earth, 2023 (17/02/2023)  
 Sistema de Informação Geográfica: ArcGIS 10.8.1  
 Fonte de Dados: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2019

**Figura 4 – Espaços Livres de Lazer e Recreação Potenciais para a cidade de Santa Maria, RS, Brasil**

Por fim, os critérios de caráter construído, ou seja, do patrimônio histórico-cultural e da mobilidade, têm baixa prioridade por serem áreas consolidadas e que sofrem rápidas e grandes transformações antrópicas ao longo do tempo. Apesar da baixa potencialidade em detrimento dos demais critérios, os espaços livres de circulação possuem função nítida de conexão entre os espaços livres dos outros graus de potencialidade. Assim, corredores cinzas - como rodovias, ferrovias e redes de alta tensão - podem ser considerados como estratégias secundárias de conectividade dentro do SEL.

#### 4. Considerações Finais

Conclui-se que as variáveis se destacam pela possibilidade inovadora de estabelecer áreas públicas de lazer e a recreação como novas infraestruturas para Santa Maria através de eixos e nós com fortes características de conectividade, acessibilidade, preservação natural e patrimonial, mobilidade, raio de abrangência, localização estratégica, escala de tamanho, bem como densidade populacional e demanda socioeconômica. Quanto mais critérios de análise houver, mas completas, diversificadas e assertivas se tornam as tomadas de decisão dos gestores. Além disso, a metodologia de cruzamento de múltiplas variáveis visa reduzir os custos e o tempo de planejamento de locais adequados se comparado às metodologias tradicionais. A partir deste grupo de critérios, podem-se somar estudos realizados por pesquisas anteriores, como análises de fragilidade ambiental quanto a enchentes e desmoronamentos e a identificação das áreas prioritárias à conservação ambiental de Santa Maria, por exemplo. Logo, esse estudo demonstra a importância de planejar a cidade e seu Sistema de Espaços Livres com embasamento teórico e rigor metodológico, pois somente a

partir da construção de cenários, sejam eles reais, ideais ou potenciais é que se é possível planejar a paisagem e traçar políticas públicas de intervenção na escala urbana, como planos de áreas verdes que apontem os espaços livres de preservação, os espaços livres de lazer e recreação potenciais e também, os espaços livres de interesse ao parcelamento do solo e de expansão viária.

#### Referências

- ANGEOLETTO, F. *et al.* Tipologia socio-ambiental de las ciudades medias de Brasil: aportes para un desarrollo urbano sostenible. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 8, n. 2, p. 272-287, 2016.
- BELLET, C. *et al.* **Urbanización, producción y consumo em ciudades medias/ intermedias.** Urbanización, producción y consumo em cidades médias/ intermediárias. Lleida: Universitat de Lleida, 2015. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=yy72CQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=cidade s+m%C3%A9dias+brasileiras+SPOSITO&ots=pgk26rocnr &sig=hKitu1dTxxuaChjJsU5D\\_FXRHBTc#v=onepage&q=cidades%20m%C3%A9dias%20brasileiras%20SPOSITO&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=yy72CQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=cidade s+m%C3%A9dias+brasileiras+SPOSITO&ots=pgk26rocnr &sig=hKitu1dTxxuaChjJsU5D_FXRHBTc#v=onepage&q=cidades%20m%C3%A9dias%20brasileiras%20SPOSITO&f=false)>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- CHATEL, C.; SPÓSITO, M. E. B. Forma e dispersão urbanas no Brasil: fatos e hipóteses primeiros resultados do banco de dados Brasipolis. **Revista Cidades**, n. 21, p. 108-152, 2015. Disponível em: <<http://revista.fct.unesp.br/index.php/revistacidades/article/viewFile/4870/3543>>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- COCOZZA, G. de P.; ALBIERI, L. **Sistemas de espaços livres em cidades médias brasileiras** [recurso eletrônico]. Uberlândia: Sibipiruna, 2022.
- FOLLMANN, F. M. **Áreas prioritárias à conservação ambiental em Santa Maria/RS: Estratégias para gestão ambiental municipal.** 2018. 263 p. Tese (Doutorado em Geografia)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/151110>>. Acesso em: 21 jul. 2023.
- GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2014. 400 p.
- GUIRRA, A. P. M.; YALLOUZ, G. A. N.; SILVA, I.T. Estudo bibliométrico sobre o uso de geotecnologias aplicadas ao planejamento de cidades médias. **Terr@ Plural**, v.14, p. 1-14, 2020. Disponível em: <<https://www.revistas2.uepg.br/index.php/tp/article/view/13339/209209212784>>. Acesso em: 25 jul. 2023.
- LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- LYLE, J. T. **Design for Human Ecosystems. Landscape, Land Use and Natural Resources.** New York: Van Nostrand Reinhold Co. 1985. Copyright, 1999.
- MACEDO, S. S. *et al.* **Os Sistemas de Espaços Livres e a Constituição da Esfera Pública Contemporânea no Brasil.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2018.
- MCHARG, I. L. **Design with Nature.** New York: Doubleday/Natural History Press, 1969.



- PIPPI, L.G. A. *et al.* O Sistema de Espaços Livres e a Forma Urbana da Cidade de Santa Maria-RS-Brasil: caracterização das dinâmicas espaciais e funcionais. In: MACEDO, S. S. *et al.* **Quadro geral da forma e do sistema de espaços livres das cidades brasileiras**. São Paulo: FAUUSP, 2018, p. 260-296.
- SAATY, T. L. VARGAS, L. G. Estimating Technological Coefficients by the Analytic Hierarchy Process. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 13, n. 6, p. 333-336, 1979.
- SPÓSITO, M. E. B. As cidades médias e os contextos econômicos contemporâneos. In: SPOSITO, M. E. B. **Urbanização e cidades**: perspectivas geográficas. Presidente Prudente: FCT-UNESP, 2001. p. 609-643.



## Arborização no semiárido: Estudo de espaços públicos de lazer na cidade de Pau dos Ferros/RN

Ellen Priscila Nunes de Souza<sup>1</sup>, Daniel de Oliveira Santos<sup>2</sup>, Austidio Alves Marinheiro Neto<sup>3</sup>.

1. Professora Doutora, ellen.souza@ufersa.edu.br, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)
2. Graduando, daniel.santos17355@alunos.ufersa.edu.br, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)
3. Graduando, austidio.neto@alunos.ufersa.edu.br, Universidade Federal Rural Semi-Árido (UFERSA)

**Resumo:** As crises climáticas, alertadas há décadas, têm encontrado resistência nas gestões das cidades em sua luta pela mitigação de danos ambientais. Devido ao crescimento desenfreado, diversas são as cidades brasileiras que têm sua fauna e flora destruídas em nome do avanço econômico, esquecendo-se da necessidade de espaços ambientalmente equilibrados. O cenário torna-se preocupante quando cidades localizadas em condições climáticas extremas não consideram em seu planejamento e projetos urbanos o uso da infraestrutura verde como forma de reduzir danos ambientais e climáticos. O presente artigo visou analisar um espaço público destinado ao lazer em uma cidade localizada no clima semiárido, bioma caatinga sob a ótica da infraestrutura verde urbana – arborização de praças –, e adequação bioclimática. Foram utilizados materiais e métodos referentes à pesquisa observacional e transversal analítica, buscando entender a causa e o efeito de projetos desta tipologia no clima supracitado tendo em vista sua responsabilidade ambiental em uma região quente e seca. Os resultados mostram a discrepância entre o discurso ambientalista atual e o que é entregue à população para usufruto, além de divergências com as funções sociais urbanas estabelecidas pelo Estatuto das Cidades e os ODS da Agenda 2030.

**Palavras-chave:** Arborização urbana, clima semiárido, espaços públicos de lazer.

### 1. Introdução

A metamorfose das urbes é um processo que vem sendo intensificado desde o início da Revolução Industrial. A idade da máquina não somente trouxe consigo um conjunto de mudanças tecnológicas, como também impactou modo como as cidades são organizadas, desfavorecendo a saúde e qualidade ambiental urbana já problemáticas. Em 1933, com a publicação da Carta de Atenas (IPHAN, 2022), o novo conceito de urbanismo é dado através da separação das zonas urbanas e inserção de áreas verdes por toda sua extensão. Vê-se nos períodos imediatamente anterior e posterior a esta carta, tentativas de produção de cidades verdes e imersivas em políticas ambientais, especialmente a partir da década de 1980 com a publicação do Relatório Brundtland *Our common future*, acarretando as atuais cidades sustentáveis (Bonfato, 2019).

O Brasil, a partir da Eco-92 (1992), comprometeu-se com a temática ambiental ao pactuar diversas agendas e compromissos acerca do desenvolvimento e/ou incentivo de cidades sustentáveis. Em 2001, com a publicação do Estatuto das Cidades, foi objetificada clara e diretamente

sua política urbana através da obrigatoriedade do desenvolvimento das funções sociais da cidade visando a segurança e bem-estar de sua população, bem como do equilíbrio ambiental. A isto foi alinhado posteriormente com a Agenda 2030 (2015), o reforço daquele desenvolvimento sustentável através de 17 objetivos ambientais discutidos ao longo de décadas de estudos e tentativas de mitigação de danos. Para este estudo enfoca-se no ODS 11 *Cidades e comunidades sustentáveis* o qual disserta sobre as cidades e comunidades serem “inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis” e o 09 *Indústria, inovação e infraestrutura* através da construção de “infraestruturas resilientes” (ONU, 2023), integrando em suas políticas outros ODS como o 13 *Ação contra a mudança global do clima* e o 15 *Vida terrestre*. Contudo, e apesar dos constantes esforços e acordos, o inchaço urbano das urbes brasileiras avançou ao ponto de afetar os ecossistemas naturais ao alastrar-se, por exemplo, sobre os cinturões verdes nativos, poluindo a água, ar e solo; provocando ao mesmo tempo enchentes e problemas de escassez do abastecimento de água; contaminação do solo; etc. (Cardim, 2022). Concomitantemente a isto, observa-se uma contínua avaliação da infraestrutura dessas cidades, investigando como estas recebem e se comportam com os impactos das novas necessidades populacionais e relacionais com o modelo econômico vigente, acarretando por vezes em urbes ambientalmente desequilibradas.

Os ODS 09 e 11 trazem desta forma a emergente demanda de discussão acerca da infraestrutura da cidade, especialmente a verde considerada uma das bases do desenvolvimento sustentável ao conectar elementos naturais às urbes visando, por exemplo, a arborização pública e a distribuição de áreas vegetais para drenagem de águas pluviais. A exemplo desta infraestrutura tem-se as praças e os parques urbanos, que perderam gradualmente sua função apaziguadora da evolução econômica junto à natureza após suas constantes presenças nas cidades jardins no início do século XIX passando pela exaltação dos espaços verdes urbanos por Le Corbusier no século XX. No século XXI, especialmente em cidades interiorizadas onde a maioria de suas gestões não possuem interesse na produção e/ou manutenção de espaços verdes propriamente ditos, praças e parques deixam de ser considerados, por aquelas administrações, áreas verdes como definido pela Resolução CONAMA nº 369 (BRASIL, 2006). Em outras palavras, as áreas verdes públicas destinadas às funções ecológicas, paisagísticas e recreativas, dotadas de vegetação nativa e com espaços livres permeáveis, para a grande maioria das cidades



interiores de hoje, infelizmente, não necessariamente são as praças, parques, canteiros, jardins. Essas resumem-se a pequenas áreas urbanas onde um paisagismo desconexo da realidade vegetal local encontra-se presente. Além dos espaços acima citados, percebe-se que a arborização urbana formal nas cidades atuais é quase inexistente, contribuindo para uma urbe termicamente inadequada, agravada pelas condições climáticas onde esses projetos são concebidos. Ou seja, o paisagismo ambiental, que “valoriza a relação sociedade-natureza, aspectos ecossistêmicos e a ética da sustentabilidade nas suas diferentes dimensões” (Cardim, 2021, p. 47) gradativamente perde valor nas cidades contemporâneas, sendo substituídas pela arquitetura da paisagem, que prioriza somente a arquitetura *per se* e “propõe para o jardim elementos típicos da natureza, como paredes, pisos e tetos a serem configurados pela própria vegetação. [...] colocando a vegetação em um papel secundário, como se fosse apenas ‘elemento construtivo’, sem outra função que não a de cunho estético, à semelhança de materiais artificiais” (Cardim, 2021, p. 47). Robora-se a preocupação com a estética, mais do que com i. as funções socioeconômicas e ambientais, ii. o equilíbrio ecológico, iii. a saúde pública, e iv. a qualidade de vida urbana.

As cidades são então concebidas inadequadamente, mantidas com planejamento incongruente, excesso de infraestruturas cinzas e impermeabilizadas, com destruição e/ou déficit de áreas verdes, desconexão com a paisagem natural local, dentre outros. Esta é uma realidade corriqueira especialmente em Pau dos Ferros/RN. A cidade está situada no clima semiárido, bioma da caatinga, com temperaturas médias máxima e mínima anuais de 38°C e 18°C; precipitação média anual de 150 mm com média de 82 dias chuvosos; umidade relativa variando de 30 a 60%; e chegando a receber uma radiação solar média de 980 wh/m<sup>2</sup>. São em média 213 dias com sol pleno, 131 dias parcialmente nublados e 21 dias nublados (INPE BRASIL, 2023). E apesar dos dados expostos, percebe-se a falta de compreensão para como a natureza e a população ao conceber e entregar espaços urbanos com arborização ínfima e invasora, como é o caso da praça de eventos da cidade, a praça Nossa Senhora da Conceição, objeto de estudo desta pesquisa. Tal ambiente que, como outras praças locais, é um espaço somente utilizável no período noturno devido à falta de espécies arbóreas sombrentes. Sendo assim, esta pesquisa visou analisar um espaço público destinado ao lazer, a praça de eventos da cidade de Pau dos Ferros/RN sob a ótica da infraestrutura verde urbana – arborização –, e adequação bioclimática. Foram analisados desde seu projeto (áreas permeáveis, materiais de superfícies e taxas de absorção de calor, avaliação do paisagismo), até as legislações e normativas usadas. Os resultados, relevantes para a sociedade atual, mostram uma discrepância entre o discurso ambientalista e o que de fato é entregue à população para seu usufruto, além de divergências com as funções sociais urbanas estabelecidas pelo Estatuto das Cidades, os ODS da Agenda 2030 e as boas práticas referentes às cidades e comunidades sustentáveis.

## 2. Metodologia

Os materiais e métodos utilizados estão descritos abaixo.

a. Delineamento da pesquisa e programação amostral: a relação entre o impacto ambiental e a concepção de espaços públicos de lazer áridos é alvo de diversos estudos, mas produtores de espaços públicos parecem desconhecer as implicações oriundas de escolhas projetuais equivocadas. Facilmente são identificados problemas como: paisagismo invasor com plantas exóticas e ornamentais; áreas públicas áridas (sem sombra; com pedras); e passeios e mobilidade urbana inadequados. Foi buscado na cidade de Pau dos Ferros/RN um lugar de uso comum que refletisse a arquitetura atual de parques e praças. Desta forma, e devido ao seu tamanho (a maior da região), escolheu-se a Praça Nossa Senhora da Conceição, intitulada a praça de eventos da cidade.

b. Perfilamento das condições climática e botânica: foram buscados nos institutos geográficos e de pesquisas meteorológicas como o INPE Brasil e IBGE, dados acerca das atuais condições e características climáticas do clima semiárido, bem as peculiaridades do bioma local.

c. Avaliação do ambiente construído da praça através de:

- Levantamento iconográfico: demonstração visual da composição dos ambientes e suas respectivas superfícies. Utilizou-se câmera do celular S20Ultra da Samsung com lente HDR20+, câmera ultra-ampla de 12MP, resolução Quad HD+ (3200 x 1440), ângulos de abertura F 1.8 + F 2 + F 2.2, ângulo máximo de 120°, estabilização ótica (Samsung, 2023). Quando necessário, acoplou-se lente grande angular do tipo olhe de peixe (*fish eye*, com ângulo entre 10 e 16mm com campo de visão de 198°) marca Apexel. Foram feitas 60 tomadas fotográficas no total.

- Perfilamento e mapeamento do entorno: foram feitos os seguintes mapas visando entender as relações da praça com o entorno: i. aspectos urbanos (uso e ocupação do solo, gabarito, sistema viário, vegetação, saneamento básico, abastecimento de água, e iluminação pública; e ii. aspectos ambientais (topografia, insolação e ventilação).

- Levantamento do ambiente físico: perfilamento das características e configurações da praça através de checklist: dimensionamento da praça; zoneamento de usos e *layout*, coeficientes de reflexão e de absorção das superfícies; áreas de circulação; e áreas de tarefas.

- Análise das superfícies: identificação dos coeficientes de absorvância/refletância do calor, da permeabilidade urbana necessária para a tipologia estudada. Foram aferidas metragens, percentagens de TSN e cor predominante.

- Avaliação botânica: aspectos gerais do paisagismo adotado; plano de massas; levantamento e mapeamento das espécies vegetais existentes na área do projeto com nome popular e nome científico, origem, tipo de estrato vegetal, porte, espaçamento, adequação climática, sombreamento e quantidade.

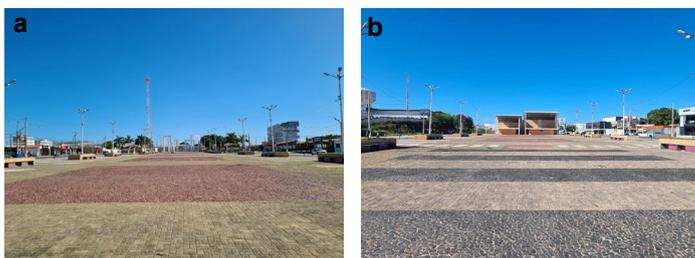
- Avaliação de aspectos legais: levantamento das legislações e normativas municipais, estaduais e federais relacionadas à temática. Foram analisados aqueles que possuíssem informações necessárias para concepção do projeto e aprovação nas instâncias legais, como: Plano Diretor Municipal de Pau dos Ferros/RN; Plano Diretor

Municipal de Mossoró/RN; Plano Diretor Municipal de Natal/RN; Plano de Arborização de Mossoró/RN (Lei nº 2702/2010); e NBR 15.220/2014.

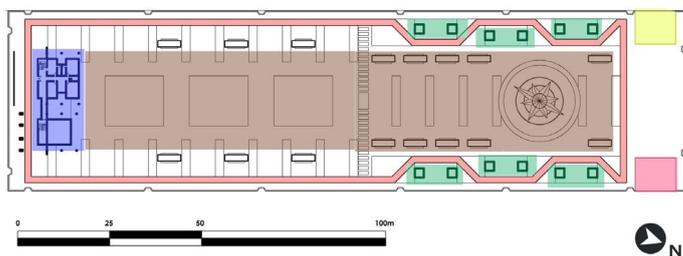
d. Diagnóstico: os dados foram analisados seja debatendo-os com estudos de caso, seja com o estado-da-arte (bibliográfico e/ou legislativo). A avaliação estatística se deu através de estudos de médias, medianas e percentagens.

### 3. Resultados

A Praça Nossa Senhora da Conceição está localizada na cidade de Pau dos Ferros/RN, entre as ruas José Alves de Queiroz, José Francisco de Lucena, José Caju e Desporto Jaime de Aquino no bairro São Judas Tadeus, tendo sido inaugurada em 25 de junho de 2008. É uma das principais áreas de lazer públicas do município, com ocorrência de eventos culturais locais (**Figura 01**). Conta com uma área construída de 10.908 m<sup>2</sup>, possuindo áreas para comércio e serviços, ciclovia (sendo usada também como pista de cooper), banheiros públicos feminino e masculino, palco suspenso e bloco administrativo (térreo mais 1º pavimento), parque infantil e áreas verdes (**Figura 02**).



**Figura 01:** Vistas da praça: a. vista norte; e b. vista sul.



Legenda:

LAZER	COMERCIAL	ESPORTE
INSTITUCIONAL	PLAYGROUND	INFRAESTRUTURA

**Figura 02:** Zoneamento da praça de estudo.

Seu entorno é caracterizado por usos destinados às áreas comerciais, de serviços e educação. Destacam-se os quiosques nas proximidades, os serviços de estética humana, a Companhia de Águas e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN) e as escolas Universidade da Criança e a Escola Estadual 4 de Setembro. Os vazios urbanos são dispostos ao longo das quadras do entorno, servindo em alguns meses como apoio aos eventos realizados. O uso residencial coexiste com os empreendimentos, entretanto não são uma parcela significativa dentro do raio de estudo de 200,00m. O gabarito médio térreo foi definido por

empreendimentos de até 1 pavimento, a exceção de edificações de 2 a 3 pavimentos. Ao que se refere ao saneamento básico, observa-se que o espaço contempla uma infraestrutura básica aplicada ao longo das vias do entorno da praça (serviço prestado pela CAERN, a qual fornece também a água usada na praça). Todavia, não foram encontradas bocas de lobos ao longo do perímetro da praça, bem como nas vias públicas imediatas. E por fim, a topografia da praça tem desníveis de até 4,00m no sentido transversal com inclinação média de 4% e de 3,00m no sentido longitudinal com inclinação média de 3%. Destaca-se que este desnível é amortizado ao longo do perímetro da praça, favorecendo o escoamento das águas para as laterais e distribuindo o resto da inclinação, de forma uniforme, no seu entorno.

Quando analisadas as legislações e normas que avaliam os aspectos legais referentes à produção de espaços de lazer público, tem-se os seguintes resultados: i. Plano Diretor de Pau dos Ferros/RN (Lei Complementar Nº 017/2022): o Art. nº 80 apresenta o Plano Municipal de Arborização Urbana para o município estabelecendo normas técnicas e métodos que favorecem a implantação e permanência de parques urbanos na cidade, deste destaca-se o inciso IX sobre a preservação e o uso de espécies frutíferas nos espaços públicos da cidade. Contudo, nenhuma das recomendações postas foram aplicadas no objeto de estudo, pois não há espécie frutífera e não aplicadas as medidas mínimas pedidas. ii. Plano de Arborização de Mossoró/RN (Lei nº 2702/2010): traz diretrizes para o plantio de maciços arbóreos no espaço urbano compreendendo: prioridade no plantio de árvores que apresentem floração exuberante; plantio de árvores frutíferas; em áreas de encostas, de favelas e de comunidades carentes; e plantio de trepadeiras nas entradas e saídas dos túneis (PMM, 2010). A escolha de espécies ficará a critério de estudos, observando a adaptação e as condições ambientais e do entorno, além de controle fitossanitário que possibilite a correção das falhas existentes através da poda periódica. Entretanto, nenhuma das recomendações são perceptíveis no objeto de estudo na qual também não há espécies com floração exuberantes. iii. NBR 15220/2014: o município localiza-se na Zona Bioclimática 07 e possui as seguintes principais necessidades térmicas: resfriamento evaporativo e de massa térmica para resfriamento, ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa). Pelas escolhas dos materiais de superfície e áreas vegetais, percebe-se que estes pontos também não foram considerados na concepção da praça. Da análise das áreas permeáveis do objeto de estudo, o plano diretor municipal cita que a taxa de solo natural (TSN) deverá ser considerada em áreas livres de uso privativo com valor mínimo de 20%, nada acrescentando sobre áreas de uso público (PMPdF, 2021). Já nos planos tanto de Mossoró/RN quanto de Natal/RN, a TSN mínima é de 20% tanto para zonas residenciais quanto para aquelas sem uso especificado. Para este trabalho considerou-se 20% de

TSN. Sendo assim, a praça está abaixo do limite mínimo permitido, necessitando pelo menos mais 13% de solo natural, ou seja, deveria ser entregue uma área de 1.420m<sup>2</sup> a mais ( $A_{Total\min}=2.182m^2$ ). A praça então possui 781,40m<sup>2</sup> (7,16% da  $A_{Total}$ ) de áreas permeáveis (544,98m<sup>2</sup> de jardins mais 236,4m<sup>2</sup> de áreas de parquinho e torre); e 10.126,6m<sup>2</sup> (92,84%) de áreas impermeáveis distribuídas em: 1739,2m<sup>2</sup> (15,95%) de pisos em pedra portuguesa preta; 2.424,99m<sup>2</sup> (22,23%) de pisos em pedra portuguesa; 6.362,25m<sup>2</sup> (58,33%) de bloco intertravado de concreto; 827,37m<sup>2</sup> (7,6%) de ciclovia em asfalto na cor preta; e 366,5m<sup>2</sup> (3,36%) de área construída com quiosques, banheiros públicos e bloco administrativo - onde hoje funciona a Secretaria do Meio Ambiente do município (medido em lâmina - nível do solo). Destas áreas, elas são formadas por materiais diversos que influenciam na qualidade térmica e lumínica do espaço, descritas a seguir: grama capim-da-cidade, cor predominante verde,  $\epsilon=83\%$ ,  $\rho(\lambda)=17\%$ ,  $A=544,98m^2$  ( $A\%=5\%$ ); areia, cor predominante bege,  $\epsilon=62\%$ ,  $\rho(\lambda)=38\%$ ,  $A=236,4m^2$  ( $A\%=2,17\%$ ); pedra portuguesa 01, cor predominante preta,  $\epsilon=92\%$ ,  $\rho(\lambda)=8\%$ ,  $A=220,56m^2$  ( $A\%=2\%$ ); pedra portuguesa 02, cor predominante branca,  $\epsilon=68\%$ ,  $\rho(\lambda)=32\%$ ,  $A=920,93m^2$  ( $A\%=8,44\%$ ); pedra portuguesa 03, cor predominante vermelha,  $\epsilon=89\%$ ,  $\rho(\lambda)=11\%$ ,  $A=1.283,50m^2$  ( $A\%=11,77\%$ ); bloco intertravado de concreto, cor predominante cinza,  $\epsilon=83\%$ ,  $\rho(\lambda)=17\%$ ,  $A=6.362,25m^2$  ( $A\%=58,3\%$ ); e asfalto, cor predominante preta,  $\epsilon=86\%$ ,  $\rho(\lambda)=14\%$ ,  $A=827,37m^2$  ( $A\%=7,6\%$ ). No local também foram identificados os materiais de pintura dos blocos construídos: quiosques com pintura na cor marrom acinzentado escuro ( $\epsilon=86\%$  e  $\rho(\lambda)=14\%$ ); banheiros públicos com pintura na cor laranja ( $\epsilon=54\%$  e  $\rho(\lambda)=46\%$ ); bloco administrativo com pinturas nas cores laranja ( $\epsilon=54\%$  e  $\rho(\lambda)=46\%$ ), marrom claro ( $\epsilon=60\%$  e  $\rho(\lambda)=40\%$ ) e branco ( $\epsilon=56\%$  e  $\rho(\lambda)=44\%$ ) (Figuras 03 e 04).



**Figura 04:** Superfícies da praça: áreas com piso intertravado cinza, pedras portuguesas (vermelho, preto e branco), grama, pedras naturais e asfalto.

Foram avaliadas as espécies vegetais encontradas: abacaxi ornamental (*Ananas bracteatus*), origem sudeste brasileiro, clima tropical/ subtropical, 2 unidades; espada de são Jorge (*Dracaena trifasciata*), origem África, 4 unidades; grama capim-da-cidade (*Cynodon dactylon*), origem sudeste da África, 545m<sup>2</sup>; palmeira imperial de Cuba (*Roystonea regia*), origem América Central, 13 unidades; sagu de jardim (*Cycas revoluta*), origem Japão, 3 unidades; craibeira (*Tabebuia aurea*), origem Peru e Argentina, cerrado/ caatinga, 4 unidades (Figura 05). Apenas uma das espécies utilizadas é nativa (Craibeira) e a única considerada sombreante devido à sua copa alongada, mas que somente se encontra alocada no parque infantil.



**Figura 05:** Plantas utilizadas na praça: a. abacaxi ornamental; b. espada de são Jorge; c. grama capim-da-cidade; d. palmeira imperial de Cuba; e. sagu de jardim; e f. craibeira.



**Legenda:**

<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:purple; border:1px solid black;"></span> ARENOSO	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:black; border:1px solid black;"></span> ASFALTO
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:purple; border:1px solid black;"></span> EDIFICAÇÕES EXISTENTES	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:grey; border:1px solid black;"></span> PEDRA PORTUGUESA PRETA
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:red; border:1px solid black;"></span> PEDRA PORTUGUESA VERMELHA	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:lightgrey; border:1px solid black;"></span> PEDRA PORTUGUESA CINZA
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:green; border:1px solid black;"></span> GRAMA	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:white; border:1px solid black;"></span> PEDRA PORTUGUESA BRANCA

**Figura 03:** Zoneamento das superfícies da praça.



Através das análises realizadas, foi perceptível que a praça estudada pouco oferece em termos ambientais: é um espaço construído sem considerações ecossistêmicas e onde a funcionalidade da mesma não atende às necessidades preconizadas por normativas referentes às cidades e comunidades sustentáveis brasileiras. O paisagismo é desconexo da paisagem evolutiva natural com flora distinta do bioma e clima locais. A paisagem encontrada *in loco* traz uma estética contínua e monótona, presente nas praças atuais de diversas cidades brasileiras. Outro erro comum desses espaços, e presente também aqui, é a palmeirização e sua inserção marcada pelo plantio em conjunto com gramas (capim-da-cidade) e buxinhos (aqui a *ixora coccínea* esculpida). Técnica essa, de topiaria, que não somente impede a passagem de usuários, como também “artificializa” a natureza, retirando sombras e/ou reduzindo as plantas a objetos decorativos. Ou seja, as espécies usadas são exóticas e restringem-se a espécies ornamentais que pouco, ou quase nada, contribuem para o bioma local, podendo prejudicar ambas identidade cultural e natural da região ao inserir espécies consideradas invasoras. Além do mais, os espécimes plantadas na limitada área verde da praça, pouco ou não contribuem para o sombreamento no local. Isto, aliado às superfícies impermeáveis e absorventes de radiação, acarretam problemas térmicos não somente no conforto urbano térmico, mas também nas edificações do entorno.

#### 4. Considerações Finais

A arborização em qualquer esfera é um dos principais itens quando se discute infraestrutura verde e sustentabilidade nas cidades. Sua importância é necessária tanto nos quesitos de manutenção da vida de fauna e flora, quanto na mitigação de condições climáticas, especialmente as extremas, como é o caso no estudo feito. Praça esta que demonstrou ser inadequada ao longo de sua análise seja em termos de concepção de uso, de legislação e normas aplicadas (ou que deixaram de ser), escolha dos materiais das superfícies e até das espécies vegetais selecionadas. Acabou-se por ter um espaço urbano com projeto sem elementos minimamente necessários para espaços de lazer públicos em um clima quente e seco. A praça de eventos é então uma área árida e desconfortável na cidade para a população que somente pode usufruí-la nos períodos noturnos, além de sua baixa capacidade de serviços ecossistêmicos, conforme é esperado destes locais tanto pela Agenda 2030 quanto pelas normativas de cidades e comunidades sustentáveis, destoando das praças inicialmente concebidas durante o Movimento Verde no início do século XX e que prezava pela qualidade de vida urbana junto à natureza.

#### Referências

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR15220: Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 66p. 2014.
- Bonfato, A. C. **Macedo Vieira: Ressonâncias do modelo cidade-jardim**. São Paulo: Editora Senac, 2019.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Agenda 21**. Disponível em <<https://antigo.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-brasileira.html>>. Acesso em julho, 2023.
- Brasil. Conselho Nacional Do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 369/2006**. Brasília: MMA, 2006.
- \_\_\_\_\_. Senado Federal. Ministério Das Cidades (MC). **Estatuto das Cidades**: Lei no 10.257, de 10 de julho de 2001. 3ª ed. Brasília: MC/Senado Federal, 2008.
- Cardim, R. **Paisagismo sustentável para o Brasil**. São Paulo: Editora Olhares, 2022.
- Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). A carta de Atenas. Congresso Internacional de Arquitetura Moderna (CIAM/1993). Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Atenas%201933.pdf>>. Acesso em abr, 2022.
- Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais (INPE BRASIL). **Dados climáticos do município de Pau dos Ferros/RN**. Disponível em: <<https://www.gov.br/inpe/pt-br>>. Acesso em julho, 2023.
- ONU. Organização das Nações Unidas. ODS. Disponível em <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em nov, 2022.
- Prefeitura Municipal de Mossoró/RN (PMA). **Lei Nº 2702/2010**. Mossoró/RN, 2010.
- \_\_\_\_\_. **Plano Diretor Municipal** (2006). Mossoró/RN, 2006.
- Prefeitura Municipal de Natal/RN (PMN). **Plano diretor municipal**. Natal/RN, 2022.
- Prefeitura Municipal de Pau dos Ferros/RN (PMPdF). **Figura XX. Arquivo digital da planta baixa da Praça Nossa Senhora da Conceição**. Pau dos Ferros: PMPdF, 2023.
- \_\_\_\_\_. **Plano Diretor Municipal** (2021). Pau dos Ferros/RN, 2021.
- SAMSUNG. Suporte. Disponível em <<https://www.samsung.com/>>. Acesso em maio, 2023.
- Santos, D. M. C.; Medeiros, T. A. **Desenvolvimento sustentável e agenda 21 brasileira**. Revista Científica Multidisciplinar da UniSãoJosé, vol. 15, n. 1, p. 10-27. 2020.
- Souza, D. D. **Adaptações de Plantas da Caatinga**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2020.
- UFERSA; FGD; PETROBRAS. **Projeto Caatinga**. Disponível em: <<https://projetoCaatinga.ufersa.edu.br/>>. Acesso em junho, 2023.



# INFLUÊNCIA DAS SAFRAS AGRÍCOLAS NA FORMAÇÃO DE ILHAS DE CALOR URBANO

Érico Masiero<sup>1</sup>, Bruno Sigolo Coury<sup>2</sup> (in memoriam).

1. Arquiteto e Doutor em Engenharia Urbana, erico@ufscar, Universidade Federal de São Carlos
2. Geógrafo e Mestre em Engenharia Urbana – Universidade Federal de São Carlos

## Resumo:

O clima urbano pode ser influenciado por diversos fatores, em geral, decorrente da antropização do ambiente. Este trabalho nasce da preocupação com os impactos provocados pelo ambiente rural nas condições de vida das áreas periurbanas, principalmente no que se refere à influência no microclima. Sendo assim, esta pesquisa busca identificar a influência que as variações espaciais das safras canavieiras possuem para a formação de Ilhas de Calor Urbano – ICU – em bairros periurbanos do município de Piracicaba. Para isso, foram definidas duas fases de obtenção de dados climatológicos: após a colheita de cana-de-açúcar, com o solo exposto, e antes desta, momentos nos quais o solo rural apresenta diferentes condições de cobertura superficial. Foram instalados sensores de medição de temperatura e umidade do ar em uma área de canaviais e em dois bairros periurbanos limítrofes, os quais possuem diferentes configurações territoriais, além de outro sensor em um bairro centralizado, com maior grau de urbanização. Os resultados mostram que a ICU durante a fase pós colheita não ultrapassa 4°C, enquanto que na fase pré colheita pode ultrapassar 6°C. Este resultado mostra a necessidade de se considerar as condições de ocupação do solo rural em estudos de climatologia urbana.

**Palavras-chave:** Ilhas de Calor Urbano, Zonas Climáticas Locais (ZCLs), Ambientes Periurbanos, Microclimas

## Introdução

Os ambientes urbanos em geral apresentam diversas consequências da contínua atuação antrópica ao longo dos anos. Aponta-se como responsáveis por essa situação as muitas modificações historicamente realizadas pelo ser humano, tais como fontes de emissão de poluentes e calor antropogênico, impermeabilização do solo, canalização de cursos d'água, excessivo adensamento urbano e retirada da cobertura vegetal original nas áreas urbanas e rurais. Tais modificações do ambiente contribuem para alterações em macro e micro escalas climáticas e geralmente reduzem o bem-estar humano, como aponta He (2018).

O fenômeno de Ilhas de Calor Urbano – ICU, de acordo com Oke (1973) e Stewart e Oke (2012), é entendido como uma significativa expressão das alterações humanas na atmosfera nas camadas intraurbanas. A elevação das temperaturas do ar nos ambientes urbanos é causada pelo uso intenso de materiais construtivos, pela retirada da vegetação original, pela canalização dos corpos d'água,

dentre outros fatores que contribuem para alterar o balanço energético urbano (GARTLAND, 2010).

As ICUs (ou UHI, da sigla em inglês “Urban Heat Island”) se referem, de maneira generalizada, às temperaturas do ar mais elevadas encontradas nos ambientes urbanos com relação aos espaços ao seu entorno, justificando o uso do termo “ilha”. Isto ocorre graças ao fato de que a densidade construtiva dos espaços urbanos altera seus balanços energéticos, fazendo com que a concentração de calor nos mesmos seja mais elevada.

Destaca-se, com Stewart e Oke (2012), o imperativo de que, nos estudos climatológicos urbanos, se observe os espaços urbanos como uma dinâmica complexa, dotada de variadas configurações e características internas, as quais possuirão diferentes consequências para o microclima. Assim, é necessário que seja ultrapassada a simples diferenciação entre o ambiente rural e o urbano na análise de ICUs, pois, assim, suas verdadeiras magnitude e origens poderão ser concebidas e, possivelmente, mitigadas, como ressaltam Martilli et al. (2020).

Essa mudança de perspectiva analítica se faz ainda mais relevante com a constatação de que os estudos climatológicos urbanos, de maneira geral e historicamente, tendem a voltar suas análises às regiões centrais das grandes cidades, as quais possuem maior concentração populacional e espaços antropicamente mais alterados, como apontam Geneletti et al. (2017).

Martilli et al. (2020) ressaltam a relevância do meio rural para a análise das ICUs, já que sua magnitude é uma função tanto de características urbanas quanto rurais, sendo que duas cidades com estruturas, materiais, cobertura e populações muito similares podem experimentar magnitudes de ICUs diferentes, baseadas apenas nas características distintas de seus entornos rurais.

Com isso, se faz importante observar não apenas as variadas configurações espaciais das áreas periurbanas, mas também seu contexto de implantação urbana e os espaços rurais circundantes, os quais podem ser decisivos para a qualidade microclimática destes ambientes Coury et al. (2022).

O objetivo desta pesquisa é identificar e comparar a influência da sazonalidade do cultivo semi-perene de cana-

de-açúcar na formação de ICUs em áreas periurbanas e central no município de Piracicaba/SP.

## Materiais e Métodos

O método de pesquisa consistiu em registrar a temperatura e a umidade relativa do ar de 6 áreas no município de Piracicaba, ou seja, uma área rural com plantação de cana de açúcar, 4 áreas periurbanas e uma área central.

A coleta de informações foi dividida em dois momentos: uma fase pós a colheita (Figura 1), situação em que o solo se mantém praticamente exposto ou coberto por palha por pelo menos algumas semanas ou meses; e uma fase pré colheita (Figura 2), no qual a planta está no estágio de maturação, já tendo atingido sua altura e volume máximos, respeitando os ciclos de 12 a 18 meses.



Figura 1 – Fase Pós colheita



Figura 2 – Fase Pré Colheita

Posteriormente, foi possível observar e comparar a influência da safra agrícola da cana de açúcar nas formação das ICUs em nas duas condições antagônicas de ocupação do solo rural.

Para que fosse possível comparar a caracterização atmosférica da área de plantio em relação aos ambientes urbanos, foram instalados sensores em cada um dos bairros de análise. A paisagem de cada recorte amostral urbano foi classificada de acordo com a metodologia de Stewart e Oke (2012), que considera os aspectos físicos como Fator de Visão do Céu, relação HW, superfície permeável, impermeável, entre outros aspectos, para se determinar as Zonas Climáticas Locais - ZCLs.

As variáveis atmosféricas registradas durante as duas fases de coleta foram: umidade relativa e temperatura do ar para todos os sensores termo-higrômetros e para a estação HOBO U30 a qual coletou também dados de radiação solar, direção e velocidade do vento na área rural. Todos os equipamentos foram programados para fazer registros sincronizados a cada 30 minutos, a partir do primeiro dia de coleta em ambas as fases.

Os sensores utilizados nos ambientes periurbanos e no bairro central foram do tipo HOBO/Pro V2 U23-001. Destaca-se que todos os sensores foram posicionados respeitando uma distância mínima das construções e materiais próximos, como descrevem as orientações técnicas de Oke (2006). Além disso, os sensores estavam inseridos em dispositivos protetores de pluviosidade, vento e radiação solar.

As ICUs foram obtidas a partir de um cálculo simples, considerando a diferença entre cada recorte amostral periurbano, central e rural em duas fases – pós e pré colheita. Para essa comparação, as ZCLs correspondentes aos recortes foram empregadas da seguinte maneira, para a fase inicial, pós-colheita:

$$\text{ICU} = T \text{ ZCL } 2/3 \text{ (área central)} - T \text{ ZCLF} \quad \text{equação (1)}$$

$$\text{ICU} = T \text{ ZCLs } 3, 5, 6 \text{ e } 8 - T \text{ ZCLF} \quad \text{equação (2)}$$

Em que “T” é a Temperatura do ar, expressa em °C, ZCL 2/3 (área central) equivale ao recorte urbanizado, ZCLs 3, 5, 6 e 8 aos recortes periurbanos e ZCLF equivale à área rural pós-colheita. Para a fase final, pré-colheita, os cálculos foram:

$$\text{ICU} = T \text{ ZCL } 2/3 - T \text{ ZCLC} \quad \text{equação (3)}$$

$$\text{ICU} = T \text{ ZCLs } 3, 5, 6 \text{ e } 8 - T \text{ ZCLC} \quad \text{equação (4)}$$

Em que “T” é a Temperatura do ar, expressa em °C, ZCL 2/3 (área central) equivale ao recorte urbanizado, ZCLs 3, 5, 6 e 8 aos recortes periurbanos e ZCLC equivale à área rural pré-colheita.

## Resultados e discussão

Os resultados apresentam na Tabela 1 a classificação das áreas de análise de acordo com metodologia de Zonas Climáticas Locais proposta por Stewart e Oke (2012). Posteriormente são apresentadas as variações das ICUs das 4 áreas periurbanas e da área central nas duas condições da área rural – pré colheita e pós colheita.

**Tabela 1** – Classificação dos locais de análise de acordo com metodologia de Zonas Climáticas Locais

Local de análise	Área (mil m <sup>2</sup> )	Altitude Média (m)	FVC	Relação HW	Altura média das edificações (m)	Superfície Permeável (%)	Superfície Impermeável (%)	Classificação ZCL
São Judas	65	600	0,65	0,83	6,5	5,28	94,72	ZCL 2 + 3 Compact midrise e Compact low-rise
Santa Rosa 1	98	530	0,62	0,4	6,75	50,23	49,77	ZCL 5 Open midrise
Santa Rosa 2	60	610	0,61	0,42	3,6	41,13	58,87	ZCL 8 Large low-rise
Jardim Dona Luísa 1	58	520	0,7	0,44	4,0	15,42	84,58	ZCL 3 Compact low-rise
Jardim Dona Luísa 2	25	540	0,62	0,155	3,5	38,32	61,68	ZCL 6 Open low-rise
Área Rural Pós-Colheita	80	565	0,90	0	0	100	0	ZCL F Bare soil or sand
Área Rural Pré-Colheita	80	565	0,90	0	0	100	0	ZCL C Bush, scrub

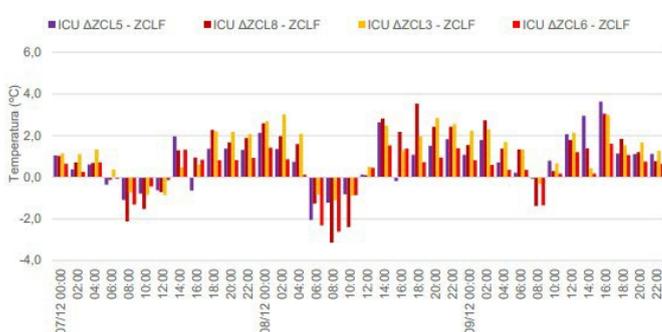


É possível observar que a área denominada “São Judas” corresponde a área central da cidade e possui a maior densidade construída de todos os recortes, logo recebeu a classificação de ZCL 2+3. É a área que está mais distante da zona rural.

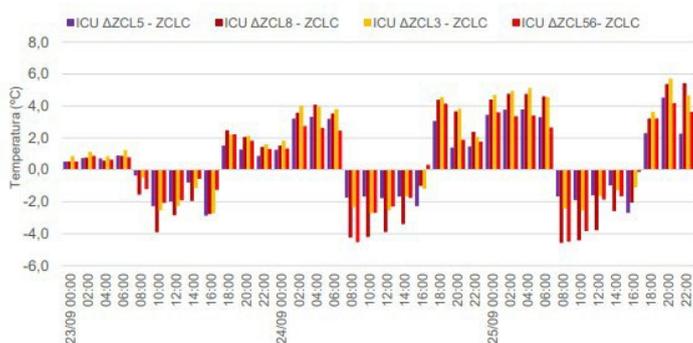
Os bairros denominados “Santa Rosa” e “Dona Luisa” tem uso predominantemente residencial unifamiliar com habitações isoladas nos lotes e situadas em áreas periurbanas. Estes bairros fazem fronteira com a zona rural e são afetados diretamente pela sazonalidade do cultivo da cana de açúcar.

A figura 3 apresenta as variações térmicas das ICUs nas fase pós colheita, ou seja, quando o solo da zona rural está predominantemente exposto ou coberto com palha – resíduo da colheita. É possível verificar que as ICUs permanecem abaixo de 4°C.

**Figura 3-** ICU entre as ZCLs 5, 8, 3 e 6 e a ZCLF, dias 07/12 a 09/12/19, fase pós-colheita



**Figura 4 –** ICU entre as ZCLs 5, 8, 3 e 6 e a ZCLC, dias 23/09 a 25/09/20, fase pré-colheita



Como pode ser observado, as diferenças neste momento são mais expressivas do que as visualizadas na fase pós colheita, mesmo com condições atmosféricas semelhantes. Enquanto nos dois períodos da primeira fase as diferenças máximas positivas não ultrapassaram os 4°C, na fase pós colheita chegaram a valores próximos de 6°C, assim como as negativas: máximas pouco superiores a 3°C na primeira fase e superiores a 4°C na segunda.

Assim como para a ICU entre a área rural e a urbana, este aumento nas diferenças pode ser atribuído à presença das monoculturas antes de serem colhidas, as quais auxiliaram no maior resfriamento por meio do sombreamento e umidificação da área rural. Também se observa uma tendência similar à primeira fase de coleta, ou seja, maiores ICUs para aqueles sensores localizados em ZCLs mais densas, caso das ZCLs 8 e 3.

Neste período de intenso aquecimento, as áreas periurbanas também sofreram grande elevação de suas temperaturas, o que contribuiu para as expressivas diferenças em relação à área rural, especialmente no caso das duas ZCLs mais densas, em processo similar à ZCL central.

A presença de vegetação mais exuberante nas bordas das áreas periurbanas contribui para o resfriamento mais elevado da área rural durante o período noturno, tornando maior a diferença de temperatura do ar para as áreas mais urbanizadas. Esta constatação permitiu desenvolver uma comparação entre as fases com o solo exposto e com a vegetação madura, bem como o registro do impacto da sazonalidade canavieira para a formação de ICUs. Ou seja, à medida em que a vegetação cultivada se desenvolve, a diferença de temperatura do ar entre as áreas rural e urbana se intensifica, pois a vegetação reduz o ganho de calor do solo rural. Assim, as variações sazonais nos cultivos agrícolas possuem significativa relevância para o estabelecimento de ICUs, especialmente em áreas periurbanas próximas.

Martilli et al. (2020) apontam ainda para o equívoco de, no combate ao aquecimento urbano, se levar em consideração apenas os fatores urbanos em si, sem analisar as influências do rural, fazendo com que a busca se limite a reduzir a magnitude de temperatura urbano-rural, e não necessariamente as origens para as elevadas médias térmicas urbanas.

Estas condições são ainda mais fundamentais na caracterização atmosférica das áreas periféricas, nas quais o meio rural circundante, com suas variações de formas de uso agrícola, deve ser levado em grande consideração, por ser um dos principais influenciadores das condições climáticas dos ambientes periurbanos, como apontam Hawkins et al. (2003).

### Considerações Finais

Este resultado mostra a necessidade de se considerar as condições de ocupação do solo rural em estudos de climatologia urbana.

É sabido que diversas cidades no Brasil, principalmente do interior do estado de São Paulo, estão sujeitas às influências decorrentes da antropização das áreas rurais, geralmente ocupadas por monoculturas, que são cruciais para a degradação da qualidade de vida nestes locais. No



caso de Piracicaba, ficou evidente a forte influência das áreas de cultivo sazonal da cana-de-açúcar na formação das ICUs em duas épocas distintas do ano, nas fases de pós-colheita e de pré-colheita, ou seja, com o solo totalmente exposto e com a vegetação madura em seu maior estágio de crescimento, respectivamente. Esta conclusão foi possível com a aplicação da mesma metodologia em ambos os períodos.

Foi constatado também que, no período em que o solo rural permanece exposto, há um maior ganho de calor na superfície, o que contribui para reduzir as diferenças de temperatura do ar entre a área rural e a área urbana, ocasionando ICUs com valores inferiores aos registrados com a vegetação madura. O sombreamento e a evapotranspiração da cana-de-açúcar são provavelmente os principais fatores que contribuem para a redução do ganho de calor na superfície.

Os sensores posicionados na área central da cidade, ocupadas por áreas residenciais adensadas e indústrias – ZCL 8 e ZCL 3 –, apresentaram as maiores ICUs, que alcançaram quase 5°C. Contudo, foi observado que as maiores ICUs nos ambientes periurbanos não foram apenas registradas durante a madrugada, mas também ao anoitecer, entre 18h00 e 22h00. Tal fato demonstra que conforme a incidência da radiação solar diminui, o ambiente periurbano e o urbano central perdem calor proporcionalmente à sua densidade construída.

Estes resultados não só demonstram a influência de safras agrícolas e das variações construtivas da paisagem urbana (ZCLs) para o microclima urbano como também podem contribuir significativamente para a compreensão mais detalhada dos fenômenos de ICUs em cidades com extensas áreas de monocultura.

Estes mesmos procedimentos podem ser desenvolvidos em outras regiões para a compreensão dos fenômenos climáticos urbanos em cidades com diferentes configurações de ocupação do território rural e outras monoculturas como a soja, o café, o eucalipto ou o milho, por exemplo, os quais são importantes produtos do agronegócio brasileiro.

Ao se conhecer os impactos da monocultura sobre as cidades, tanto das áreas rurais como nas áreas urbanas, bem como os processos físicos associados ao fenômeno de ICUs, abre-se espaço para o debate de proposições de mitigação e adaptação às mudanças climáticas em nível local.

Desta forma, é possível incentivar a aplicação de medidas mais eficazes pelo setor público para a amenização dos impactos atmosféricos nas áreas habitadas no sentido de se proporcionar maior conforto ambiental urbano.

#### **Agradecimentos:**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

#### **Referências**

- COURY, B. S., MASIERO, E., KRUGER, E. L. Confounding effects of harvesting on urban heat island intensity in a mid-sized city in Brazil. *Urban Climate* 46 (2022) 101276
- GARTLAND, L. Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Oficina de textos, São Paulo, 248 p., 2010.
- GENELETTI, D. LA ROSA, D.; SPYRA, M.; CORTINOVIS, C. A review of approaches and challenges for sustainable planning in urban peripheries. *Landscape and Urban Planning*, v. 165, p. 231-243, 2017.
- HAWKINS, T.W.; BRAZEL A.J.; STEFANOV W.L.; BIGLER W.; SAFFELL E.M. The Role of Rural Variability in Urban Heat Island Determination for Phoenix, Arizona. *Journal of Applied Meteorology*, v. 43, p. 476-486, 2003.
- HE, B. J. Potentials of meteorological characteristics and synoptic conditions to mitigate urban heat island effects. *Urban Climate*, v. 24, p. 26-33, 2018.
- MARTILLI, A.; KRAYENHOFF, E. S.; NAZARIAN, N. Is the Urban Heat Island intensity relevant for heat mitigation studies? *Urban Climate*, v.31, 100541, 2020.
- OKE, T. R. City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, v.7, p.769-779, 1973.
- OKE, T. R. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. World Meteorological Organization (WMO), report 81, n.1250, 2006.
- STEWART, I.D.; OKE, T.R. Local Climate Zones for urban temperature studies. *Bulletin of American Meteorological Society*, n. 93, p. 1879-1900, 2012.



# Análise Bibliométrica aplicada ao estudo de Ilhas de Calor Urbanas nos Distritos Industriais

Angela Maria de Arruda<sup>1</sup>, Érico Masiero<sup>2</sup>.

1. Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana PPGEU/ UFSCar, angelaarruda@estudante.ufscar.br, Universidade Federal de São Carlos
2. Prof. Doutor do Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana PPGEU/ UFSCar, erico@ufscar.br, Universidade Federal de São Carlos

**Resumo:** Os estudos sobre a formação de Ilhas de Calor Urbanas (ICUs), seu impacto no microclima urbano e no conforto humano são amplamente difundidos no campo da Climatologia. Contudo, com a crescente industrialização urbana torna-se interessante analisar o impacto deste processo no microclima dos arredores dos bairros industriais. Para isso, esta pesquisa se dedica a identificar os estudos publicados desde 1967 até os dias atuais utilizando a plataforma Scopus com a temática “ilhas de calor” e “ilhas de calor em distritos industriais” e realizar a análise bibliométrica dos mesmos. Pode-se concluir que a quantidade de trabalhos que correlacionam as ICUs e distritos industriais é ínfima se comparada ao amplo estudo das ICUs no ambiente urbano como um todo, especialmente associado à influência do uso e ocupação do solo na temperatura superficial e conseqüentemente nas ICUs. Notou-se a presença dos pesquisadores brasileiros em temas de pesquisa amplos que abarcam desde o estudo dos fatores que influenciam as ICUs até o estudo dos índices de conforto térmico. Porém, quando a pesquisa é restrita a estudos que associam as ICUs aos distritos industriais, o Brasil não configura na lista.

**Palavras-chave:** Ilhas de Calor Urbana, análise bibliométrica, distritos industriais.

## 1. Introdução

Os primeiros estudos da formação de ilhas de calor urbanas (ICUs) remetem ao século XIX e início do século XX, quando vários pesquisadores, entre eles, Luke Howard, o primeiro cientista a estudar o clima urbano, notaram a diferença expressiva da temperatura do ar entre o ambiente urbano e rural, por meio de estações meteorológicas, teceram considerações e formalizaram suas descobertas acerca do impacto da atuação antropogênica no ambiente e no clima urbano (Oke et al., 2017).

Uma das definições de ICU, segundo Oke (2002), refere-se ao calor característico de uma cidade ou centro urbano, consequência da intervenção humana na superfície, com impacto nas propriedades atmosféricas. A explicação para o termo advém do fato de que os padrões isotérmicos do ar próximo à superfície se assemelham aos contornos de uma ilha, já que o calor relativo da cidade se projeta distintamente para fora do 'mar' fresco da paisagem circundante. Portanto, se refere às diferenças entre as

temperaturas de estações urbanas e rurais, ou como Gartland (2010) prefere denominar “oásis inverso”, em que o ar e as temperaturas da superfície são mais elevadas do que em áreas rurais próximas.

A partir da década de 1920, os estudos do clima urbano ficaram mais criteriosos com a incorporação de técnicas para aferição da variação da temperatura, do vento, da radiação e da umidade no ambiente urbano. Entre as diversas técnicas aplicadas, se destacaram os transectos móveis e o monitoramento experimental temporário, por meio de estações meteorológicas, para a coleta de informações sobre a configuração espacial da temperatura do ar no espaço urbano (Fialho, 2009).

Além dos países desenvolvidos, citados em estudos de Mondal & Mishra, (2021), Wehrli (et al., 2020), países em desenvolvimento passaram a ser foco de estudos sobre o impacto da crescente urbanização e industrialização no ambiente, na saúde, na qualidade do ar, no conforto dos moradores (Guo et al., 2020). Huang & Wang, (2019) alertam para o fato de que as atividades antropogênicas estão transformando as sociedades de matriz agrícola em sociedades industriais e conseqüentemente, alterando o uso e a cobertura do solo, aumentando a impermeabilização do solo e causando alterações no balanço energético. Atrelada a estas condições, tem-se a alta densidade construtiva, baixa taxa de vegetação urbana, utilização de materiais construtivos com baixa reflexividade e alta capacidade de retenção de calor, que impactam significativamente no clima urbano, e contribuem para a formação de ICUs principalmente nas primeiras horas da noite (Oke, 2002; Gartland, 2010).

O acúmulo de calor deve-se principalmente à estrutura e à geometria urbana que favorecem o aprisionamento de calor e alteram significativamente o microclima urbano (Yang et al., 2018). Materiais construtivos, como o concreto e o asfalto, absorvem calor durante o dia e o liberam lentamente à noite, causando um aumento na temperatura do ar ao redor, se comparado a locais onde estes materiais não estão presentes. Tal fenômeno é frequentemente registrado em várias cidades do mundo como Jharsuguda/Índia, Hanoi/Vietnam, onde os processos de mineração, alta densidade construída e atividades industriais são responsáveis por temperaturas noturnas elevadas (Singh et al., 2017; Bechtel et al., 2019).



Percebe-se o amplo interesse dos pesquisadores em comparar regiões distintas do ponto de vista de ocupação do solo, dos níveis de impermeabilização e vegetação (Akbari et al., 2001; Weng et al., 2004), geralmente, rural e centros urbanos.

Chen et al. (2006) utilizaram sensoriamento remoto, via imagens de Landsat de 1990 a 2000, para verificar o impacto de configurações espaciais diversificadas, sujeitas à sazonalidade do uso e ocupação do solo na intensidade da ICU, em uma região da China, cujo processo de urbanização ocorreu rapidamente. Os pesquisadores verificaram que o fenômeno ocorre com maior intensidade em regiões com solo descoberto ou semi-descoberto. Já Chen (et al., 2023) estudaram as ondas de calor nos Estados Unidos durante o verão de 2021 e demonstraram que as interações da escala atmosférica e a dinâmica espaço-temporal contribuem para o aumento da temperatura do ar em toda região, tanto ambientes urbanos quanto rurais.

Em microescala, dentro dos próprios espaços urbanizados, existem diferentes zonas com características intrínsecas que certamente interferem nas variáveis microclimáticas, ambientais e espaciais. Stewart & Oke (2012) propuseram a classificação do espaço urbano e rural em Local Climate Zones (LCZs) visando parametrizar e oferecer subsídios para o estudo do impacto de cada zona no microclima urbano, por exemplo. Os espaços industriais, objetos deste estudo são caracterizados por edificações horizontais, de até 2 pavimentos, alto percentual de área impermeabilizada, amplo uso de concreto, asfalto e classificam-se como LCZ 8 (Stewart & Oke, 2012).

Sob a ótica do crescimento urbano atual, torna-se evidente a importância dos distritos industriais no desenvolvimento econômico de uma cidade, contudo qual seria o impacto destes bairros no microclima urbano?

Este artigo é a fase inicial de um projeto que propõe responder a este questionamento, dedicado à exploração dos temas “ilhas de calor” e “ilhas de calor em distritos industriais” onde é realizada a análise bibliométrica dos estudos já desenvolvidos.

## 2. Metodologia

Foi proposta uma análise bibliométrica visando avaliar quantitativamente a produção acadêmica relacionada à formação de ICUs no ambiente urbano e nos distritos industriais. A metodologia foi desenvolvida nas etapas apresentadas na figura 1.



Figura 1- Etapas da realização da pesquisa

### i. Definição das palavras-chave

Foram selecionadas as seguintes palavras-chave: “Urban Heat Islands” e posteriormente “Urban Heat Islands” e “industrial areas”.

### ii. Busca na base de dados

Após a definição das palavras, foram inseridos os termos na base de dados Scopus, devido a sua grande relevância e abrangência. A busca foi feita no dia 06 de julho de 2023, considerando todo o período disponível na plataforma (1967 a 2023) e retornou 9096 artigos, 1827 textos de conferências, 432 capítulos de livros e 383 livros para o termo “Urban Heat Islands”; enquanto para os termos “Urban Heat Islands” e “industrial areas”, o período de registros foi de 1985 a 2023 e foram encontrados 89 artigos e 21 textos de conferências.

### iii. Filtragem e exportação

Para a análise da produção de maior relevância, manteve-se o período de pesquisa e restringiu-se a pesquisa para os artigos completos publicados. Os dados foram exportados para um arquivo na extensão BibTeX (.bib)

### iv. Análise bibliométrica

Foi utilizada a plataforma web Biblioshiny integrada ao software R, capaz de realizar análises abrangentes de mapeamento científico, apresentando os resultados em gráficos e tabelas (Aria & Cuccurullo, 2017).

Tal plataforma apresenta interface simples e após carregar a biblioteca Biometrix, com o comando “library (biometrix)” no software R, executa-se o comando “biblioshiny ()” e então é aberta uma página na web, em que os dados previamente salvos via Scopus no formato .bib são carregados e as análises são realizadas.

Diante da vasta possibilidade de indicadores que podem ser analisados, utilizando a ferramenta supracitada, neste trabalho optou-se por verificar a produção científica por ano, as palavras-chave mais citadas, suas correlações, os termos mais citados nos últimos anos e o volume de publicações dos 10 maiores pesquisadores e os países aos quais pertencem.

## 3. Resultados

A partir da pesquisa de artigos publicados com o tema “Urban Heat Islands” na plataforma Scopus, foram encontrados cerca de 8700 artigos completos publicados desde 1967 até 2023, sendo os dez mais citados apresentados na tabela 1.



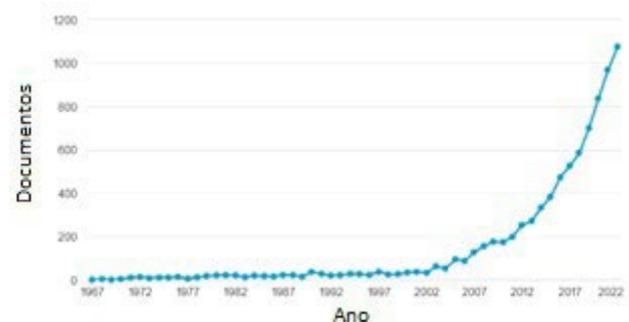
**Tabela 1:** Autores mais citados

Autor(es)	Ano	Título
Arnfield	2003	Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island
Stewart, Oke	2012	Local climate zones for urban temperature studies
Voogt, Oke	2003	Thermal remote sensing of urban climates
Oke	1982	The energetic basis of the urban heat island
Weng	2004	Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies
Oke	1973	City size and the urban heat island
Gill, Handley, Ennis, Pauleit	2007	Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure
Chen, Zhao, Li, Yin	2006	Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes
Akbari, Pomerantz, Taha	2001	Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas
Yuan, Bauer	2007	Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery

Fonte: Scopus (2023)

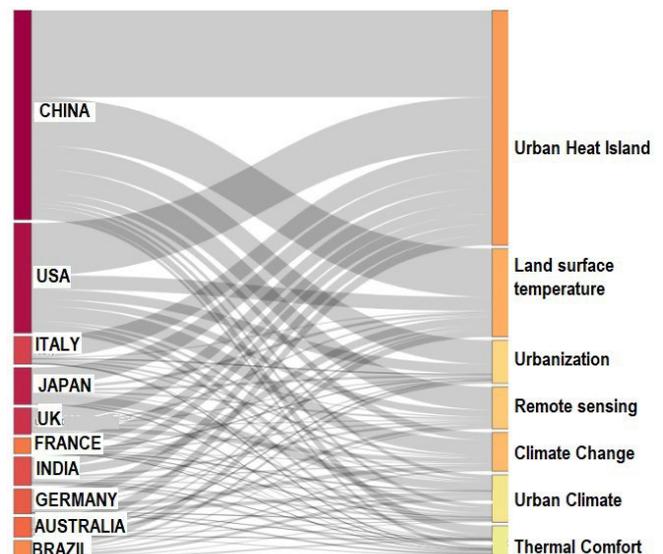
A quantidade de artigos publicados com a temática manteve-se constante do final da década de 1960 até início dos anos 2000, conforme apresentado na figura 2. Desde então, o tema se manteve em ascensão. Este

comportamento pode estar relacionado ao rápido desenvolvimento tecnológico, com o advento de equipamentos modernos, acesso dos pesquisadores a satélites potentes, a computadores com maior capacidade de processamento e talvez o mais importante: a preocupação com as mudanças climáticas acompanhada da pressão das organizações ambientais, entre elas a Organização das Nações Unidas (ONU) para implementação de medidas mitigadoras dos efeitos das atividades antrópicas no ambiente natural, em especial, no aumento da temperatura do ar. Tal ação foi traduzida no 13º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável no Brasil: ação contra a mudança global do clima (ONU, 2015).



**Figura 2-** Produção científica anual sobre “Urban Heat Islands”.

Quanto à produção científica por país, a China domina o ranking sobre o tema, sendo os 10 autores que mais publicam sobre esse tema pertencentes ao país, como pode ser visto na Figura 3. O Brasil aparece em 10ª posição e abarca todos os principais temas deste o conforto térmico ao estudo mais amplo para caracterização das ICUs.



**Figura 3-** Produção científica por país, tema principal





A análise bibliométrica se mostrou eficiente servindo como base para a pesquisa bibliográfica, permitindo avaliar a evolução da temática ao longo dos anos e fornecendo subsídios para novas pesquisas ao identificar as lacunas na produção bibliográfica.

Nota-se a presença dos pesquisadores brasileiros em temas de pesquisa amplos que abarcam desde o estudo dos fatores que influenciam as ICUs até o estudo dos índices de conforto térmico. Porém, quando a pesquisa é restrita a estudos que associam as ICUs aos distritos industriais, o Brasil não configura na lista.

Tal constatação corrobora a necessidade de ampliação do estudo das ICUs considerando o impacto dos distritos industriais sobre o microclima urbano brasileiro.

Para os próximos passos da pesquisa, as variáveis microclimáticas para um distrito industrial serão obtidas via simulação computacional e analisadas sob a ótica da análise multivariada que permite eleger as variáveis microclimáticas mais impactantes para o recorte selecionado e tecer considerações acerca da influência destas no microclima local.

## Referências

- Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70(3), 295–310. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00089-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00089-X)
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 23(1), 1–26. <https://doi.org/10.1002/joc.859>
- Bechtel, B., Demuzere, M., Mills, G., Zhan, W., Sismanidis, P., Small, C., & Voogt, J. (2019). SUHI analysis using Local Climate Zones—A comparison of 50 cities. *Urban Climate*, 28, 100451. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.01.005>
- Chen, X.L., Zhao, H.M., Li, P.X., Yin, Z, Y. (2006) Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 104, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.11.016>.
- Chen, K., Boomsma, J., & Holmes, H. A. (2023). A multiscale analysis of heatwaves and urban heat islands in the western U.S. during the summer of 2021. *Scientific Reports*, 13(1), 9570. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35621-7>
- Fialho, E. S. (2009). *Ilha de calor em cidade de pequeno porte: Caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira* [Doutorado em Geografia Física, Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/T.8.2009.tde-22022010-154045>
- Gartland, L. (2010). *Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas* / Lisa Gartland; Tradução Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. *Built Environment*, 33(1), 115–133. <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115>
- Guo, A., Yang, J., Xiao, X., Xia (Cecilia), J., Jin, C., & Li, X. (2020). Influences of urban spatial form on urban heat island effects at the community level in China. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101972. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101972>
- Huang, X., & Wang, Y. (2019). Investigating the effects of 3D urban morphology on the surface urban heat island effect in urban functional zones by using high-resolution remote sensing data: A case study of Wuhan, Central China. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 152, 119–131. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.04.010>
- Meng, Q., Hu, D., Zhang, Y., Chen, X., Zhang, L., & Wang, Z. (2022). Do industrial parks generate intra-heat island effects in cities? New evidence, quantitative methods, and contributing factors from a spatiotemporal analysis of top steel plants in China. *Environmental Pollution*, 292, 118383. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118383>
- Mondal, S., & Mishra, A. K. (2021). Complex Networks Reveal Heatwave Patterns and Propagations Over the USA. *Geophysical Research Letters*, 48(2). <https://doi.org/10.1029/2020GL090411>
- Oke, T., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. (2017). Urban Climates. In *Urban Climates*. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>
- Oke, T. R. (2002). *Boundary Layer Climates* (0 ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203407219>
- Oke, T. R. (1967). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(73\)90140-6](https://doi.org/10.1016/0004-6981(73)90140-6).
- ONU Organização das Nações Unidas. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://www.undp.org/pt/brazil/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: 18 ago. 2023.
- Pearsall, H. (2017). Staying cool in the compact city: Vacant land and urban heating in Philadelphia, Pennsylvania. *Applied Geography*, 79, 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.010>
- Prasoon Singh, Barath Mahadevan, Arindam Datta, Sinha, V. S. P., & Pahuja, N. (2017). *Heat Island Effect in an Industrial Cluster – Identification, Mitigation and Adaptation*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34462.64322>
- Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- Tran, D. X., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Myint, S. W., Caetano, M., & Kieu, H. V. (2017). Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 124, 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.01.001>
- Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370–384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)



- Wehrli, K., Hauser, M., & Seneviratne, S. I. (2020). Storylines of the 2018 Northern Hemisphere heatwave at pre-industrial and higher global warming levels. *Earth System Dynamics*, *11*(4), 855–873. <https://doi.org/10.5194/esd-11-855-2020>
- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, *89*(4), 467–483. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>
- Yang, X., Yao, L., Jin, T., Peng, L. L. H., Jiang, Z., Hu, Z., & Ye, Y. (2018). Assessing the thermal behavior of different local climate zones in the Nanjing metropolis, China. *Building and Environment*, *137*, 171–184. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.009>
- Yuan, F., & Bauer, M. E. (2007). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, *106*(3), 375–386. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.09.003>



## O AGRUPAMENTO DE CIDADES SIMILARES COMO SUPORTE PARA AVALIAÇÃO DE CIDADES INTELIGENTES

Eduardo José Maluf<sup>1</sup>, Marcius Fabius Henriques de Carvalho<sup>2</sup>, Cláudia Cotrim Pezzuto<sup>3</sup>

1. Mestrando, ejmaluf@gmail.com, PUC Campinas

2. Doutor, marcius@puc-campinas.edu.br, PUC Campinas

3. Doutora, claudiapezzuto@puc-campinas.edu.br, PUC Campinas

**Resumo:** As cidades evoluem em linha com o nível social, intelectual, moral e cultural dos cidadãos que as habitam. Desde meados do século passado pesquisadores e governos de todos os tipos e ideologias do mundo discutem e aprimoram o conceito de Inteligência na cidade, empenham-se em desenvolver e implantar programas inéditos e soluções inovadoras almejando o crescimento do nível de inteligência no atendimento das necessidades do cidadão. Muitas vezes esta busca carece de indicadores sociais mais assertivos e acesso a exemplos de sucesso, para criação de políticas públicas mais eficazes. Este trabalho se propõe a desenvolver uma metodologia para avaliação do nível de inteligência das cidades no uso, na aplicação e na distribuição dos recursos a ela disponibilizados para atendimento à população. Dados públicos selecionados e coletados, são utilizados para agrupar as cidades do estado de São Paulo segundo suas similaridades, possibilitando as gestões públicas municipais em implementação de novas políticas equitativas e inteligentes para cada grupo.

**Palavras-chave:** cidades inteligentes, cidades sustentáveis, governo inteligente, governança inteligente e governo de cidade inteligente.

### 1. Introdução

Nos últimos anos as pessoas aprenderam a viver e conviver pelo mundo digital. Relacionamentos de todos os tipos e modelos, muitos nunca imaginados, foram transformados e adaptados em um curtíssimo período de tempo – comércio digital, produção remota, levantamentos à distância, reuniões digitais, entre outros. O homem definitivamente transformou sua interação com o meio onde vive de uma forma tão contundente, que pesquisadores futuros poderão nomear este período como uma nova era.

Este novo “viver” provoca idéias novas de qualidade de vida, de formação de novos valores pessoais, de apreciação de novos prazeres, de aprendizado de novos modos de bem viver. O homem descortina a importância da qualidade de vida, passando a utilizar de forma mais incisiva e eficaz o trabalho remoto, descobrindo a possibilidade de viver em lugares mais tranquilos e agradáveis distantes fisicamente do trabalho.

Esta visão é confirmada por (Baia, 2022), que aponta para um aumento de interesse das pessoas por lugares afastados das centralidades urbanas. Novos espaços onde as pessoas poderão realizar atividades ao ar livre com distanciamento social, fazer caminhadas sem ter que andar de avião, nem sair do país.

Este novo processo de expansão urbana vem ganhando novas formas com a redução no crescimento populacional dos núcleos e das periferias metropolitanas, e acelerando o ritmo de crescimento das pequenas e médias cidades, gerando, portanto, a necessidade de se propor novos modelos de arranjos urbanos para abrigar estas novas aglomerações urbanas não metropolitanas, (Souza & Frutuoso, 2018).

Cientes que o desenvolvimento e crescimento das cidades caminha em linha com a vida em sociedade e com a evolução humana, não há como negar que as particularidades de cada cidade estão intimamente relacionadas com as pessoas que a habita e os recursos disponibilizados ao cidadão. Segundo a publicação: “Uma Cidade Inteligente é aquela com bom desempenho em seis características (Economia Inteligente, Mobilidade Inteligente, Meio Ambiente Inteligente, Pessoas Inteligentes, Vida Inteligente e Governança Inteligente), construída sobre a combinação “inteligente” de recursos e atividades disponibilizadas a cidadãos auto decisivos, independentes e conscientes (Giffinger et al., 2007) .

De acordo com Townsend, (2013) o conceito “Cidade Inteligente” permeia uma oportunidade histórica dos governos municipais repensarem um modelo de gestão mais transparente e responsivo.

Pereira et al., (2022) afirmam que a diferença estrutural entre países revela a importância do contexto histórico e institucional em sociedades diferentes para avaliar Cidades Inteligentes, e que a simples utilização de tecnologia não consegue reproduzir os mesmos resultados em países diferentes.

Independente do conceito e da metodologia de avaliação de Cidades Inteligentes elaborada pelo país, território ou região, ambos devem ser capazes de avaliar de forma contundente o estado das cidades no uso de seus recursos de forma inteligente no atendimento das necessidades do cidadão.

Uma metodologia confiável e transparente de avaliação de Cidades Inteligentes demanda a seleção de um conjunto adequado de indicadores originados em dados públicos abertos e independentes. Esses indicadores transformam as informações sobre um fenômeno complexo, como o ambiente urbano dinâmico, em uma forma relativamente mais simples de se entender (Huovila et al., 2019).

Encontra-se pelo Brasil cidades de pequeno e médio porte, com limitados recursos financeiros e com alta qualidade de vida para seus municípios, dispo de infraestrutura básica e ambiental que atendem as necessidades das pessoas, cidadãos capacitados e participantes nas políticas públicas municipais, sem que sejam disponibilizados pela cidade

quaisquer recursos tecnológicos inovadores e modernos de informação, de internet das coisas ou sistemas de monitoramento sofisticados, bem como redes móveis de dados de alta velocidade interconectadas com aplicativos de monitoramento e controle participativo, integrados e integrando a gestão pública e a população.

Por outro lado, neste país de enormes diferenças econômicas e sociais são encontradas em grandes metrópoles de largas arrecadações tributárias e vultuosos repasses de recursos financeiros, penúria de vida, proveniente muitas vezes da ausência de governança pública, carência de infraestrutura básica e muitas vezes ausência de infraestrutura verde, sistemas de transporte público complexos com baixíssima qualidade e eficiência, entretanto com modernos sistemas de monitoramento e controle que diariamente retornam dados da baixíssima qualidade do ar, da água, do transporte, entre outros, frutos da ineficiência das políticas públicas.

Considerando, portanto, as peculiaridades de cada cidade, este trabalho tem como objetivo apresentar uma forma de agrupar as cidades segundo suas similaridades. Este agrupamento visa em trabalho futuro contribuir para avaliação de cidades inteligentes e auxiliar a gestão pública na identificação de pontos fortes e pontos de melhoria de cada cidade dentro de um mesmo agrupamento, para criação de políticas públicas eficientes ao atendimento das reais necessidades dos cidadãos.

Esta classificação e agrupamento das cidades com características e aptidões similares, permitirá definir e sopesar melhor os indicadores de cidades inteligentes e identificar através de comparação entre as cidades, exemplos de programas, projetos e ações públicas de sucesso, que podem ser utilizados em cidades com características similares para o desenvolvimento de políticas públicas assertivas.

## 2. Metodologia

### 2.1 Construção da imagem da Cidade Inteligente

Para desenvolvimento deste estudo, parte-se da construção de uma imagem que represente o conceito de Cidade Inteligente, que gerencia seu desenvolvimento em vários setores chaves como: economia, mobilidade, meio ambiente, pessoas, vida e governo (Kirimtat et al., 2020). Além disso, uma boa governança pública, torna-se cada vez mais importante nas relações existente entre o Estado, o setor privado e o terceiro setor. Um dos motivos que o setor público se espelha na governança corporativa, está na grande dificuldade que tem em realizar suas ações de forma rápida e flexível, resultando na baixa qualidade dos serviços oferecidos à população (Matias-Pereira, 2010). Do exposto acima estabelece-se que a construção da imagem da Cidade Inteligente tem a Governança como elemento central, entendendo que para ela ser inteligente deve necessariamente se apoiar na transparência das ações e responsabilidade das decisões dos administradores da cidade, na eficiência da gestão pública e na indispensável participação popular.

A Governança pública tornando-se inteligente irá naturalmente promover uma sólida economia ao município,

com comunidades e pessoas preparadas e capacitadas a participar de decisões da gestão municipal, suscitando melhor qualidade de vida e bem-estar aos cidadãos.

**Figura 1** – Estrutura a Cidade Inteligente, fonte: do próprio autor



Por fim, esta combinação de economia inteligente, com pessoas e comunidades inteligentes, com qualidade de vida inteligente, irá desencadear seguramente projetos e ações eficazes, com melhoria contínua na mobilidade urbana, na segurança pública, na educação e na saúde, no lazer aos cidadãos e na proteção e recuperação do meio ambiente natural e construído, enfim, qualificando e prosperando a inteligência da cidade.

### 2.2. Seleção e coleta de dados

A partir da pesquisa realizada em diversos modelos de diferentes autores, para avaliação de Cidades Inteligentes, desenvolveu-se uma coleta de dados públicos confiáveis, disponibilizados periodicamente por entidades independentes e imparciais abaixo citadas:

- IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada);
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística);
- SICONFI (Sistema de Informações Contábeis e Fiscais do Setor Público Brasileiro);

A seguir estes dados públicos foram avaliados individualmente quanto a: periodicidade, fonte, relevância, confiabilidade, abrangência, entre outras e foram selecionados para esta metodologia com os seguintes critérios:

- Abranger o conjunto de cidades a serem avaliadas;
- Disponibilizados nos últimos três anos (de 2020 em diante);
- Que considerem as dimensões definidas na **Figura 01**;

Assim, foram selecionados para desenvolvimento deste trabalho os seguintes dados das cidades de São Paulo:

Estimativa da população em 2021 – fonte: IBGE  
Valores do PIB municipal nos setores do: Agronegócio, Indústria e Serviços (Exclusive Administração, defesa,



educação e saúde públicas e seguridade social) em 2020 – fonte: IPEA  
CAPAG (Capacidade de Pagamento) dos municípios em 2023 – fonte: SICONFI

Esta metodologia permite aplicações futuras em outros conjuntos de cidades e a agregação de novos dados públicos, desde que sejam confiáveis, periódicos, de fonte idônea, que contemplem todo o conjunto de cidades a serem avaliadas e que sejam aderentes às dimensões construídas na **Figura 1**.

### 2.3. Transformando dados em indicadores

Dados de fontes diversas, elaborados em escalas distintas, com diversidade de abrangência territorial e temporal, necessitam de tratamentos para possibilitar, por exemplo, análises de informações não disponibilizadas que dificultariam a construção de indicadores adequados (Braga et al., 2004).

Após pesquisa e coleta de diferentes dados existentes no país, propõe-se convertê-los em indicadores de forma direta ou indireta, ou seja, quando o dado possibilitar a comparação direta entre as cidades avaliadas pode-se utilizá-lo de modo direto como indicador. Este é o caso do índice de residências servidas de água potável e coleta de esgoto doméstico na cidade. Por outro lado, quando o dado apresenta informação genérica que impossibilite esta analogia, este deve ser normalizado de forma a possibilitar a comparação entre as cidades pesquisadas. Por exemplo, quando se apresenta a quantidade em quilômetros de ciclovias, deve-se dividir este dado pela quantidade total (em quilômetro) de viário existente na cidade a fim de conhecer o percentual de ciclovia que cada cidade dispõe em relação ao total do seu sistema viário. Assim, o tratamento adequado dos dados a fim de transformá-los em indicadores quantitativos, relevantes e de fácil entendimento é condição primária para desenvolvimento deste estudo.

Por fim, conforme Giffinger et al. (2007), para comparação de diferentes indicadores, se faz necessário a padronização dos valores, de forma a transformar os valores dos indicadores em valores padronizados entre zero e um, tendo a vantagem de respeitar a heterogeneidade dentro dos agrupamentos, mantendo a informação métrica do indicador. Nesta pesquisa adota-se a normalização de cada indicador, dividindo seu valor pelo valor máximo deste indicador identificado entre as cidades analisadas.

### 2.4. Seleção e classificação das cidades

Para elaboração deste trabalho definiu-se inicialmente como espaço amostral as cidades do estado de São Paulo, as quais foram divididas em quatro grupos conforme a estimativa do IBGE da população em 2021, cada um destes grupos foi dividido em três subgrupos pelo maior PIB municipal divulgado pelo IBGE em 2020, entre as seguintes categorias: Agropecuário, Indústria e Serviços (exclusive administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social). A seguir, optou-se por subdividir as cidades de cada subgrupo conforme critérios da Portaria nº

5.623, de 22 de junho de 2022 do Ministério da Economia, para análise da sua Capacidade de Pagamento para a concessão de garantias da União.

A referida Portaria (Brasil, 2022) estabelece no seu artigo 2º os indicadores econômico-financeiro para classificar a Capacidade de Pagamento (CAPAG) do município: Endividamento (DC); Poupança Corrente (PC); e Liquidez (IL). A classificação final da Capacidade de Pagamento (CAPAG) do município de 2023 é definida no artigo 4º da mesma portaria.

Por fim, esta mesma Portaria nº 5.623, no artigo 13 define que a análise de Pedido de Verificação dos Limites e Condições de operação de crédito ao município com garantia da União requerem requisitos de elegibilidade, entre eles, que o ente da federação tenha Capacidade de Pagamento (CAPAG) calculada e classificada como "A" ou "B", nos termos do disposto no art. 4º desta mesma portaria. A **Tabela 01** apresenta a estrutura dos grupos e subgrupos definidos neste estudo.

## 3. Resultados

Realizou-se as divisões e subdivisões das 645 cidades do estado de São Paulo conforme os critérios estabelecidos na metodologia sendo encontrado 502 cidades com até 50 mil habitantes de população estimada, o que representa 77,8% do total, seguido por 9,6% (62 cidades) entre 50 e 100mil habitantes, 8,5% (55 cidades) entre 100 e 300mil habitantes e 4,0% (26 cidades) com população estimada acima de 300mil habitantes.

As cidades com maior PIB no setor de serviço em 2020 representavam 76,6% ou 494 cidades do estado de São Paulo, seguidas por 14,6% (94 cidades) no setor agropecuário e 8,8% (57 cidades) no setor industrial.

No agrupamento da Capacidade de Pagamento dos Município (CAPAG – 2023), existem 272 cidades com os dados não disponíveis (nd) pois, segundo o Tesouro Nacional, a gestão pública municipal não publicou os dados necessários até a data limite da publicação.

A **Tabela 2** apresenta a quantidade de cidades existentes em cada um dos grupos listados na **Tabela 1**.

Serão analisados, dentre os 36 grupos encontrados neste estudo, os grupos 01 e o grupo 35. No grupo 01 (**Tabela 3**) observa-se que quase todas as cidades com população estimada de até 50mil habitantes, com maior PIB em 2020 no setor agropecuário e com classificação "A" na CAPAG, têm menos de 7mil habitantes, podendo assim, identificar boas práticas que podem ser aplicadas em outras cidades com características semelhantes.

Na análise do grupo 35 (**Tabela 04**), conforme conhecimento regional dos autores, é observada forte similaridade nas cidades que o compõe, possibilitando atestar a credibilidade deste estudo e proporcionando, da mesma forma da análise de grupo anteriormente, bem como dos demais grupos, o aprendizado e compartilhamento de práticas de sucesso da gestão pública municipal.



**Tabela 1** – Estrutura dos grupos e subgrupos segundo similaridades das cidades, fonte: do próprio autor.

		ESTIM. POP. 2021	MAIOR PIB 2020	CAPAG 2023
até 50mil habitantes	agropec.	A	GRUPO 01	
		B	GRUPO 02	
		C	GRUPO 03	
	indústria	A	GRUPO 04	
		B	GRUPO 05	
		C	GRUPO 06	
	serviço	A	GRUPO 07	
		B	GRUPO 08	
		C	GRUPO 09	
de 50 a 100mil habitantes	agropec.	A	GRUPO 10	
		B	GRUPO 11	
		C	GRUPO 12	
	indústria	A	GRUPO 13	
		B	GRUPO 14	
		C	GRUPO 15	
	serviço	A	GRUPO 16	
		B	GRUPO 17	
		C	GRUPO 18	
de 100 a 300mil habitantes	agropec.	A	GRUPO 19	
		B	GRUPO 20	
		C	GRUPO 21	
	indústria	A	GRUPO 22	
		B	GRUPO 23	
		C	GRUPO 24	
	serviço	A	GRUPO 25	
		B	GRUPO 26	
		C	GRUPO 27	
acima de 300mil habitantes	agropec.	A	GRUPO 28	
		B	GRUPO 29	
		C	GRUPO 30	
	indústria	A	GRUPO 31	
		B	GRUPO 32	
		C	GRUPO 33	
	serviço	A	GRUPO 34	
		B	GRUPO 35	
		C	GRUPO 36	

**Tabela 2** – Quantidade de cidades em cada um dos grupos definidos, fonte: do próprio autor.

		ESTIM. POP. 2021	MAIOR PIB 2020	CAPAG 2023	Quant. Cidades	
até 50mil habitantes	agropec.	A	GRUPO 01		8	
		B	GRUPO 02		21	
		C	GRUPO 03		11	
	indústria	nd				53
		A	GRUPO 04		10	
		B	GRUPO 05		16	
	serviço	C	GRUPO 06		1	
		nd				25
		A	GRUPO 07		35	
de 50 a 100mil habitantes	serviço	B	GRUPO 08		114	
		C	GRUPO 09		39	
		nd			169	
	agropec.	A	GRUPO 10		0	
		B	GRUPO 11		1	
		C	GRUPO 12		0	
de 100 a 300mil habitantes	indústria	nd			0	
		A	GRUPO 13		1	
		B	GRUPO 14		1	
	serviço	C	GRUPO 15		0	
		nd			1	
		A	GRUPO 16		9	
acima de 300mil habitantes	indústria	B	GRUPO 17		24	
		C	GRUPO 18		13	
		nd			12	
	agropec.	A	GRUPO 19		0	
		B	GRUPO 20		0	
		C	GRUPO 21		0	
de 50 a 100mil habitantes	serviço	nd			0	
		A	GRUPO 22		2	
		B	GRUPO 23		0	
	agropec.	C	GRUPO 24		0	
		nd			0	
		A	GRUPO 25		6	
de 100 a 300mil habitantes	serviço	B	GRUPO 26		25	
		C	GRUPO 27		12	
		nd			10	
	agropec.	A	GRUPO 28		0	
		B	GRUPO 29		0	
		C	GRUPO 30		0	
de 50 a 100mil habitantes	indústria	nd			0	
		A	GRUPO 31		0	
		B	GRUPO 32		0	
	serviço	C	GRUPO 33		0	
		nd			0	
		A	GRUPO 34		2	
de 100 a 300mil habitantes	serviço	B	GRUPO 35		18	
		C	GRUPO 36		4	
		nd			2	

**Tabela 3** – Grupo 01 de cidades com atributos semelhantes, fonte: do próprio autor.

NOME DO MUNICÍPIO	POPULAÇÃO ESTIMADA	MAIOR PIB	CAPAG
Alto Alegre	4.078	AGRO	A
Arandu	6.373	AGRO	A
Buri	20.050	AGRO	A
Lucianópolis	2.412	AGRO	A
Marabá Paulista	6.039	AGRO	A
Rubiácea	3.195	AGRO	A
Santa Cruz da Esperança	2.166	AGRO	A
Zacarias	2.784	AGRO	A



**Tabela 4** – Grupo 35 de cidades com atributos semelhantes, fonte: do próprio autor.

NOME DO MUNICÍPIO	POPULAÇÃO ESTIMADA	MAIOR PIB	CAPAG
Bauru	381.706	SERV	B
Campinas	1.223.237	SERV	B
Franca	358.539	SERV	B
Jundiaí	426.935	SERV	B
Limeira	310.783	SERV	B
Mauá	481.725	SERV	B
Mogi das Cruzes	455.587	SERV	B
Osasco	701.428	SERV	B
Piracicaba	410.275	SERV	B
Praia Grande	336.454	SERV	B
Ribeirão Preto	720.116	SERV	B
Santos	433.991	SERV	B
São Bernardo do Campo	849.874	SERV	B
São José do Rio Preto	469.173	SERV	B
São José dos Campos	737.310	SERV	B
São Paulo	12.396.372	SERV	B
São Vicente	370.839	SERV	B
Sorocaba	695.328	SERV	B

#### 4. Conclusão

Baseado nos resultados pode-se inferir que o agrupamento de cidades segundo suas similaridades é útil na precedência de avaliação do nível de inteligência das cidades, pois a partir deles pode-se construir indicadores que refletem melhor as características de cada agrupamento, bem como definir com mais clareza o peso de cada um deles.

Ademais, a comparação (entre as cidades do mesmo agrupamento) de projetos, programas e ações públicas municipais de sucesso, proporcionará uma análise mais profunda das melhores práticas usadas por cidade semelhantes, que podem e devem ser replicadas em outras cidades. Entre os possíveis benefícios estão a melhora na economia, na saúde, na educação, na mobilidade urbana, entre tantos outros setores que promoverão a qualidade de vida desejada pelo cidadão.

#### 5. Referências

- Baia, J. (2022). Retornar, não retornar ou circulação entre lugares? Diferentes práticas migratórias e seus impactos no presente e no futuro de um lugar de partida (aldeia de Montesinho). *Cidades*, 44, 19–37. <https://doi.org/10.15847/CCT.25412>
- Braga, T. M., Paula, A., Freitas, G. De, & Duarte, G. D. S. (2004). *Índices De Sustentabilidade Municipal: O Desafio De Mensurar*. 14(3), 11–33.
- PORTARIA ME Nº 5.623, DE 22 DE JUNHO DE 2022, Ministério da Economia (2022). <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-me-n-5.623-de-22-de-junho-de-2022-410048284>
- Giffinger, R., Fertner, C., Kalasek, R., & Milanović, N. P. (2007). *Smart cities-Ranking of European medium-sized cities*.

<https://www.researchgate.net/publication/261367640>

- Huovila, A., Bosch, P., & Airaksinen, M. (2019). Comparative analysis of standardized indicators for Smart sustainable cities: What indicators and standards to use and when? *Cities*, 89(June 2018), 141–153. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.01.029>
- Kirimtat, A., Krejcar, O., Kertesz, A., & Tasgetiren, M. F. (2020). Future Trends and Current State of Smart City Concepts: A Survey. *IEEE Access*, 8, 86448–86467. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2992441>
- Matias-pereira, J. (2010). A GOVERNANÇA CORPORATIVA APLICADA NO SETOR PÚBLICO BRASILEIRO. 2, 110–135.
- Pereira, C. D. M., Muniz, C. R., & Alves, A. M. (2022). *Cidades Inteligentes Sustentáveis no Brasil Uma metodologia para avaliação e diagnóstico de nível de maturidade de cidades* (PolÍTIC, Ed.; 1 ed).
- Souza, J. de, & Frutuozo, J. V. de P. (2018). Rio de Janeiro: considerações sobre os processos de expansão urbana e interiorização do crescimento (1980-2010). *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 10(1), 124–139. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.010.001.ao12>
- Townsend, A. (2013). *Smart cities: big data, civic hackers, and the quest for a new utopia*. London: Norton & Company Inc.

# Análise comparativa entre métodos de dimensionamento de pavimento flexível. Estudo de caso: Estrada municipal Boa Esperança em Campinas-SP.

Rodrigo Ramos Paixão<sup>1</sup>, Diego de Oliveira Martins<sup>2</sup> e Francis Massashi Kakuda<sup>3</sup>

1. Engenheiro Especialista, rodrigo.ramos@projepav.com.br, Projepav Engenharia
2. Professor Doutor, diegomartins@ufscar.br, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
3. Professor Doutor, francis@ufscar.br, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

**Resumo:** O presente estudo tem o objetivo de realizar análises comparativas entre três métodos de dimensionamento de pavimento flexível, mostrando propostas econômica e ambientalmente mais viáveis, para implantação do pavimento da Estrada Municipal Boa Esperança, localizada no município de Campinas-SP. Serão consideradas as Normas Técnicas vigentes para os diferentes tipos de dimensionamento, na seleção dos materiais que irão compor as camadas das estruturas propostas e, além disso, na avaliação do potencial de uso de materiais naturais, misturas *in situ* e misturas usinadas. Foram realizados levantamentos de sondagens, coletas de amostras de solo, ensaios laboratoriais, análise geotécnica e estatística dos resultados dos ensaios, determinação do número N previsto para a via, dimensionamento das estruturas dos pavimentos, análise mecanicista, estimativa de custos para cada uma das estruturas e comparativo.

**Palavras-chave:** Pavimentos flexíveis, Métodos de dimensionamento, Planejamento e gestão urbana.

## 1. Introdução

Pavimento é uma estrutura composta por camadas com espessuras finitas, implantado sobre um terreno de fundação, conhecido como subleito, e que deve ser capaz de dar suporte às cargas impostas pela ação do tráfego de veículos e às condições climáticas típicas da região. De forma geral, os pavimentos podem ser classificados como flexíveis, semirrígidos e rígidos, possuindo a finalidade de proporcionar aos seus usuários as melhores condições do ponto de vista da segurança, trafegabilidade, economia e conforto. Quanto aos tipos de revestimentos, basicamente, existem dois tipos básicos: rígidos, concreto-cimento ou flexíveis, pavimentos asfálticos (BERNUCCI *et al.*, 2006). Por décadas, escolheu-se os materiais componentes das estruturas dos pavimentos, considerando, somente, informações oriundas de ensaios empíricos. Atualmente, tem se desenvolvido novos métodos laboratoriais, que proporcionam a revisão do entendimento do comportamento das estruturas de pavimento dimensionadas, cujo conceito é conhecido como “Mecânica dos Pavimentos” (MOTTA, 2003). Levantamentos realizados pela Confederação Nacional de Transportes (CNT) (2019) demonstraram que do total de 108.863 km de Rodovias pesquisadas, 59,0% da malha rodoviária pavimentada apresenta algum tipo de problema, sendo considerada regular, ruim ou péssima. 41,0% da malha é considerada ótima ou boa e somente 12,4% da malha rodoviária brasileira é pavimentada, indicando a relevância deste estudo de caso, que visa falar sobre a necessidade

de implantarmos vias estruturalmente duráveis e em boas condições de trafegabilidade aos seus usuários.

## 2. Metodologia

A metodologia baseou-se em estudo na Estrada Municipal Boa Esperança em Campinas-SP, junto à Rodovia Dom Pedro, SP-065, km 132, Pista Norte. Na Figura 1, temos a imagem de satélite com a localização da Estrada.

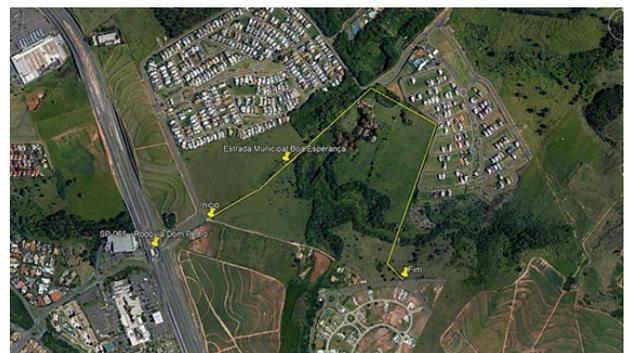


Figura 1 – Localização da Estrada Boa Esperança.

As etapas do estudo estão descritas na Figura 2.

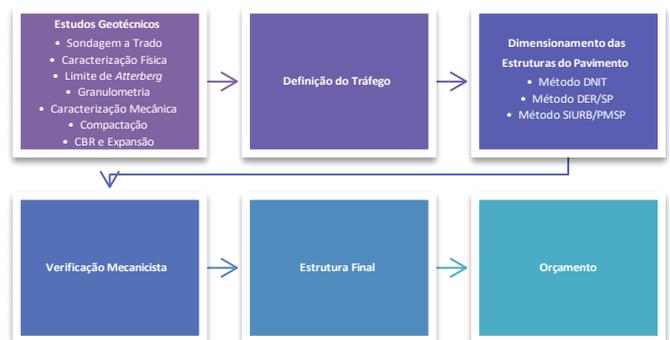


Figura 2 – Fluxograma de atividades.

Para os estudos geotécnicos foram executados 06 (seis) furos de sondagens a trado manual, conforme a norma ABNT NBR 9603, localdos topograficamente no Sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) e Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000), ver Tabela 1. As coletas das amostras de solos na cota do futuro subleito foram submetidas aos seguintes ensaios: (i) Umidade natural (h) – ABNT NBR 6457; (ii) Limite de Liquidez (LL) – ABNT NBR 6459; (iii) Limite de Plasticidade (LP) – ABNT NBR 7180; (iv) Análise Granulométrica – ANBT NBR 7181; (v) Compactação – ABNT NBR 7182 e Índice de Suporte Califórnia (ISC), do inglês, *California Bearing Ratio* (CBR) – ABNT NBR 9895.

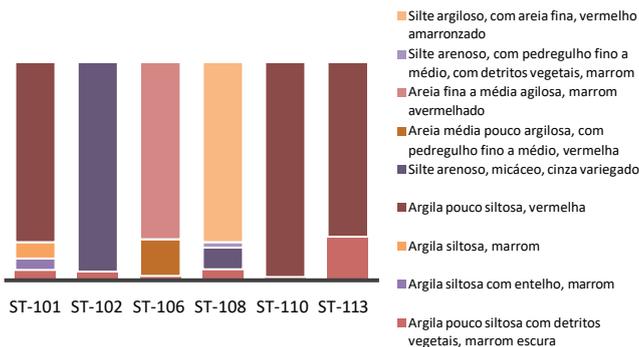
**Tabela 1 – Localização das sondagens a trado.**

Furo ID	N (m)	E (m)	H (m)
ST-101	7.471.094,905	293.396,296	636,045
ST-102	7.470.937,187	293.693,969	664,305
ST-106	7.470.791,376	293.073,610	642,363
ST-108	7.470.648,685	293.608,481	659,019
ST-110	7.470.607,499	292.745,818	667,933
ST-113	7.470.419,507	293.541,992	648,017

Com base na classificação de vias da Instrução de Projeto IP-02 (SIURB/PMSP, 2004), determinou-se o número N e Os esforços solicitantes nas estruturas dos pavimentos serão determinados por meio do programa computacional ELSYM 5, programa criado na Universidade de Berkeley, nos Estados Unidos, com a função de realizar análise elástica linear em estruturas de pavimentos rodoviários flexíveis com até 5 camadas, incluindo o subleito, considerando a aderência perfeita entre essas. Além da estrutura e da quantidade de camadas, considera as suas espessuras, módulo elástico/resiliência (E) e coeficientes de Poisson ( $\nu$ ). São consideradas 03 (três) posições, coordenadas X, Y, e a profundidade, coordenada Z.

### 3. Resultados

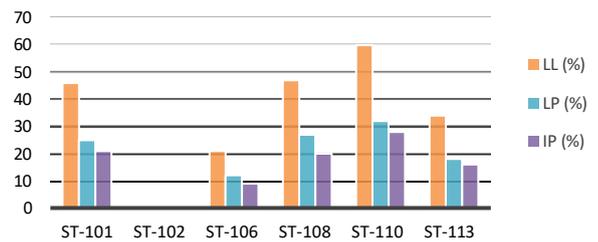
A Figura 3 apresenta um resumo das sondagens a trado realizadas, com a caracterização táctil-visual do subsolo do terreno e os prováveis solos que irão compor o subleito. As sondagens a trado permitem ainda a coleta de amostras deformadas de solo, a separação das camadas horizontais do terreno e a verificação da profundidade do lençol freático.



**Figura 3 – Sondagens a trado.**

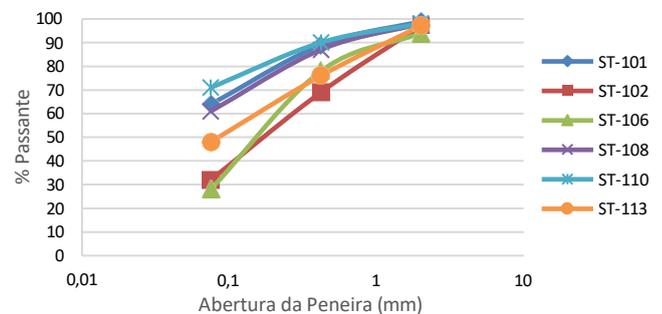
O terreno é formado predominantemente por solos silto-argilosos, marrom avermelhado. As amostras foram ensaiadas de modo a se obter os principais parâmetros de desempenho do subleito para o dimensionamento dos pavimentos, no caso, os limites de *Atterberg*, análise granulométrica, além do CBR e expansão. Os limites de *Atterberg* permitem conhecer a consistência do solo, ou seja, o estado físico que o solo se encontrará em função da presença de umidade incorporada e seu comportamento. Na Figura 4 temos um resumo gráfico dos ensaios de limites de *Atterberg*. A análise granulométrica do solo é realizada através do peneiramento em jogo sequencial de peneiras padronizadas e com malha de abertura sempre superior a adjacente, esse processo possibilita a pesagem do solo retido em cada peneira e cálculo da porcentagem. Na sequência, é traçada a curva granulométrica e feita a

classificação em função do diâmetro dos grãos.



**Figura 4 – Ensaios de Limites de *Atterberg*.**

Na Figura 5 temos as curvas granulométricas das amostras ensaiadas.



**Figura 5 – Ensaios de Análise Granulométrica.**

Os resultados indicam que os solos são heterogêneos, pois o LL variou de 21% a 60%, LP entre 12% e 32% e o Índice de Plasticidade de 9% a 28%. A granulometria dos solos apresenta variação significativa nas peneiras de (i) 0,42 mm (ponto no meio do gráfico, tanto vertical quanto horizontal), passando entre 89% e 69%, e (ii) na peneira de 0,075 mm (ponto mais baixo e a esquerda no gráfico), passando entre 28% a 71%, quanto menor a porcentagem passante na peneira de 0,075 mm, menor a presença de silte e argila. O CBR é realizado através da confecção de 5 (cinco) corpos de prova em teores de umidades diferentes, moldados na energia normal de compactação. Na sequência, os corpos de prova são imersos em água por 4 (quatro) dias, medindo sua expansão. Após, é feita a ruptura dos corpos de prova através de penetração numa prensa, a uma velocidade constante conhecida, medida a resistência a penetração, esse valor é calculado em porcentagem, sendo o valor de 100% correspondente à penetração de uma amostra de material britado padrão. Os valores de CBR são fundamentais no dimensionamento e obtenção da espessura total do pavimento (DNIT, 2006). Os resultados se encontram na Tabela 2.

**Tabela 2 – Resumo dos ensaios de umidade natural e CBR.**

Furo	Coleta (m)	h (%)	$\gamma_{s,máx}$ (g/cm <sup>3</sup> )	ISC (EN)		
				hót (%)	CBR (%)	Exp.(%)
ST-101	0,70 - 4,00	22,1	1,60	20,5	10	0,30
ST-102	0,16 - 4,00	6,2	1,67	13,8	8	2,00
ST-106	0,75 - 4,00	6,9	1,93	9,1	23	0,30
ST-108	0,30 - 3,60	19,0	1,60	19,5	4	2,30
ST-110	0,06 - 4,00	21,8	1,56	21,3	18	0,10
ST-113	0,80 - 4,00	9,9	1,82	13,0	9	0,70



O ensaio de CBR e expansão do furo ST-108 foi desconsiderado, devido a elevada expansão, pois conforme o manual de pavimentação do DNIT, publicado pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) nº 719 (2006, pág.142), a expansão deve ser inferior a 2%. Os demais valores de CBR ficaram entre 8% e 23%, com expansão de 0,10% a 2,00%. Na Tabela 3 são apresentados os resultados para o cálculo estatístico do CBR de projeto (CBRp) para os métodos de dimensionamentos estudados. Apesar do valor estatístico indicar 5%, será adotado valor mínimo obtido nos ensaios, portanto, teremos um CBRp igual a 8 % para o método do DNIT.

**Tabela 3 – CBR de projeto (CBRp).**

CBRp	n	CBR	$\sigma/s/S$	$t_{0,90}$	CBRp
DER/SP	5	13,6%	6,6%	1,53	8,6%
DNIT	5	13,6%	6,6%	-	5,3%
SIURB/PMSP	5	13,6%	6,6%	1,53	9,1%

Para a estimativa do tráfego, foi realizada uma análise do entorno e definição do tipo de tráfego para a Estrada Municipal Boa Esperança que é rodeada de loteamentos, com potencial de expansão e implantação de outros novos, assim, a pavimentação deverá comportar grande tráfego de veículos de obra, como betoneiras e de materiais de construção diversos. Portanto, definiu-se que o tráfego mais adequado deve considerar vida útil de 12 anos e o tipo pesado, cujo número N é igual a  $2,0 \times 10^7$ , solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 80 kN. Dessa forma, faz-se necessário definir as camadas componentes do pavimento, assim como, para o revestimento asfáltico considerando o  $N = 2,0 \times 10^7$  teremos o concreto asfáltico com 10 cm de espessura, visando reduzir o consumo de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), empregando-se uma camada de ligação, conhecida como ligação Binder. Portanto, teremos a divisão do concreto asfáltico em duas camadas de 5,0 cm. Para compor a camada de base do pavimento será considerada a Brita Graduada Simples (BGS), obtida por processo de britagem. A espessura mínima será de 15,0 cm. Para a camada de sub-base, estudaremos a utilização de 3 (três) opções: a) Opção Flexível 1 – Solo estabilizado com cal, estudo com solo do subleito e adição de 2%, 3% e 4%, em peso. Admitiu-se que o menor teor que atenda um  $CBR \geq 30\%$  e expansão  $\leq 1,0\%$  como o adequado, no caso 2% de cal (Tabela 4). A espessura mínima será de 15,0 cm.

**Tabela 4 – Dosagem de solo melhorado com cal.**

Mistura	Descrição	$\gamma_{s,máx}$ (g/cm <sup>3</sup> )	hót (%)	CBR (%)	Exp.(%)
1	Solo melhorado com 2% de cal calcítica	1,64	19,2	44	0,30
2	Solo melhorado com 3% de cal calcítica	1,63	19,6	73	0,10
3	Solo melhorado com 4% de cal calcítica	1,63	19,4	100	0,10

b) Opção Flexível 2 – Bica Corrida (BC), assim como a BGS, a BC, também é uma mistura obtida exclusivamente por processo de britagem. Considerou-se a espessura

mínima com 15,0 cm no dimensionamento.

c) Opção Semirrígida – Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC), uso da BGTC será apenas para o método da SIURB/PMSP, visando evitar a fadiga nas camadas asfálticas para número  $N \geq 10^7$  (SIURB/PMSP, 2004, Quadro 5.3, nota 1). Quando a BGTC é utilizada como sub-base, juntamente com uma base granular, dá-se o nome de “base invertida” (IP-05 – SIURB/PMSP, 2004, Quadro 5.3, nota 2). A posição invertida poderá mitigar a reflexão de trincas oriundas da BGTC. A espessura mínima é de 12,0 cm de acordo com a Tabela 1 da especificação técnica ET-DE-P00/009 do DER/SP (2005, pág. 5). O Reforço do Subleito (RSL) será de solo selecionado com CBR maior que o obtido no subleito, conforme item 4.2.3, subitem f do manual de pavimentação do DNIT (2006, p.106). A espessura mínima adotada será de 15,0 cm. Os resultados dos dimensionamentos dos métodos do DER/SP e do DNIT são  $N = 2,0 \times 10^7$ ;  $CBR_{SL} = 8$  e  $H_{SL} = 51,0$  cm;  $CBR_{REF} = 10$  e  $h_{REF} = 45,0$  cm;  $CBR_{SB} = 20$  e  $h_{SB} = 30,0$  cm. Os resultados dos dimensionamentos do método SIURB/PMSP são  $N = 2,0 \times 10^7$ ;  $CBR_{SL} = 9$  e  $H_{SL} = 51,0$  cm;  $CBR_{REF} = 10$  e  $h_{REF} = 45,0$  cm;  $CBR_{SB} = 20$  e  $h_{SB} = 30,0$  cm. A análise das estruturas dimensionadas será realizada comparando-se os esforços solicitantes com os esforços atuantes, para o carregamento de um Eixo Simples de Rodas Duplas (ESRD), com base na IP-DE-P00/001 do DER/SP (2006) e na IP-08 da SIURB/PMSP (2004). Para a determinação dos esforços solicitantes nos pavimentos obtidos no dimensionamento inicial foram utilizados os valores de Módulo de Resiliência (MR) e coeficientes de Poisson para o DER/SP e DNIT estão especificados na Tabela 5.

**Tabela 5 – MR e coeficientes de Poisson (DER/SP e DNIT).**

Camada	Material	Módulo de resiliência (MPa)	Coefficiente de Poisson
Revestimento	Concreto asfáltico usinado a quente	3.500	0,30
Ligação/ Binder	Concreto asfáltico usinado a quente	2.500	0,30
Base	Brita graduada	400	0,35
Sub-base	Solo melhorado com cal, CBR = 30%	200	0,40
	Bica Corrida, CBR = 30%	150	0,40
Reforço do subleito	Solo selecionado, CBR = 10%	100	0,40
Subleito	Solo existente, CBR = 8 %	75	0,40

Já a Tabela 6 especifica os valores de MR e coeficientes de Poisson para o SIURB/PMSP.

**Tabela 6 – MR e coeficientes de Poisson (SIURB/PMSP).**

Camada	Material	Módulo de resiliência (MPa)	Coefficiente de Poisson
Revestimento	Concreto asfáltico convencional	3.500	0,30
Ligação/ Binder	Concreto asfáltico convencional	1.600	0,30
Base	Brita Graduada	400	0,40
Sub-base	Brita Graduada Tratada com Cimento, BGTC	7.000	0,20
	Bica Corrida, CBR = 30%	158,9	0,40
Reforço do subleito	Solo selecionado, CBR = 10%	155,5	0,45
Subleito	Solo existente, CBR = 9%	68,1	0,45

Na sequência, temos a aferição das estruturas iniciais, através dos esforços solicitantes obtidos com a utilização do programa computacional ELSYM 5 frente aos valores obtidos com as equações dos modelos de ruptura por fadiga para as camadas asfálticas, cimentada e do subleito dos métodos estudados (BALBO, 2007). O resumo das verificações iniciais e complementares estão apresentadas nas Tabelas 7 a 17.



**Tabela 7 – Análise mecanicista DER/SP Sub-base solo cal.**

Pavimento	Camada	Parâmetro	Posição (cm)			Esforços solicitantes		Valores admissíveis		Análise
			x	y	z	ELSYM 5	Número N	Calculado	Número N	
			DER-1	Asfáltica	D <sub>0</sub> (0,01mm)	14,4	0	0,01	54	
		ε <sub>a</sub>	14,4	0	9,99	2,022E-04	4,43E+07	2,652E-04	2,00E+07	
	Subleito	ε <sub>s</sub>	14,4	0	55,01	3,516E-04	1,70E+07	3,40E-04		

**Tabela 8 – Análise mecanicista DER/SP Sub-base BC.**

Pavimento	Camada	Parâmetro	Posição (cm)			Esforços solicitantes		Valores admissíveis		Análise
			x	y	z	ELSYM 5	Número N	Calculado	Número N	
			DER-2	Asfáltica	D <sub>0</sub> (0,01mm)	14,4	0	0,01	55	
		ε <sub>a</sub>	14,4	0	9,99	2,084E-04	4,05E+07	2,652E-04	2,00E+07	
	Subleito	ε <sub>s</sub>	14,4	0	55,01	3,603E-04	1,51E+07	3,40E-04		

Observamos que o valor da deformação vertical no topo subleito é superior ao admissível nas duas estruturas acima, indicando um número N inferior ao proposto. Considerando 18,0 cm de espessura no RSL, obteve-se resultados satisfatórios, conforme Tabelas 9 e 10.

**Tabela 9 – Complementar DER/SP Sub-base solo cal.**

Pavimento	Camada	Parâmetro	Posição (cm)			Esforços solicitantes		Valores admissíveis		Análise
			x	y	z	ELSYM 5	Número N	Calculado	Número N	
			DER-1	Subleito	ε <sub>s</sub>	14,4	0	58,01	3,278E-04	

**Tabela 10 – Complementar DER/SP Sub-base BC.**

Pavimento	Camada	Parâmetro	Posição (cm)			Esforços solicitantes		Valores admissíveis		Análise
			x	y	z	ELSYM 5	Número N	Calculado	Número N	
			DER-2	Subleito	ε <sub>s</sub>	14,4	0	55,01	3,363E-04	

**Tabela 11 – Análise mecanicista DNIT Sub-base solo cal.**

Pavimento	Camada	Parâmetro	Posição (cm)			Esforços solicitantes		Valores admissíveis		Análise
			x	y	z	ELSYM 5	Número N	Calculado	Número N	
			DNIT-1	Asfáltica	D <sub>0</sub> (0,01mm)	14,4	0	0,01	54	
		ε <sub>a</sub>	14,4	0	9,99	2,022E-04	4,43E+07	2,652E-04	2,00E+07	
	Subleito	ε <sub>s</sub>	14,4	0	55,01	3,516E-04	1,70E+07	3,40E-04		

**Tabela 12 – Análise mecanicista DNIT Sub-base BC.**

Pavimento	Camada	Parâmetro	Posição (cm)			Esforços solicitantes		Valores admissíveis		Análise
			x	y	z	ELSYM 5	Número N	Calculado	Número N	
			DNIT-2	Asfáltica	D <sub>0</sub> (0,01mm)	14,4	0	0,01	56	
		ε <sub>a</sub>	14,4	0	9,99	2,084E-04	4,05E+07	2,652E-04	2,00E+07	
	Subleito	ε <sub>s</sub>	14,4	0	55,01	3,603E-04	1,51E+07	3,40E-04		

A deformação vertical no topo subleito acima superaram o admissível. Assim como nos pavimentos do DER/SP, foi necessário um RSL com 18 cm, conforme Tabelas 13 e 14.

**Tabela 13 – Complementar DNIT Sub-base solo cal.**

Pavimento	Camada	Parâmetro	Posição (cm)			Esforços solicitantes		Valores admissíveis		Análise
			x	y	z	ELSYM 5	Número N	Calculado	Número N	
			DNIT-1	Subleito	ε <sub>s</sub>	14,4	0	58,01	3,278E-04	

**Tabela 14 – Complementar DNIT Sub-base BC.**

Pavimento	Camada	Parâmetro	Posição (cm)			Esforços solicitantes		Valores admissíveis		Análise
			x	y	z	ELSYM 5	Número N	Calculado	Número N	
			DNIT-2	Subleito	ε <sub>s</sub>	14,4	0	58,01	3,363E-04	

A Tabela 15 mostra a verificação conforme SIBURB/PMSP.

**Tabela 15 – Análise Mecanicista SIBURB/PMSP SB BC.**

Pavimento	Camada	Parâmetro	Posição (cm)			Esforços solicitantes		Valores admissíveis		Análise
			x	y	z	ELSYM 5	Número N	Calculado	Número N	
			SIBURB/PMSP 1	Asfáltica	D <sub>0</sub> (0,01mm)	14,4	0	0,01	58	
		ε <sub>a</sub>	14,4	0	9,99	2,201E-04	3,45E+07	2,652E-04	2,00E+07	
	Subleito	ε <sub>s</sub>	14,4	0	55,01	3,635E-04	1,45E+07	3,40E-04		

Já a Tabela 16 mostra o complemento para SIBURB/PMSP.

**Tabela 16 – Complementar SIBURB/PMSP Sub-base BC.**

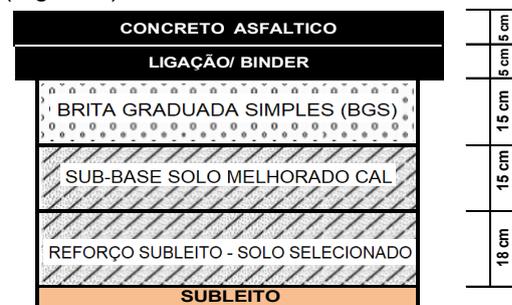
Pavimento	Camada	Parâmetro	Posição (cm)			Esforços solicitantes		Valores admissíveis		Análise
			x	y	z	ELSYM 5	Número N	Calculado	Número N	
			SIBURB/PMSP-1	Subleito	ε <sub>s</sub>	14,4	0	58,01	3,38E-04	

Considerou-se para o número N: (i) Relação da tração atuante pela de ruptura - RT = 0,783; e (ii) Tração de Ruptura BGTC - σ<sub>TRUPT</sub> = 1,0 MPa = 10,0 kgf/cm<sup>2</sup>.

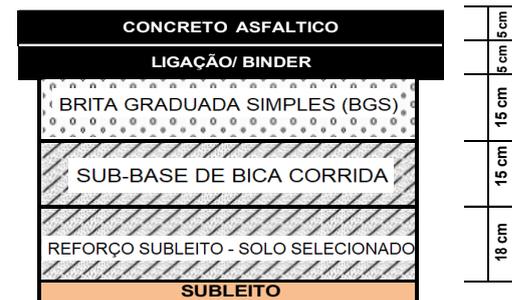
**Tabela 17 – Análise mecanicista SIBURB/PMSP SB BGTC.**

Pavimento	Camada	Parâmetro	Posição (cm)			Esforços solicitantes		Valores admissíveis		Análise
			x	y	z	ELSYM 5	Número N	Calculado	Número N	
			SIBURB/PMSP-2	Asfáltica	D <sub>0</sub> (0,01mm)	14,4	0	0,01	45	
		ε <sub>a</sub>	14,4	0	9,99	1,899E-04	5,32E+07	2,652E-04	2,00E+07	
	BGTC	RT	14,4	0	37,99	0,577	1,70E+15	0,783		
	Subleito	ε <sub>s</sub>	14,4	0	38,01	1,928E-04	2,97E+08	3,40E-04		

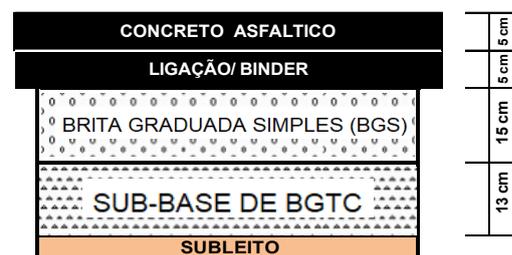
A estrutura com base-invertida atendeu os parâmetros sem necessidade de aumento das espessuras, inclusive, quando se comparam as duas colunas “Número N” da Tabela 17, nota-se que, os esforços solicitantes para as deformações e/ou rupturas nas camadas analisadas através do ELSYM 5 apresentam desempenho muito superior ao exigido. As estruturas finais para os tipos de sub-base propostas são descritas, sendo: (i) Em Solo melhorado com Cal (Figura 6); (ii) Em Bica Corrida (Figura 7); e (iii) Base-invertida, com o BGTC na sub-base e a base em BGS (Figura 8).



**Figura 6 – Pavimento-tipo DER/SP e DNIT – Opção 1 em sub-base com solo melhorado com cal.**



**Figura 7 – Pavimento-tipo DER/SP; DNIT e SIURB/PMSP – Opção 2 em sub-base com bica corrida.**



**Figura 8 – Pavimento-tipo SIURB/ PMSP – Opção 3 em sub-base de BGTC.**

Por fim, apresenta-se na Tabela 18 cálculos para os serviços de pavimentação por m<sup>2</sup>, com base nos itens das Tabelas de Preços Unitários Não Desonerados do SIURB/PMSP e do DER/SP com datas de referência de 07/2020 e de 12/2020 respectivamente.



**Tabela 18 – Memória de cálculo de pavimentação por m<sup>2</sup>.**

Refer.	Cód.	Item	Descrição	Unid.	Custo Unit. (R\$)	Memor. por m <sup>2</sup>	Custo R\$/m <sup>2</sup>		
							Opção 1	Opção 2	Opção 3
		1	<b>Limpeza</b>						
DER/SP	22.01.06	1.1.	Raspagem do terreno	m <sup>2</sup>	0,58	1	0,58	0,58	0,58
		2	<b>Abertura de caixa para pavimentação (*)</b>						
SIURB/ PMSP	05-10-00	2.1	Abertura de caixa até 40 cm, inclui escavação, compactação, transporte e preparo do subleito	m <sup>2</sup>	16,37	1	16,37	16,37	16,37
SIURB/ PMSP	05-11-00	2.2	Abertura de caixa até 25 cm, inclui escavação, compactação, transporte e preparo do subleito	m <sup>2</sup>	12,68	1	12,68	12,68	-
		3	<b>Subleito</b>						
DER/SP	23.02.01	3.1	Melhoria/ Preparo do Subleito - 100% E.N.	m <sup>2</sup>	2,02	1	2,02	2,02	2,02
		4	<b>Reforço do subleito</b>						
DER/SP	23.03.01	4.1	Reforço do subleito escav. solo escaldado	m <sup>3</sup>	7,4	1 x 0,18	1,33	1,33	-
DER/SP	23.03.03	4.2	Reforço do subleito compact. 100% E.N.	m <sup>3</sup>	5,58	1 x 0,18	1	1	-
		5	<b>Sub-base</b>						
SIURB/ PMSP	05-50-00	5.1	Sub-base de solo melhorado com aditivo químico - 2%	m <sup>3</sup>	50,38	1 x 0,15	7,56	-	-
DER/SP	23.04.03.03	5.2	Sub-base de bica corrida	m <sup>3</sup>	165,29	1 x 0,15	-	24,79	-
DER/SP	23.04.04.02	5.3	Sub-base de brita graduada com 2% de cimento em volume	m <sup>3</sup>	214,37	1 x 0,13	-	-	27,87
		6	<b>Base</b>						
DER/SP	23.04.03.01	6.1	Base de brita graduada simples (BGS)	m <sup>3</sup>	197,54	1 x 0,15	29,63	29,63	29,63
DER/SP	23.05.01	7.1	<b>Concreto asfáltico e imprimaturas</b> Imprimadura betuminosa impermeabilizante	m <sup>2</sup>	9	1	9	9	9
DER/SP	23.05.02	7.2	Imprimadura betuminosa ligante Concreto asfáltico usinado à quente	m <sup>2</sup>	3,17	1	3,17	3,17	3,17
DER/SP	23.08.02	7.3	quente- Binder graduação B com depe	m <sup>3</sup>	1.099,81	1 x 0,05	54,99	54,99	54,99
DER/SP	23.05.02	7.4	Imprimadura betuminosa ligante camada de rolamento	m <sup>2</sup>	3,17	1	3,17	3,17	3,17
DER/SP	23.08.03.03	7.5	graduação C com depe	m <sup>3</sup>	1.187,13	1 x 0,05	59,36	59,36	59,36
<b>Total (R\$/m<sup>2</sup>)</b>							<b>200,86</b>	<b>218,1</b>	<b>206,16</b>

(\*) Soma das alturas de caixa em função da espessura total do pavimento.

#### 4. Considerações Finais

A opção com solo melhorado com 2% de cal resultou na estrutura mais viável economicamente e, provavelmente, terá o menor impacto ambiental, pois utilizado o próprio solo local, o que reduzirá: (i) circulação de veículos a combustão, que alteram a qualidade do ar por lançamento de materiais poluentes na atmosfera, (ii) emissão de ruídos pela menor frequência de operação desses veículos e (iii) volume de material removido para fora. A opção em Bica Corrida (BC) é a menos viável, pois apresentou o custo mais elevado. A opção com BGTC tem a menor estrutura e, conseqüentemente, será executada em menor tempo, podendo ser considerada o melhor custo-benefício, pois concilia o segundo menor preço/m<sup>2</sup> e o melhor desempenho estrutural, suportando mais de 5,0 x 10<sup>7</sup> solicitações equivalentes de ESRD, compatível com tráfego muito pesado e passagem de 1.001 a 2.000 caminhões/ônibus por dia.

#### Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9603**: Sondagem a trado – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457**: Amostra de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9895**: Solo – Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Método de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica**: Materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, L. B. *et al.* **Pavimentação asfáltica**: Formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: ABEDA, 2006.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa: 10 fatos revelados pela Pesquisa CNT de rodovias 2019 no Brasil**. Brasília: CNT, 2019.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **IP-DE-P00/001 A**: Projeto de Pavimentação. Instrução de Projeto. São Paulo: DER/SP, 2006.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **ET-DE-P00/009 A**: Sub-base ou base de Brita Graduada Tratada com Cimento. Especificação Técnica. São Paulo: DER/SP, 2005.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Tabela de preços unitários desonerados**. São Paulo: DER/SP, 2020. Disponível em: <http://200.144.30.103/tpu-internet/>. Acesso em: 19 jan. 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Publicação IPR-719**: Manual de Pavimentação. 3ª ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

MOTTA, L. M. G. **Noções de Mecânica dos Pavimentos**. Laboratório de Geotecnia - Programa de Engenharia Civil. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2003.

SECRETARIA MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURA URBANA E OBRAS DA PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **IP-02**: Classificação de Vias: Instrução de Projetos. São Paulo: SIURB/PMSP, 2004.

SECRETARIA MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURA URBANA E OBRAS DA PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **IP-05**: Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis para Tráfego Meio Pesado, Pesado, Muito Pesado e Faixa Exclusiva de Ônibus: Instrução de Projetos. São Paulo: SIURB/PMSP, 2004.

SECRETARIA MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURA URBANA E OBRAS DA PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **IP-08**: Análise Mecanicista à Fadiga de Estruturas de Pavimento: Instrução de Projetos. São Paulo: SIURB/PMSP, 2004.

SECRETARIA MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURA URBANA E OBRAS DA PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Tabelas de Custos Data-Base Julho de 2020**. São Paulo: SIURB/PMSP, 2020. Disponível em: [https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/obras/abelas\\_de\\_custos/index.php?p=345823](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/obras/abelas_de_custos/index.php?p=345823). Acesso em: 14 ago. 2020.



## Cidades de pequeno porte e as barreiras para a mobilidade sustentável

Vinicius Luis Arcangelo Silva<sup>1</sup>, Renata Cardoso Magagnin<sup>2</sup>.

1. Mestre, [viniciusarcangelo@gmail.com](mailto:viniciusarcangelo@gmail.com), UNESP

2. Doutora, [renata.magagnin@unesp.br](mailto:renata.magagnin@unesp.br), UNESP

**Resumo:** Pesquisas no Brasil apontam que municípios com população acima de 60 mil habitantes, em função de sua pequena dimensão territorial, tendem a realizar predominantemente seus deslocamentos utilizando os modos de transportes a pé ou por bicicletas, no entanto, no Brasil há pouca divulgação de dados ou pesquisas sobre os deslocamentos urbanos em cidades de pequeno porte. Diante desse contexto, este resumo, recorte de uma pesquisa ampla, visa identificar qual é a tendência dos deslocamentos urbanos realizados em municípios com população inferior a 20.000 habitantes e suas barreiras. Definiu-se por avaliar a cidade de Piratininga (SP) com 13.765 habitantes, a partir da aplicação de questionários a uma amostra da população local de diferentes faixas etárias. Os resultados mostram a predominância da utilização do automóvel no município e alguns dos fatores que influenciam essa escolha está relacionado a flexibilidade de horário, rapidez, fácil acesso, segurança (assalto), facilidade no deslocamento e conforto ambiental. Esses dados revelam que a cidade não tem contribuído para implantar efetivamente o conceito de mobilidade urbana sustentável, ou seja, está na contramão das diretrizes da atual política de mobilidade urbana do país.

**Palavras-chave:** Mobilidade Urbana Sustentável, cidade de pequeno porte, deslocamentos urbanos.

### 1. Introdução

O processo de urbanização da maioria das cidades brasileiras, não foi acompanhado pelo incremento de uma infraestrutura correspondente para todos os modos de transportes, e especial aos modos ativos ou coletivos motorizados (Magagnin, 2008).

Nas últimas duas décadas, muitas cidades têm adotado o conceito de mobilidade urbana para tratar dos assuntos relacionados ao deslocamento de pessoas e bens na cidade. Caracteriza-se por articular ações que envolvem o planejamento de urbano e de transporte sendo resolvidos de forma integrada, a partir de estudos sobre infraestrutura, circulação, transporte público, uso do solo e meio ambiente, dentre outros aspectos (Bergman; Rabi, 2005; Brasil, 2006; Magagnin, 2008).

Incorpora ainda, de acordo com Litman e Burwell (2006), os conceitos de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, ou seja, objetiva proporcionar níveis adequados de mobilidade com ações no presente sem comprometer as condições de mobilidade das futuras gerações (Gudmundsson, 2004; Richardson, 2005; Oliveira; Rodrigues da Silva, 2015).

A mobilidade urbana sustentável pode ser definida como o resultado de um conjunto de políticas de transporte e

circulação que visa proporcionar o acesso amplo e democrático ao espaço urbano, através da priorização dos modos não-motorizados e coletivos de transporte, utilizados de forma efetiva, integrada e que não gere segregações espaciais, incorporando a inclusão social e sustentabilidade ecológica (ANTP, 2003).

No Brasil esta visão ainda é recente, e tem sido incorporada gradativamente nas discussões dos Planos Diretores de Transportes e Mobilidade (Rodrigues da Silva; Costa; Macedo, 2007; Magagnin, 2008).

A mobilidade urbana sustentável está pautada nos seguintes princípios: desestimular o uso intensivo do transporte individual motorizado, adotar o planejamento integrando ações relacionadas ao transporte e uso do solo, reduzir o consumo de energia (combustível fóssil), diversificar as opções de transporte adotando-se a intermodalidade, e reduzir os impactos ambientais (Brasil, 2004).

Esse conceito incentiva uma mudança na utilização dos modos de transportes para o uso de formas mais sustentáveis de transporte. Estimula a utilização dos modos ativos de transportes, como andar de bicicleta e caminhar (Winters et al., 2013), além dos transportes coletivos, com prioridade a adoção de veículos não poluentes.

Pesquisas apontam que muitas das cidades brasileiras e internacionais têm enfrentado diversos problemas de mobilidade urbana em diversas escalas. Dentre eles destacam-se o crescimento no número de acidentes de trânsito com vítimas, congestionamentos ou pontos de lentidão, aumento no consumo de energia no setor de transporte e o aumento nas emissões de gases tóxicos lançados no meio ambiente, tempos de viagem extremamente longos, dentre outros fatores (Brasil, 2006; Magagnin, 2008; Magagnin; Rodrigues da Silva, 2008; IPEA, 2010; 2016).

### 2. A barreiras da cidade de pequeno porte

Barreiras sociais e culturais podem interferir no uso de modos de transportes mais sustentáveis. Estudos desenvolvidos por Lavery, Páez, Kanaroglou, (2013); Escobar; Flórez; Portugal (2017) mostram que a escolha por um meio de transporte pode estar associada a fatores socioeconômicos, espaciais, a própria viagem, modalidades disponíveis, atributos da qualidade da viagem e a experiência em realizá-la.

A solução para os problemas de mobilidade urbana, de acordo com Banister (2008) não é proibir ou extinguir o uso do automóvel, mas projetar cidades que ofereçam infraestrutura de qualidade para diferentes modos de transportes, incluindo a possibilidade da não utilização do



automóvel, e assim, esta medida não interferiria na liberdade de escolha de cada cidadão.

A atual Política Nacional de Mobilidade Urbana Brasileira está pautada na Lei 12.587 de 2012 (Brasil, 2012) determina que quais municípios da federação devem elaborar um Plano de Mobilidade Urbana. Esta lei insere os municípios com população acima de 20 mil habitantes (esta definição de tamanho de população é definida a partir dos dados do Censo de 2010); aqueles integrantes de regiões metropolitanas, regiões integradas de desenvolvimento econômico e aglomerações urbanas com população total superior a um milhão de habitantes; e os integrantes de áreas de interesse turístico, incluídas cidades litorâneas que têm sua dinâmica de mobilidade normalmente alterada nos finais de semana, feriados e períodos de férias, em função do aporte de turistas (BRASIL, 2012).

O Ministério das Cidades, responsável pela definição inicial da política de mobilidade urbana no Brasil, classificou os municípios, por número de habitantes, para definir quais elementos deveriam ser incorporados na avaliação do padrão de mobilidade urbana. Foram definidas cinco classes: (i) municípios com população de 60 a 100 mil habitantes; (ii) municípios com população entre 100 e 250 mil habitantes; (iii) municípios com população entre 250 e 500 mil; (iv) municípios com população entre 500 mil e um milhão de habitantes; e (v) municípios com população superior a um milhão de habitantes (BRASIL, 2015).

Essa divisão incorporou a identificação de “padrões relativamente homogêneos de mobilidade variando diretamente com o crescimento populacional, o que nem sempre corresponde à realidade local” (Brasil, 2015, p. 156), assim é importante conhecer a realidade de cada cidade para desenvolver um planejamento adequado a cada realidade.

Segundo dados do Censo do IBGE de 2010, 84,40% dos brasileiros viviam em áreas urbanas, sendo que 45,3% desta população estava distribuída em 5.232 cidades com população inferior a 100 mil habitantes, o que corresponde a 95% dos municípios do Brasil, e 17% da população estão em cidades com menos de 20 mil habitantes. Em função da significativa representatividade, as pequenas cidades merecem especial atenção de seus planejadores e governantes (Melo; Soares, 2009; Sudário, 2017).

Embora o país tenha especificidades regionais no que se refere à mobilidade urbana, o modelo de desenvolvimento urbano brasileiro, muitas cidades não tem incorporado ao crescimento das cidades o viés de equidade e sustentabilidade espacial. A adoção de uma política de planejamento urbano pautada na expansão da malha urbana, tem contribuído para aumentar os vazios urbanos na cidade para serem disputados pelo mercado imobiliário, o que gera um acesso desigual ao território. E, com isso, muitas áreas, em especial aquelas localizadas nas áreas periféricas da cidade, são desprovidas de infraestrutura, não apenas aquelas relacionadas aos modos de transportes motorizados e não motorizados, mas também saneamento básico, segurança e iluminação (Maricato, 2003; Brasil, 2015; Silva, 2015).

Poucos dados são disponibilizados no país sobre a mobilidade urbana em municípios com população inferior a 60 mil habitantes, no entanto, ao conhecer muitos desses municípios é possível identificar alguns problemas de mobilidade presentes em cidades de pequeno, médio ou grande portes.

De acordo com dados da ANTP (2020), o transporte não motorizado, modo a pé e bicicleta, são os modos de transportes mais utilizados em todos os municípios do país, independentemente do número de habitantes. Cidades com 60 a 100mil habitantes os deslocamentos utilizando modos não motorizados são proporcionalmente maiores se comparados ao uso do transporte público e do transporte individual motorizado. No entanto, destaca-se que a utilização da bicicleta é extremamente baixa se comparada à caminhada. Ainda é visível que a escolha pela utilização do transporte individual motorizado é superior ao uso do transporte coletivo nessas cidades.

### 3. Metodologia

Esta pesquisa é classificada como exploratório-descritiva, de âmbito quantitativo-qualitativo, cuja técnica de levantamento de dados permite identificar as barreiras que podem influenciar na escolha dos individuais motorizados em detrimento dos modos ativos de transporte em uma cidade de pequeno porte, a partir de aplicação de questionário a um grupo de moradores da cidade.

As questões foram constituídas de perguntas abertas e fechadas (dicotômicas e de múltipla escolha), agrupadas em duas partes. A primeira parte apresenta uma caracterização dos respondentes e, a segunda parte é composta por informações que permitem identificar as barreiras para a utilização dos modos ativos de transportes. A amostra para aplicação dos questionários foi definida adotando como referência, a estimativa populacional calculada pelo IBGE para o ano de 2020, estimada em 13.765 habitantes. Definiu-se por adotar um nível de confiança de 95%, com erro amostral de 10%, considerando uma distribuição heterogênea (50/50).

### 4. Resultados

Para identificar as barreiras que influenciam na escolha modal na cidade foi aplicado um questionário a 117 pessoas, de ambos os sexos e de diferentes faixas etárias. A definição dos grupos etários foi proporcional a pirâmide etária calculada pelo IBGE no Censo de 2020 para o município.

A maioria dos respondentes, 68%, são do sexo feminino. E, a faixa etária predominante da amostra é de adultos com idades entre 40 a 49 anos (29,06%), seguindo pela faixa etária de 30 a 39 anos (26,50%).

Os dados comprovam o alto índice de motorização da cidade, pois 78,63% da amostra, possui pelo menos um automóvel na residência, esta informação foi detectada em todas as faixas etárias, com destaque para a faixa etária entre 18 a 59 anos. A amostra na faixa etária de 60 a 70 anos ou mais, a predominância maior foi de não ter



automóvel.

Os dados mostram que o modo de transporte utilizado pelos respondentes, com maior frequência, durante a semana, para qualquer atividade, é predominantemente o automóvel - 96,58% das respostas, observado em todas as faixas etárias. A maioria dos respondentes (77,8%) utiliza o automóvel na condição de motorista. Andar a pé ou utilizando moto corresponde a 1,71% das respostas. Nenhuma pessoa entrevistada citou utilizar a bicicleta como meio de transporte, embora o município tenha um relevo pouco acidentado e a extensão territorial é considerada pequena.

Em relação aos dados sobre o meio de transporte mais utilizado, por faixa etária, observa-se que na faixa etária entre 30 a 39 anos, a maioria, sendo 29,67% das pessoas utilizam o automóvel como motorista, seguindo pela faixa etária de 40 a 49 anos correspondendo a 28,57%, 50 a 59 anos de idade correspondendo a 17,58%, 18 a 29 anos correspondendo a 13,19%, 60 a 69 anos correspondendo a 6,59% e mais de 70 anos corresponde a 4,40%. A utilização do automóvel como passageiro é predominante na faixa etária entre 40 a 49 anos, 31,82%, seguindo por respondentes de 50 a 59 anos 22,73%, e empatando a faixa etária de 18 a 29 anos com 30 a 39 anos com 18,18%.

Os motivos que podem influenciar na escolha da utilização do automóvel como principal meio de transporte estão associados principalmente a três fatores: flexibilidade de horário para sua utilização 76,07% das respostas tendo a 1ª posição no ranking, rapidez (57,26%) com a 2ª posição no ranking e o fácil acesso ao carro (55,56%) ocupando a 3ª posição no ranking. Outros motivos foram infraestrutura inadequada (0,85%), longas distâncias (1,71%) e a questão econômica (3,42%).

Os motivos que podem influenciar a utilização do modo a pé, como principal meio de transporte, estão associados: preservação do meio ambiente com 79,49% das respostas ocupando a 1ª posição no ranking), seguindo da questão econômica (77,78% – 2ª posição o ranking), apesar de ser um motivo que leve a utilizar o modo a pé, ainda não é um motivo para abdicar o automóvel em comparação aos dados anteriores e conforto (41,03% - 3ª posição no ranking). Elementos como infraestrutura inadequada (1,71%), ausência de habilitação (1,71%) e as condições climáticas (2,56%), não foram considerados barreiras para a adoção da caminhada.

Os motivos que podem influenciar a não utilização da bicicleta como principal meio de transporte estão associados ao desgaste físico (94,02% – 1ª posição no ranking), esta foi uma resposta unânime em todas as faixas etárias; seguindo pelo fato da falta de algumas pessoas não possuírem bicicleta (82,05% – 2ª posição no ranking) e a falta de segurança, 53,85% ocupando a 3ª posição no ranking.

## 5. Considerações Finais

A configuração urbana existente também possui influência diretamente nos meios de transporte utilizados em cidades

com pequena extensão da malha urbana. Fatores como relevo e trânsito, podem contribuir positiva ou negativamente para a utilização da caminhada ou do automóvel para esses deslocamentos urbanos.

Os resultados em Piratininga, a estimativa populacional calculada pelo IBGE para o ano de 2020, estimada em 13.765 habitantes, evidenciam a predominância da utilização do automóvel para a maioria dos deslocamentos urbanos, independente da faixa etária do utilizador. Esses dados revelam que a cidade de pequeno porte não tem contribuído para implantar efetivamente o conceito de mobilidade urbana sustentável, ou seja, está na contramão das diretrizes da atual política de mobilidade urbana do país, entretanto, as barreiras sociais e culturais também auxiliam para esses resultado negativos.

Os resultados da pesquisa mostraram que 96,58% dos respondentes utilizam-se do automóvel para realização de suas atividades cotidianas, sendo 77,78% na condição de motorista e 18,80% como passageiro; esses dados se referem principalmente a faixa etária de 30 a 39 anos.

Os motivos para a escolha do automóvel como principal meio de transporte na cidade estão associados principalmente a três fatores: flexibilidade de horário para sua utilização, rapidez e o fácil acesso ao carro, sendo esse último fator associado ao alto índice de motorização da cidade.

Em síntese, a pesquisa difere-se da maioria dos estudos similares por possui seu recorte de estudo, uma cidade de pequeno porte, ou seja, um município brasileiro com uma população inferior a 20mil habitantes, que não condiz com o perfil relatado por pesquisas já existentes no Brasil.

## Referências

- ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos. **Secretaria diz como trabalhará pela mobilidade sustentável**. Informativo ANTP 101, maio, 2003.
- BANISTER, D. The sustainable mobility paradigm. **Transport Policy** 15, 73–80, 2008.
- BERGMAN, L.; RABI, N. I. A. de. **Mobilidade e política urbana: subsídios para uma gestão integrada**. Rio de Janeiro: IBAM; Ministério das Cidades, 2005.
- BRASIL. Lei Federal Nº 12.587 de 2012. **Dispõe sobre Política Nacional de Mobilidade Urbana – PNMU**, 2012
- BRASIL, Ministério das Cidades. **Mobilidade e desenvolvimento urbano** / Ministério das Cidades, Secretaria de Transporte e da Mobilidade Urbana. – Brasília: MCidades, 2006.
- \_\_\_\_\_. Ministério das Cidades. **Plano Diretor Participativo: guia para a elaboração pelos municípios e cidadãos**. 2004. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/>
- ESCOBAR, N.; FLÓREZ, J.; PORTUGAL, L. da S. **Motivos da escolha do automóvel no acesso a megaeventos: caso da Copa das Confederações 2013**, Rio de Janeiro. Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, 9(1), 68-82, 2017.
- GUDMUNDSSON, H. Sustainable Transport and Performance Indicators, In: HESTER, R.E. & HARRISON, R.M. (eds), **Transport and the Environment - Issues in**



- Environmental Science and Technology**, n. 20, Royal Society of Chemistry, CambridgeUK, p. 35-63. 2004.
- IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. In: \_\_\_\_\_. **Desafios da mobilidade urbana no Brasil**. Brasília: Ipea. 2016. (Texto para Discussão, n. 2198). IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. In: \_\_\_\_\_. **Transporte e mobilidade urbana**. 2010. (Texto para Discussão, n. 1558).
- LAVERY, T. A.; PÁEZ, A.; KANAROGLOU, P. S. Driving out of choices: an investigation of transport modality in a university sample. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 57, 37-46. 2013.
- LITMAN, T.; BURWELL, D. Issues in Sustainable Transportation. **International Journal of Global Environmental Issues**, v. 6, n. 4, p. 331-347. 2006.
- MAGAGNIN, R. C. **Um Sistema de Suporte à Decisão na internet para o planejamento da Mobilidade Urbana**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
- MAGAGNIN, R. C.; RODRIGUES DA SILVA, A. N. **A percepção do especialista sobre o tema mobilidade urbana**. Transportes. Rio de Janeiro, v. 16, p. 25-35, 2008.
- MARICATO, E. **Metrópole, legislação e desigualdade**. Estudos Avançados. vol.17 n.48. 2003
- MELO, N. A. de; SOARES, B. R. **Pequena cidade, um desafio metodológico: os instrumentos e os recursos para a pesquisa em Geografia**. In: RAMIRES, J. C. de L.; PESSOA, V. L. S. (Orgs). Geografia e Pesquisa Qualitativa: nas trilhas da investigação. Uberlândia: Editora Assis, 2009. p. 395-420.
- OLIVEIRA, G. M. de; RODRIGUES DA SILVA, A. N. **Desafios e perspectivas para avaliação e melhoria da mobilidade urbana sustentável: um estudo comparativo de municípios brasileiros**. Transportes. v. 23, n. 1, p. 59-68. 2015.
- RICHARDSON, B. C. Sustainable Transport: Analysis Frameworks. **Journal of Transport Geography**, n. 13, 29-39. 2005.
- RODRIGUES DA SILVA, A. N.; COSTA, M. S.; MACEDO, M. H. **Multiple Views of Sustainable Urban Mobility in a Developing Country – The Case of Brazil**. Proceedings of 11th World Conference on Transport Research, WCTR. Berkeley. Anais em CD. 2007.
- SUDÁRIO, N. C. dos S. **Mobilidade e acessibilidade em pequenas cidades: proposições para a inclusão dos pequenos municípios na elaboração dos planos de mobilidade urbana**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.
- WINTERS, M.; BRAUER, M.; SETTON, E. M.; TESCHKE, K. Mapping Bikeability: A Spatial Tool to Support Sustainable Travel. **Environment and Planning B: Planning and Design**, 40, 865-883, 2013.



# Sistemas de drenagem sustentável e de infraestrutura verde-azul como alternativa ao uso exclusivo de piscinões: o caso da praça São Crispim

Renata Priore Lima<sup>1</sup>

1. Doutora, renataprilima@gmail.com, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo Universidade Presbiteriana Mackenzie e Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Paulista

## Resumo

Este artigo aborda o tema do planejamento dos sistemas de drenagem urbana e o potencial de utilização de Infraestrutura Verdes-Azuis (IVAs) e Drenagem Sustentável (SuDS) combinados com os sistemas tradicionais, como estratégia de qualificação ambiental do meio urbano e de aumento da eficiência do controle de enchentes. Objetiva discutir a importância da manutenção das áreas verdes arborizadas nas cidades, avaliar os impactos da construção de piscinões sobre praças arborizadas e os benefícios da combinação de soluções cinzas com IVAs e SuDS. O recorte de estudo é a bacia hidrográfica do córrego Tiburtino, localizado no bairro Vila Ipojuca, em São Paulo/SP, onde o Plano Diretor atual (Lei 17.975/23) prevê a construção de um reservatório de águas pluviais sobre a praça São Crispim. Como resultado, lança diretrizes de intervenção urbana para a implantação de um sistema de Soluções baseadas na Natureza (SbNs) como potente ferramenta auxiliar de planejamento e projeto da paisagem alternativa ao modelo tradicional de planejamento da cidade.

**Palavras-chave:** Drenagem Sustentável (SuDS), Soluções baseadas na Natureza (SbN), Infraestrutura Verde-Azul (IVA).

## 1. Introdução

A gestão adequada da água da chuva, principalmente em tempos de mudanças climáticas, é imprescindível e urgente. Neste cenário, ganha espaço no debate urbanístico a revisão do modelo tradicional de planejamento da infraestrutura de drenagem urbana. Soluções e estudos recentes, tais como os de Herzog (2013), Pellegrino (2017) e Ghofrani, Z. et al (2017) apontam para a necessidade de desenvolvimento de novas formas de planejamento combinando sistemas tradicionais com infraestruturas verdes, azuis, dispositivos de drenagem sustentável e outras soluções baseadas na natureza, conhecidas como SbNs.

A infraestrutura de drenagem urbana e de saneamento é um aspecto central do desenvolvimento urbano que impacta diretamente nas dinâmicas urbanas presentes e futuras. Com relação ao modelo como estão planejadas, projetadas e executadas, nota-se que problemas como as fortes enxurradas e os alagamentos que ocorrem em centros urbanos brasileiros são equivocadamente justificados como fenômenos naturais provocados exclusivamente pela alta precipitação. Com efeito, estes desastres decorrem da somatória de fatores naturais

(meteorológicos e geotécnicos) e antrópicos (urbanização). Segundo Tucci (1997), as enchentes são produzidas por fatores como ocupação indevida das áreas ribeirinhas, alta impermeabilização do solo, obstruções do escoamento das águas e projetos inadequados. E são agravados, segundo Gutierrez e Ramos (2017), por mudanças do leito e canalização de córregos, redução da cobertura vegetal e alterações da topografia de vales e várzeas de inundação. Diante dos desafios climáticos e de adaptação das cidades, desponta uma linha de atuação em planejamento urbano que busca aproveitar as características dos sistemas naturais de drenagem para modificar, adaptar ou restaurar os ambientes construídos ou danificados, conhecida como Soluções baseadas na Natureza. As SbNs compreendem estratégias apoiadas ou copiadas da natureza, como Infraestrutura Verde-azuis (IVA) e Sistemas de Drenagem Sustentáveis (SuDS), que procuram associar, de forma inteligente e eficiente, as soluções naturais com soluções tradicionais, tirando partido de características, sistemas e materiais existentes no meio ambiente e utilizando os recursos de forma econômica e eficaz para atender a desafios ambientais, sociais e econômicos. Estas práticas objetivam proporcionar, simultaneamente, bem-estar humano e benefícios ambientais e podem ser complementares às soluções tradicionais.

A cidade de São Paulo apresenta um grande potencial para a aplicação de soluções combinadas (cinzas, verdes e azuis). Mas apesar de estarem recomendadas em planos, como o Plano Municipal de Áreas Protegidas, Áreas Verdes e Espaços Livres (PLANPAVEL 2022), continuam sendo pouco utilizadas. Enquanto isso, a política de saneamento reproduz o modelo de implantação de grandes reservatórios impermeáveis, conhecidos como piscinões, que em muitos casos são posicionados sobre praças.

Um caso interessante para discutir este tema, que será abordado neste trabalho, é o da bacia do córrego Tiburtino em São Paulo e do projeto de construção de reservatório de retenção de águas pluviais onde hoje existe uma praça centenária e arborizada: a São Crispim. Nesta praça, localizada na Vila Ipojuca no distrito da Lapa, encontram-se dois córregos formadores do Tiburtino. Sua preservação mobilizou a comunidade local que, desde 2019, vem buscando alternativas ao projeto do reservatório por estar preocupada com os impactos que poderá causar tanto pela retirada da cobertura arbórea quanto pela interferência nos cursos d'água e na paisagem urbana.

Pensando nesta questão, bem como na adaptação das cidades às mudanças do clima e no potencial paisagístico da Vila Ipojuca, este estudo procura avaliar os impactos da construção de um piscinão de aproximadamente 28 mil m<sup>3</sup>



na praça São Crispim e os benefícios da combinação de soluções cinzas com verde e azuis e de drenagem sustentável, bem como indicar diretrizes para um plano de drenagem para a bacia do Tiburtino.

São objetivos específicos deste estudo: (i) Discutir conceitualmente as SbNs, incluindo as SuDS e IVAS, como alternativas ao uso exclusivo de infraestrutura cinzas enquanto embasamento conceitual para o planejamento urbano; (ii) Analisar as características biofísicas (topografia, hidrografia, áreas verdes), urbanísticas e morfológicas do recorte da sub-bacia hidrográfica do córrego Tiburtino e avaliar a possibilidade de implantação de SbNs; (iii). Apresentar soluções de infraestruturas verde-azuis e de SuDS, combinadas com infraestruturas cinzas para a elaboração de um plano de drenagem que possibilitem a requalificação ambiental e urbana da Vila Ipojuca e evitem a construção do reservatório de águas pluviais da praça São Crispim.

A hipótese formulada para esta pesquisa considera que, diante das modificações antropogênicas do ambiente, em resposta ao avanço da ocupação urbana e às mudanças climáticas, as Infraestrutura Cinzas (ICs) combinadas com Infraestruturas Verde-azuis e SuDS são complementares e tornam o sistema mais eficiente e menos impactante ambientalmente, evitando o uso exclusivo das infraestruturas cinzas. A aposta é que estas técnicas poderiam estar melhor integradas ao planejamento urbano no que tange o controle de enchentes, a recuperação de corpos hídricos, a recarga de mananciais e a melhoria da qualidade da água, dos ecossistemas e da paisagem urbana.

## 2. Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi adotado um conjunto de procedimentos metodológicos, incluindo: (i). revisão da literatura especializada sobre SbNs, SuDS e IVAS e sua aplicação em ambientes urbanos consolidados combinada com as infraestruturas tradicionais; (ii). Contextualização do caso da praça São Crispim, a partir de visitação *in loco*, registros fotográficos e conversas com lideranças comunitárias e moradores; produção e análise de mapas de uso e ocupação do solo, sistemas de transporte, sistema de áreas verdes, topografia e corpos d'água, elaborados a partir do levantamento de dados como imagens de satélite, mapas históricos e bases cartográficas oficiais, como a plataforma Geosampa; (iii). Análise de planos urbanos como o PLANPAVEL (2022), a revisão do Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo (2023); e o projeto do Reservatório de Águas Pluviais (RAP) da Praça São Crispim, elaborado pela Secretaria de Infraestrutura Urbana da Prefeitura Municipal de São Paulo (HidroStudio/SIURB/FCTH); (iv). Elaboração de diagnóstico urbanístico e formulação de diretrizes de desenvolvimento de um plano de drenagem para a bacia estudada.

## 3. Resultados

As atuais infraestruturas de drenagem implantadas na cidade de São Paulo seguem a lógica de funcionamento

dos sistemas tradicionais, conformados predominantemente por infraestruturas cinzas que podem ser explicadas por três palavras iniciadas com a letra D: Drenam (*Drain*), Direcionam (*Direct*) e Despacham (*Dispatch*) as águas urbanas, para fazer a gestão da água da chuva. Já as SbNs seguem a lógica "S" formada por três palavras escritas em inglês que começam com a letra S: *Slow*, que significa a redução da velocidade do fluxo da água, diminuindo o risco de enchentes; *Spread*, que espalha a água para as raízes das plantas e áreas permeáveis; e *Soak*, que infiltra a água no solo ou faz a percolação da água para o reabastecimento do lençol freático (UACDC, 2010). As infraestruturas cinzas são imprescindíveis para disciplinar as águas, principalmente em tecidos urbanos consolidados, mas seus impactos ambientais podem ser muito significativos, especialmente quando incluem o desmatamento das escassas vegetadas da cidade.

Por outro lado, as SbNs compreendem estratégias inspiradas, apoiadas ou copiadas da natureza, que visam atender a desafios ambientais, sociais e econômicos, a fim de proporcionar, simultaneamente, bem-estar humano e benefícios à biodiversidade. São desenvolvidas de acordo com as características de cada localidade e consistem em ações utilizadas para proteger, restaurar e gerenciar, de forma sustentável, ecossistemas naturais ou modificados. Para isso, aproveitam ou potencializam características, sistemas e materiais existentes na natureza, por meio de intervenções sistêmicas, utilizando os recursos de forma econômica e eficaz a fim de minimizar os efeitos das ações antrópicas sobre o território e construir ambientes resilientes (European Commission, 2021).

O conceito de Soluções baseadas na Natureza (SbN ou NbS, em inglês) pode ser explicado como um guarda-chuva que abriga outras linhas conceituais e metodológicas como: Infraestrutura Verde-azul (IVA) e Sistemas de Drenagem Sustentável (SuDs), entre outras (Comissão Europeia, 2021).

As IVAs podem ser compreendidas como um método de planejamento e de projeto que procura pautar a adaptação das cidades ao território. Segundo Sant'Anna (2020), estão relacionadas com uma estratégia interdisciplinar que considera a importância da ação humana colocada em harmonia com os processos e os recursos naturais, fortalecendo seus significados, potenciais estéticos, valores culturais, patrimoniais e sociais.

As IVAs compõem um sistema de áreas verdes e de corpos d'água que estruturam a paisagem e os ecossistemas urbanos e contribuem significativamente com o escoamento da água da chuva.

Segundo Ghofrani (2017), precisam ser interpretadas como elementos de detenção e retenção que podem ser pensados como um sistema composto por corpos d'água, áreas verdes, arborização viária, bosques, praças, parques nucleares e lineares, matas ciliares, APPs, hortas, entre outros que podem ser implantados desde a escala regional até a do lote.

As IVAs são complementares às infraestruturas cinzas e às SuDS, e apresentam muitas vantagens quando pensadas

conjuntamente dentro de um mesmo sistema, já que potencializam o impacto dos elementos individuais quando são interconectados em forma de rede. A utilização de soluções deste tipo tende a impactar a qualidade ambiental dos espaços, e se coloca entre as ações fundamentais para a adaptação das cidades aos efeitos das mudanças climáticas.

A vegetação, com destaque à arbórea, é parte desses sistemas que refletem no microclima e na proteção de características biofísicas locais, constituindo-se como elemento central das IVAs. A arborização urbana sombreia as calçadas, auxilia no controle das temperaturas das superfícies, produz um aumento da permeabilidade do solo, valoriza a paisagem, humaniza a cidade e contribui com a preservação da biodiversidade do meio urbano. Também protege os corpos d'água, filtrando a poluição difusa, evitando assoreamento, desacelerando, absorvendo e liberando água, o que auxilia no controle da vazão dos seu fluxo.

Complementares às IVAs, os Sistemas de Drenagem Sustentável consistem em técnicas que combinam soluções de engenharia com o paisagismo urbano funcional. Em sua metodologia, consideram as características morfológicas do relevo, valorizam e priorizam as margens dos córregos e demais corpos d'água para facilitar a infiltração da água ou deter o escoamento superficial decorrente da impermeabilização do solo.

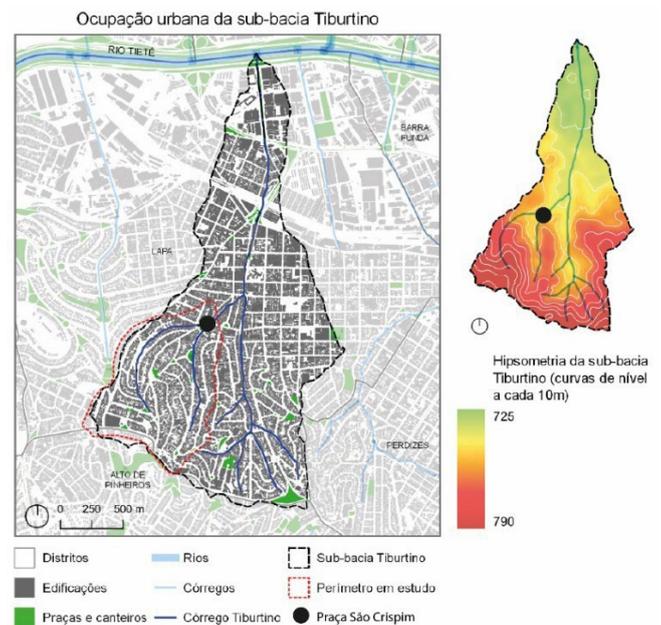
Os SuDS reduzem o transbordamento de águas pluviais, protegem o ciclo natural das águas, promovem filtragem da água, do ar e colaboram com o microclima local, previnem a contaminação das águas e colaboram com a manutenção das áreas verdes e naturais. Abrangem uma série de ações e de sistemas construtivos que incluem tecnologias alternativas às soluções clássicas de drenagem urbana por meio da utilização de jardins de chuva, biovaletas, poços de infiltração, trincheiras e valas ou valetas de infiltração e detenção, geralmente recobertas por vegetação, estacionamentos verdes, superfícies permeáveis, tanques modulares de infiltração, tanques modulares de armazenamento, drenagem vertical e horizontal, eco-valas. (Susdrain, 2019).

Devem ser planejados como sistemas de biodrenagem, organizados por elementos interconectados à rede de drenagem tradicional. Permitem a retenção e o tratamento das águas na sua origem; e evitam a sobrecarga dos sistemas cinzas em períodos de alta precipitação, por reduzirem os processos de arraste e erosão. Promovem o uso mais eficiente da água, respeitando os recursos naturais e valorizam a integração paisagística e ambiental da urbanização. A depender de como são planejados e projetados, podem se desenvolver também como espaços de lazer e de trocas sociais (Susdrain, 2019).

A adoção dessas soluções é intrínseca às questões de ordenamento territorial, razão pela qual é fundamental que sejam planejados a partir de uma abordagem integrada e preferencialmente simultânea de elaboração de planos e projetos urbanísticos, de drenagem e de manejo de águas urbanas, pluviais e fluviais, entre outros (Herzog, 2013). Em São Paulo, existem experiências que caminham no sentido

da incorporação dessas soluções, mas esse não é o caso da bacia do córrego Tiburtino.

O córrego Tiburtino, cuja cabeceira está formada por um conjunto de aproximadamente sete nascentes e três contribuintes, nasce na parte mais alta do bairro da Lapa, nas imediações da avenida Cerro Corá. Seu deságue ocorre 3,5 km mais adiante, no rio Tietê, e sua canalização foi realizada a partir de 1947. O curso do córrego é interceptado por duas linhas de trem que conectam o interior do estado ao porto de Santos. São frequentes os alagamentos neste ponto de cruzamento, que causam muitos transtornos aos usuários do transporte público, bem como aos comerciantes e aos frequentadores do Mercado da Lapa, evidenciando a insuficiência do sistema de drenagem implantado e a necessidade de novas intervenções (figura 1).



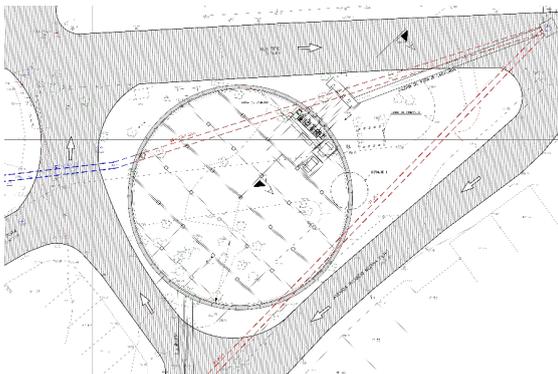
**Figura 1-** Localização da área de estudos. Elaboração própria com base em dados do Geosampa (2022).

À jusante do Mercado da Lapa, na região da Lapa de Baixo, o modelo de urbanização segue um traçado tradicional. O uso do solo é misto, e as áreas verdes são escassas. A ocupação do solo é heterogênea e contém muitos galpões industriais. À montante, na região das nascentes, o traçado das ruas é orgânico e acompanha o relevo acentuado e as curvas de nível. Nesta porção, está localizado o bairro da Vila Ipojuca, que possui uma boa quantidade de áreas verdes e praças bem arborizadas, constituindo uma região de uso predominantemente residencial horizontal.

O bairro foi projetado em 1920 e é vizinho à Bela Aliança, também conhecida com City Lapa. Suas características guardam semelhança com o modelo de Cidade-Jardim de Howard (1965), pois respeitam a topografia natural do terreno, têm baixa densidade construtiva e gabaritos de altura predominantemente de dois pavimentos. O percurso natural do córrego e a localização nascentes, apesar canalizados, coincidem com o sistema de áreas verdes do

loteamento que se interconectam por passagens de pedestre e vielas sanitárias (Lima et al, 2022). Mas apesar dessas particularidades e da boa qualidade ambiental da área, a construção de um piscinão ocupando grande parte da praça São Crispim foi reafirmada na revisão do Plano Diretor recentemente aprovada.

O projeto foi desenvolvido pela Hidrostudio/SIURB/FCTH em 2007, e retomado em 2019, quando foi mal recebido pela população local. Depois da pandemia da Covid 19, em 2022, foi uma vez mais desengavetado e inserido nesta revisão, contrariando as recomendações dos movimentos sociais de proteção da praça. O projeto é controverso porque causará um grande impacto ambiental com o desmatamento e a completa impermeabilização do solo. A solução apresentada também não dialoga com outras questões relevantes da matriz territorial local e das dinâmicas urbanas (figura 3).



**Figura 3-** Planta do reservatório da praça São Crispim.  
Fonte: Hidrostudio/ SIURB/ FCTH (2007).

Os piscinões apresentam grande capacidade de retenção, mas também podem provocar alto desperdício de água. Sua utilização pode ser necessária em casos extremos, mas não se aplica em qualquer área da cidade, principalmente sobre áreas verdes drenantes e filtrantes. Sua adoção indiscriminada é parte de uma política de drenagem antiga da cidade de São Paulo e já bastante sacramentada, que privilegia soluções tradicionais, mas que descarta soluções menos impactantes, mais eficientes técnica, estética e ambientalmente como as SbNs, o que pode ser verificado na revisão do Plano Diretor Estratégico de São Paulo, que apesar de recomendar o uso de SbNs, apresenta como proposta de drenagem essencialmente a construções de reservatórios de retenção tradicionais como os piscinões (PMSP. Lei Nº 17.975/23. Mapa 12). Estes reservatórios retêm parte da água superficial de uma bacia hidrográfica, mas a água é captada após lavar as ruas, e armazenada suja e cheia de lixo no reservatório, onde estes dejetos são acumulados. Além de serem obras caras do ponto de vista econômico, social e ambiental significam, como é o caso da São Crispim, seu desmatamento ignorando o fato de que a praça já cumpre uma função drenante e presta outros serviços ecossistêmicos. Esta área verde, que tem uma superfície de aproximadamente 3 mil m<sup>2</sup>, contém um maciço arbóreo centenário que refresca a região nos dias quentes.

Contrasta com a enorme massa cinza que a circunda com suas ruas, construções, pátios e demais pisos impermeabilizados. A retirada das árvores afetaria negativamente os aspectos paisagísticos e climáticos pois, tal como está hoje, faz a retenção de poluição difusa, favorece a infiltração das águas da chuva e abriga inúmeros seres vivos que promovem a biodiversidade local. Além disso, sua existência é fundamental na regulação do microclima local, reduzindo a temperatura e a incidência de raios solares, o que impacta positivamente no regime de chuvas e evita a formação de ilhas de calor e garante o conforto ambiental.

A partir do diagnóstico urbanístico realizado para a bacia do Tiburtino nesta pesquisa, nota-se que a região apresenta um grande potencial para a implantação de IVAs e de SuDs. Esta vocação está relacionada com características urbanísticas que já foram delineadas no projeto original do loteamento e que precisam ser preservadas no processo de planejamento presente e futuro.

Outro aspecto importante da configuração natural dessa área é que o córrego nasce limpo a menos de um quilômetro da praça, na parte mais alta da Lapa, e mereceria um projeto mais cuidadoso e integrado à estrutura urbana da cidade e ao sistema de áreas verdes existente, do qual já faz parte, evitando que as águas pluviais sejam tratadas como resíduo.

Entre as várias possibilidades de intervenção identificadas para a área, considera-se a utilização de dispositivos de SbN como hortas comunitárias, sistema de pré-tratamento das águas pretas, parques inundáveis, biovaletas, jardins de chuva, trincheiras de contenção, escadas hidráulicas, jardins filtrantes, valas de infiltração e micro-reservatórios de retenção. Também seria interessante pensar em dispositivos para reuso de água pluviais em terrenos públicos e privados, e a renaturalização de trechos do rio onde for possível a recuperação das APPs.

Uma intervenção específica, recomendada pela comunidade local, é a implantação de um corredor verde entre a praça São Crispim e a Dr. Otávio Perez Velasco através da passagem de pedestre que existe nos fundos dos lotes por onde o córrego Tiburtino passa canalizado (figura 2).



**Figura 2-** Praça São Crispim e passagem que a conecta à praça Otávio P. Velasco. Foto: Renata Lima, 19/08/2021.

Ao longo deste percurso, podem ser projetadas lagoas de biorretenção, poços de infiltração, jardins de chuva e biovaletas para coletar e estocar a água limpa, bem como implantadas valas drenantes e trincheiras pluviais para a redução da velocidade do escoamento superficial da água da chuva. O aumento da cobertura vegetal, a partir de um



paisagismo realizado ao longo desta rota e de ruas do entorno também seria importante para aumentar a cobertura vegetal. Outra intervenção possível, que tiraria partido das condições naturais do sítio, seria a substituição da pavimentação tradicional da viela sanitária por pisos drenantes, pois a maior parte do volume de chuva desta parte da bacia escoava para lá.

O projeto do reservatório apresentado pela SIURB em 2022 para a Praça São Crispim apoia-se na defesa de resolução do problema do alagamento na região do Mercado Municipal da Lapa. Apesar da questão ser grave, certamente existem outras soluções tais como as apresentadas. Se o uso de um reservatório deste tipo for imprescindível, é possível que seja construído em outro ponto da bacia, inclusive sob o sistema viário, ou poderia ser subdividido em reservatórios menores, localizados em terrenos impermeabilizados ou degradados, e associados com SbNs, tais como a praça Nicola Festa ou o cruzamento das ruas Mota Paes, Jaricunas e Francisco Alves. Neste caso, a infraestrutura cinza trabalharia conjuntamente com as IVAs e os SuDS, potencializando sua eficiência.

#### 4. Considerações Finais

Ganha espaço no debate urbanístico a revisão do modelo tradicional de infraestrutura urbana, onde os sistemas de drenagem e de saneamento adquirem protagonismo. Nesse cenário, amplia-se o conhecimento técnico sobre as possibilidades de combinar redes de infraestruturas cinzas com infraestruturas verdes e azuis e dispositivos de drenagem sustentável, trazendo esperança para pensar o futuro com cidades mais verdes, mais azuis, mais vivas e humanas.

Mas apesar das SbNs serem conhecidas e recomendadas por planos municipais, na prática, as obras de drenagem em implantação em São Paulo dialogam pouco com a sua matriz territorial e acabam gerando muito impacto ambiental, paisagístico e social, e em diversos casos não solucionam completamente o problema das enchentes. Esta cultura urbanística precisa ser repensada especialmente em tempos de mudanças climáticas.

Procurou-se ao longo deste artigo ressaltar que a implantação de IVAs e SuDS, apresenta inúmeras vantagens e benefícios para a cidade, mas não pode ser pensada separada dos sistemas tradicionais de drenagem, mas como complemento. A adoção dessas soluções é intrínseca às questões de ordenamento territorial, razão pela qual é fundamental serem planejadas a partir de uma abordagem integrada.

Por outro lado, a remoção de maciços arbóreos para a construção de piscinão não deveria ser considerada, uma vez que a cidade possui enormes áreas impermeabilizadas. Ao contrário, precisam ser ampliados e pensados como auxiliares na drenagem urbana.

No caso estudado, a decisão de construir um reservatório na praça São Crispim chama a atenção porque a área compõe um sistema de áreas verdes estrategicamente previsto no projeto original do loteamento, e deve ser mantido como área verde.

Outras praças arborizadas da cidade também foram escolhidas para a construção de piscinões, tais como a Rio dos Campos, na Pompéia. Considera-se que estas ações precisariam ser reconsideradas nos futuros planos de drenagem.

Quanto às SbNs lançadas neste estudo para a praça São Crispim e seu entorno, sugere-se que, a nível de continuidade, sejam espacializadas, detalhadas e verificadas a partir de cálculos e modelos hidrológicos. Conclui-se que é possível solucionar os problemas das enchentes tirando partido das potencialidades territoriais, ambientais dos maciços arbóreos, das águas pluviais e fluviais, e não encarando-os como ameaça.

#### Referências

- HERZOG, Cecilia Polacow. *Cidades para Todos: (re)aprendendo a conviver com a Natureza*. São Paulo: Mauad Editora, 2013.
- GHOFRANI, Z. et al. A Comprehensive Review of Blue-Green Infrastructure Concepts. *International Journal of Environment and Sustainability*. Vol. 6 No. 1, 2017, pp. 15-36. [https://www.researchgate.net/publication/316778761\\_A\\_Comprehensive\\_Review\\_of\\_Blue-Green\\_Infrastructure\\_Concepts](https://www.researchgate.net/publication/316778761_A_Comprehensive_Review_of_Blue-Green_Infrastructure_Concepts)
- GUTIERREZ, A. I. R & RAMOS, I. C. D. *Drenagem urbana sustentável para a concretização de metas de ODS/ONU*. ArchDaily Brasil. 04 Jul 2019.
- HOWARD, E. *Garden cities of Tomorrow*. Londres: Faber & Faber, 1965.
- LIMA, R. P.; GUNDIM, L. L. S.; MARTINS, R. S.; RUIZ, M. F. *Infraestrutura Verde-Azul como Potencial de Transformação de Bairros-Jardim: o caso da Vila Ipojuca em São Paulo*. XVI SIIU. UFPR/ UPC, 2022.
- PELLEGRINO, P. *Estratégias para uma Infraestrutura Verde*. São Paulo: Editora Manole Ltda, 2017.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO - PMSP. *Lei Nº 17.975/23*. Dispõe sobre a revisão intermediária do Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo, 2023.
- PMSP. *Plano Municipal de Áreas Protegidas, Áreas Verdes e Espaços Livres - PLANPAVEL*. São Paulo, 2022.
- PMSP/ FCTH. *Plano Diretor de Drenagem – PDD*. São Paulo, 2022.
- SANT'ANNA, C. G. *A Infraestrutura Verde e sua contribuição para o desenho da paisagem da cidade*. Tese de Doutorado. FAU UNB. Brasília, 2020.
- TUCCI, Carlos E. M. Plano Diretor de Drenagem Urbana: princípios e concepção. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol. 2 n.2 Jul/Dez 1997, 5-12.
- UACDC – University of Arkansas Design Community Center. *Low Impact Development: A Design Manual for Urban Areas*, 2010. <http://uacdc.uark.edu/work/low-impact-development-a-design-manual-for-urban-areas>.
- SUSDRAIN. *The SuDS Manual*. London: CIRIA/ Susdrain, 2019.,



## Índice de Integridade Biótica – estudo preliminar para Sorocaba - SP

Tatiane Galvão<sup>1</sup>, Lucas Hubacek Tsuchiya<sup>2</sup>, Sandra Mauren Ell<sup>3</sup>, Alexandre Marco da Silva<sup>4</sup>

1. Engenheira Civil, [t.galvao@unesp.br](mailto:t.galvao@unesp.br), Mestranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba – Unesp.
2. Engenheiro Ambiental MSc, [lucas.hubacek@unesp.br](mailto:lucas.hubacek@unesp.br), Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba – Unesp.
3. Engenheira Civil MSc, [mauren.ell@unesp.br](mailto:mauren.ell@unesp.br), Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba – Unesp e Professora Coordenadora do curso de graduação em Engenharia Civil da UNIP – Unidade Sorocaba.
4. Professor Associado. Departamento de Engenharia Ambiental, [alexandre.m.silva@unesp.br](mailto:alexandre.m.silva@unesp.br), Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba - Unesp.

**Resumo:** Vários são os índices usados para avaliações de qualidade ambiental. Aqui usamos o Índice de Integridade Biótica (IIB), já amplamente usado em países europeus, mas ainda pouco explorado em estudos realizados no território brasileiro. O índice permite em obter dados sobre proporções de área de classes de cobertura da terra, atribuir um coeficiente em função de atributos ecológicos previamente determinados e, em seguida, efetuar o cálculo, que corresponde basicamente a uma média ponderada. Para o presente trabalho consideramos o município de Sorocaba-SP como área de estudo. A partir de um mapa de cobertura da terra elaborado com dados de 2016, procedemos com as estimativas. O mapa possui seis classes de cobertura, sendo que a classe “área urbana” foi a que apresentou predominância (31,4%), ao mesmo tempo em que foi a ela atribuído o valor mais baixo do coeficiente para cômputo do IIB. O valor final geral foi 0,098, o qual foi influenciado pelo coeficiente ponderado da “área urbana”. Destacamos que este projeto é o início de um projeto maior cujo objetivo é obter dados mais detalhados e atualizados, visando gerar valores finais mais apurados. Concluímos que o uso do índice é plenamente possível para a realidade brasileira e de utilidade em estudos ambientais locais e regionais.

**Palavras-chave:** Modelagem Ambiental, Resiliência, Sustentabilidade.

### 1. Introdução

#### 1.1. Índice de Integridade Biótica (IIB) - conceito e histórico do índice

O índice de integridade biótica ou índice de área biótica (codificado aqui como IIB) é uma ferramenta para aferir as propriedades absorventes de uma superfície. Constitui um indicador ecológico desenvolvido para avaliar a qualidade ecológica local e otimizar o uso visando um aprimoramento sustentável (UGL, 2019; Kaçmaz, 2021).

A proposta do índice surgiu na Alemanha em 1976, após a adoção da lei de conservação da natureza e, nas últimas três décadas, esse fator foi inicialmente incorporado às práticas urbanísticas de diversas cidades para espaços subutilizados, como muros e telhados (UGL, 2019). É

valorizado porque oferece uma abordagem flexível para conciliar políticas de densificação e meio ambiente.

Foi originalmente desenvolvido para ser usado em uma escala detalhada e em áreas predominantemente urbanizadas. Porém, pesquisadores têm considerado o uso deste índice utilizando bases digitais (imagens de satélite) com resolução mediana e em outras classes de cobertura além da urbana, permitindo geovisualizar o nível de alteração das áreas antropizadas (Peroni et al., 2019; Lotto et al., 2022).

O IIB é um indicador aplicado ao campo em vários tipos de espaços para o complemento e melhoria pensada para abordagens práticas para o planejamento ambiental e como uma alternativa de gestão de ambientes no estabelecimento de planos básicos para cidades sujeitos a avaliação de impacto ambiental.

Considerando o problema das mudanças climáticas, que afeta qualidade de vida e até sobrevivência dos mais vulneráveis, o uso deste índice proporciona uma forma de auxílio na resolução de problemas ambientais, como por exemplo, inundações urbanas, indicando locais que necessitam revisão sobre o grau de impermeabilização do solo, por exemplo (UGL, 2019).

#### 1.2. O Uso do IIB

O IIB permite a classificação com base nas seguintes funções: evapotranspiração, absorção de poeira fina, infiltração e armazenamento da água da chuva, função do solo e habitats para animais e plantas. No IIB se considera a inclusão de plantas de cobertura do solo, arbustos, pavimentação permeável, telhados verdes, paredes vegetadas, cursos d'água artificiais, jardins de águas pluviais, plantas tolerantes à seca e áreas paisagísticas. Cada tipo de superfície é dado com um peso que varia de 0,1 a 0,7 (Song & Kil, 2018).

A ferramenta é plenamente compatível para uso integrado em ambientes de sistemas de informação geográfica, com respostas rápidas e ampla possibilidade de simulações (De Lotto et al., 2022). Torna-se importante incluir o IIB desde a fase de planejamento em vários tipos de projetos, principalmente, os de grande escala que são sujeitos a avaliação de impacto ambiental, por exemplo: desenvolvimento de conjuntos habitacionais, projetos de planejamento urbano, projetos industriais entre outros.

Em termos operacionais, ainda que em sua forma original o índice seja dividido em um total de 13 tipos de superfície, há possibilidade de adaptação conforme os objetivos ou mesmo conforme o material disponível para o estudo. Em seguida, diferentes pesos são dados às classes de cobertura, dependendo de seu valor ecológico. Aplica-se então o valor, em termos proporcionais, de áreas conforme as classes de cobertura da terra. Os valores a serem usados no índice variam de 0,0 – correspondente a superfícies totalmente impermeáveis ou impermeáveis até 1,0 – correspondendo a superfícies totalmente permeáveis (Peroni et al., 2019; Kaçmaz, 2021).

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade do ambiente local através da estimativa do índice de integridade biótica.

## 2. Metodologia

### 2.1 Caracterização da Área de Estudo

O trabalho foi conduzido considerando como área de estudo o município de Sorocaba. Este município situa-se no estado de São Paulo, possui área de 456km<sup>2</sup> e população com pouco mais de 720.000 habitantes, segundo os dados do censo de 2022. Possui franca vocação urbana e industrial. Situa-se numa região de tensão ecológica (ecótono) de dois importantes biomas neotropicais: Cerrado e Floresta Estacional Semidecídua (Mata Atlântica interiorana).

Vários estudos ambientais em nível de paisagem vêm sendo conduzidos na região, a fim de melhor compreender suas características, potencialidades, vulnerabilidades e visando também subsidiar decisões políticas e gestão dos recursos naturais locais (Bortoleto, 2016; De Camargo et al., 2022). Porém, não há ainda estudos que utilizaram o índice aqui apresentado e que constitui a ferramenta principal do presente trabalho. Sendo assim, o presente trabalho tem a proposta de complementar os estudos até então realizados na cidade por meio do uso do IIB.

### 2.2. Procedimentos

Inicialmente obtivemos um mapa de cobertura da terra da área de estudo. Este mapa é referente ao ano de 2016 e foi elaborado por meio de uma classificação de uma imagem digital do satélite Landsat 8 - órbita / ponto 220/76 de abril de 2016 (Bortoleto et al., 2022). Uma vez de posse do referido mapa, procedeu-se com a estimativa da área e respectiva porcentagem de ocorrência de cada classe de cobertura da terra.

Por outro lado, por meio de consulta bibliográfica, estipulou-se o coeficiente de cada classe de cobertura para posterior estimativa do IIB.

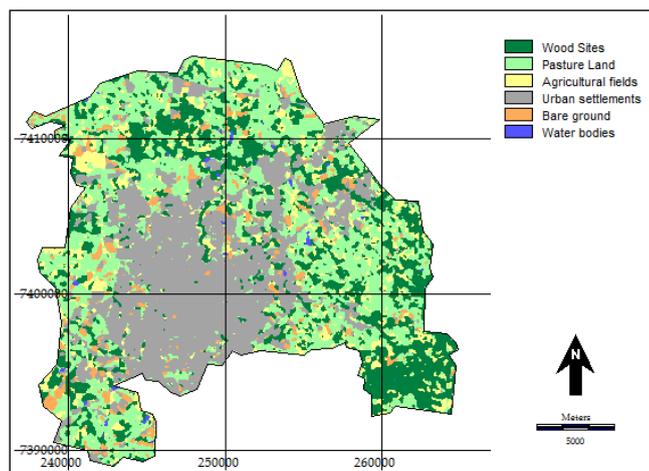
Após esta etapa procedeu-se com a obtenção do valor final do IIB para a área de estudo.

## 3. Resultados

### 3.1. Classes de cobertura e coeficientes associados

O mapa de cobertura (Figura 1) considera seis categorias de cobertura, com valores de ocorrência apresentados na Tabela 1.

Os valores dos coeficientes de cada classe de cobertura que constam na Tabela 1 foram estabelecidos nos valores propostos por Pristeri et al. (2020), com alguns ajustes em função das especificidades da nossa área de estudo. Os referidos autores usaram valores de coeficientes variando de 0,0 - zero (pior situação) até um inteiro - 1,0 (melhor situação). Nós aqui também seguimos esta linha de raciocínio, mas é possível usar outras formas de ponderações como foi feito, por exemplo, por Huang et al. (2015) que consideraram o peso de cada área como a média das notas, em um intervalo de 0-10, atribuídas por 20 especialistas de cada tipo de cobertura. A seguir explica-se cada classe de cobertura que consta no mapa apresentado e o respectivo valor do IIB.



**Figura 1-** Mapa de cobertura da terra para Sorocaba em 2016. Fonte: Bortoleto et al. (2022).

**Tabela 1 –** Classes de Cobertura da Terra, porcentagem de ocorrência de cada classe e Índice de Integridade Biótica (IIB) para o município de Sorocaba - SP

Classe de Cobertura da Terra (CCT)	área (Km <sup>2</sup> )	área (%)	Coeficiente da CCT	coeficiente geral ponderado
Vegetação Natural	100.3	22.0	1.0	0.220
Remanescente				
Pasto	141.8	31.1	0.8	0.249
Solo exposto	21.9	4.8	0.5	0.024
Agricultura	46.5	10.2	0.6	0.061
Área Urbana	143.2	31.4	0.1	0.031
Corpos Hídricos	2.3	0.5	1,0	0.005
IIB ponderado	456.0	100.0	0.7	0.098



. Vegetação Natural Remanescente – constitui fragmentos florestais em diversos estágios de conservação e de diversos tamanhos. A maioria corresponde a fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual, mas há importantes fragmentos também do bioma Cerrado. Muitos fragmentos estão infestados de espécies invasoras, especialmente de leucena (*Leucaena leucocephala* L.). Porém o fato de apresentar infestação de leucena em algumas áreas não é impedimento ou limitação de alguns processos ecológicos importantes, como infiltração de água no solo. Acompanhando o que foi proposto por Pristeri et al. (2020), o valor do coeficiente atribuído para esta classe de cobertura foi 1,0, uma vez que é a classe de cobertura que mais favorece o acontecimento de processos ecológicos essenciais para a sustentabilidade local, tais como infiltração de água e sequestro de carbono. Entendemos que o valor 1,0 pode ser atribuído mesmo para fragmentos onde a vegetação não está mais em seu estado primário e/ou original, mas de alguma forma atende os quesitos esperados em termos de funcionalidade.

. Pasto – áreas dentro ou fora do perímetro urbano, ocupadas principalmente pela espécie de capim braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf), a qual é de origem africana, bastante rústica e com alto potencial de bioinvasão, especialmente em locais abertos onde a luz solar chega à superfície do solo. Constitui locais usualmente ociosos em termos de ocupação, pois a área de estudo possui tímida vocação para a pecuária. O valor do coeficiente atribuído para esta classe (0,8) foi em decorrência de que praticamente não há gado e, portanto, o solo sob este tipo de cobertura está pouco ou nada compactado devido a pisoteio, portanto com densidade, porosidade e teor de matéria orgânica que permite a infiltração de água quase que nas mesmas condições da vegetação florestal.

. Solo exposto – áreas que representam entressafras ou, principalmente, regiões periurbanas ainda sem calçamento ou asfalto. É uma classe com ampla variabilidade de ocorrência em termos temporais. O valor 0,5 foi atribuído pelo fato de que nesta situação o solo perde muito sua capacidade de infiltração de água, sequestro de carbono, bem como exercer outras funções ecológicas essenciais desejadas.

. Agricultura – a área de estudo possui fraca vocação para atividades agrícolas, explicando o valor percentual relativamente baixo de ocorrência desta classe de cobertura. Destaca-se algumas propriedades de pequeno porte que produzem hortaliças. Usualmente as chácaras e sítios ocorrentes não são exatamente centros de produção agropastoril, mas sim locais para lazer em finais de semana e/ou feriados por parte da população que reside na área urbana. O valor 0,6 foi atribuído devido ao fato de que não há uso de práticas de conservação do solo na área de estudo (comprovado por diversas excursões feitas para levantamentos de dados). Por outro lado, o valor não é idêntico ao solo exposto pelo fato de que a cobertura vegetal formada pelas plantas das culturas agrícolas ali

instaladas confere ao solo alguma possibilidade de executar serviços ecológicos essenciais.

. Área Urbana – bastante expressiva inclusive historicamente. Os Planos Diretores vêm sequencialmente tentando disciplinar a expansão urbana por um lado, mas incentivando por outro. O centro urbano de Sorocaba é amplamente constituído por instalações prediais e ainda muito fracamente constituído de instalações ou infraestruturas que favoreçam processos ecológicos. Para essa categoria, Pristeri et al. (2020) sugerem valores variados em função da existência de estruturas urbanas que possibilitem a ocorrência de processos ecológicos. Por exemplo, para áreas inteiramente impermeabilizadas os referidos autores sugerem valor igual a zero. Para o nosso estudo de caso decidimos atribuir valor 0,1 por ser um valor “ponderado” em função das poucas estruturas urbanas voltadas a favorecer processos ecológicos.

. Corpos Hídricos – são ecossistemas lênticos que foram detectados pela fotografia do satélite. Devido às suas características geológicas e geomorfológicas, Sorocaba possui cerca de 2200 nascentes e mais de 1000 quilômetros de rios ou córregos (Silveira et al., 2009), mas são raramente detectados pelas imagens dos satélites da linha Landsat. Aqui novamente acompanhamos o que foi sugerido por Pristeri et al. (2020) em termos de atribuição de valor (1,0).

### 3.2. Índice de Integridade Biótica – valor final e considerações

O valor final do IIB para o município de Sorocaba foi 0,098. Este valor retrata então as condições para o ano de 2016. O IIB possui a vantagem de fazer simulações rápidas e então gerar um valor final, permitindo observar se houve mudanças positivas ou negativas no cenário. Por exemplo, se os valores de ocorrência de cobertura permanecessem os mesmos para cada classe de cobertura, mas o valor do coeficiente da classe “área urbana” fosse alterado de 0,1 para 0,5 devido a melhorias na infraestrutura urbana local, o valor final do IIB mudaria para 0,119.

Por outro lado, se mantivéssemos todos os coeficientes inalterados, mas dobrássemos a área de vegetação, por meio de plantios em áreas de pasto (daí a área de vegetação subiria para 44,0% e a área de pasto cairia para 9,1%), o valor final do IIB resultaria em 0,106.

Ressaltamos a importância de realizar novos estudos, sobretudo com imagens mais detalhadas e que permitam levantar dados mais pormenorizados, pois Huang et al. (2015) destacaram que para áreas específicas e de pequenas extensões (eles aplicaram o índice no campus de uma universidade), o algoritmo precisa ser mais bem calibrado (alimentado com dados mais detalhados) para refletir mais fielmente a realidade local. Tal fato caracteriza uma limitação de uso do IIB, mas é plenamente factível de ser melhorado ou otimizado por meio de uso de bases cartográficas de escala mais detalhada e complementado com outros trabalhos de campo. Esta é uma das metas deste projeto.



#### 4. Considerações Finais

Apresentamos aqui dados sobre um índice ainda nada ou muito pouco explorado no Brasil, mas que pode ser de grande valia em termos de complementar estudos ambientais ligados a infraestruturas voltadas a favorecer processos ecológicos essenciais para a sustentabilidade, tanto em áreas urbanas como em áreas rurais. O índice mostrou ser sensível a alterações hipotéticas (cenários fictícios) e mostrou potencial para auxiliar tomadas de decisão para investimentos prioritários na área ambiental. Desta forma, pretendemos agora gerar mapas de cobertura atualizados e desejavelmente mais detalhados em termos de resolução especial (pixels de dimensões menores), o que permitirá atribuir mais detalhes e exatidão no cômputo do IIB.

Adicionalmente, um foco mais detalhado será dado na área urbana para tentar identificar oportunidades de construção ou instalação da chamada infraestrutura verde, a fim de favorecer processos ecológicos essenciais e aumentar a resiliência local frente a efeitos de mudanças climáticas que têm sido registrados nos últimos anos.

#### Referências

BORTOLETO, Ludmila Araújo; RODGERS, John; DA SILVA, Alexandre Marko. Detecting and restoring gaps among forest patches: an achievable and replicable proposal to boost the landscape connectivity. **Civil and Environmental Engineering Reports**, v. 32, n. 3, 2022.

BORTOLETO, Ludmila Araújo. Seleção e diretrizes para o design de conectores ecológicos: uma abordagem metodológica. Tese – Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental – Faculdade de Engenharia de Bauru, Unesp, 2019.

DE CAMARGO, Julia Fernanda; DA SILVA, Fábio Leandro; SMITH, Welber Senteio. City biodiversity index and the cities-biodiversity relationship: a case study for Sorocaba, SP, Brazil. **Urban Ecosystems**, v. 25, n. 3, p. 673-689, 2022.

DE LOTTO, Roberto; SESSI, Matilde; VENCO, Elisabetta M. Semi-automatic method to evaluate ecological value of urban settlements with the biotope area factor index: sources and logical framework. **Sustainability**, v. 14, n. 4, p. 1993, 2022.

HUANG, Pao-Shen et al. Do Biotope Area Factor values reflect ecological effectiveness of urban landscapes? A case study on university campuses in central Taiwan. **Landscape and Urban Planning**, v. 143, p. 143-149, 2015.

KAÇMAZ, Gülşah. Application of Biotope Area Factor (BAF) Method for ecologically sustainable urban landscapes: The case of the Bornova and Bayraklı districts, İzmir. **Journal of International Environmental Application and Science**, v. 16, n. 2, p. 82-90, 2021.

PERONI, Francesca et al. Biotope area factor: An ecological urban index to geovisualize soil sealing in Padua, Italy. **Sustainability**, v. 12, n. 1, p. 150, 2019.

PRISTERI, Guglielmo et al. Mapping and assessing soil sealing in Padua municipality through Biotope Area Factor Index. **Sustainability**, v. 12, n. 12, p. 5167, 2020.

SILVEIRA, Felipe Muniz et al. Variation of the occupied area by riparian zone according to considered width. **Caminhos de Geografia**, v. 10, n. 30, p. 111-119, 2009.

SONG, Byeong-Hwa; KIL, Sung-Ho. Research Trends for Improvement of Biotope Area Index. **Journal of People, Plants, and Environment**, v. 21, n. 2, p. 103-116, 2018.

UGL (Urban Green Laboratory). Biotope Area Factor. Link: [https://ugl.sg/wp-content/uploads/2021/01/20191002\\_biotope\\_area\\_factor.pdf](https://ugl.sg/wp-content/uploads/2021/01/20191002_biotope_area_factor.pdf), 2019.



# Instrumento de avaliação da percepção de seguridade de pedestres no espaço urbano baseado no método AHP

Lara Reis Rodrigues<sup>1</sup>, Rochele Amorim Ribeiro<sup>2</sup>

1. Mestranda em Engenharia Urbana, laraeisrodrigues@estudante.ufscar.br, Universidade Federal de São Carlos
2. Professora Doutora, rochele@ufscar.br, Universidade Federal de São Carlos

## Resumo

Para tornar a caminhada mais atrativa no espaço urbano, é importante se atentar à percepção de seguridade, a qual pode ser experimentada independentemente da taxa real de criminalidade, estando associada a características do ambiente construído, bem como a particularidades do pedestre, como o gênero, por exemplo. Assim, o objetivo desta pesquisa é definir um instrumento de avaliação da percepção de seguridade de pedestres no espaço urbano, utilizando aspectos e medidas de planejamento previamente selecionados. Como métodos, têm-se: (i) a estruturação do instrumento, adaptando o método AHP; e (ii) divulgação e aplicação em formulário eletrônico. Como resultados, obtêm-se: (i) hierarquia de priorização de aspectos: circulação de pessoas (0,32), fiscalização (0,26), atratividade do espaço urbano (0,22) e manutenção viária (0,21); (ii) aspectos com diferentes pesos entre os gêneros feminino e masculino; e (iii) relato de 53,33% dos homens e 76,19% das mulheres como inseguros ao caminhar. A contribuição deste artigo está em subsidiar o planejamento sobre o que deve ser priorizado no espaço urbano visando cidades perceptivelmente mais seguras para pedestres, principalmente para as mulheres.

**Palavras-chave:** Desafios das mulheres no transporte, planejamento urbano, método multicritério.

## 1. Introdução

Para tornar a caminhada mais atrativa dentro das comunidades, é de suma importância se atentar não somente à forma urbana, mas também à percepção de seguridade no ambiente construído (Loukaitou-Sideris, 2004). Tendo em vista o exposto, é de suma importância destacar e diferenciar certo entendimento sobre a questão da segurança no espaço público. Na ótica da Engenharia Urbana, principalmente referindo-se ao planejamento de transportes, a segurança no ambiente construído é estudada em duas principais áreas, sendo elas a segurança de tráfego e a seguridade (Silva, 2022).

A segurança de tráfego, conforme Silva (2022), também especificada como segurança de trânsito ou segurança viária, se relaciona com a sinalização, à qualidade das vias e aos possíveis conflitos entre os meios de transporte disponíveis nas cidades, já a seguridade, tratada como segurança pessoal, diz respeito à prevenção de riscos à integridade pessoal, física e psicológica do indivíduo, sendo associada à criminalidade no espaço urbano.

A seguridade é percebida individualmente e pode, ainda, se diferenciar mediante os conceitos de objetividade e de subjetividade, de acordo com Gottschalk-Mazouz (2019). A seguridade percebida objetiva demonstra representações

factuais da criminalidade, como taxas de homicídio e de feminicídio e taxa de população prisional de determinada cidade ou região, por exemplo (Gottschalk-Mazouz, 2019). Por outro lado, a seguridade subjetiva, consoante Lizárraga et al. (2022), se relaciona com a percepção de risco e com as experiências individuais das pessoas, não interligando-se a dados objetivos e generalistas, já que pode ser experimentada independentemente da taxa real de criminalidade na região, além de depender de características pessoais como gênero, por exemplo.

No que se refere à opção pela caminhada, a seguridade percebida acaba sendo consideravelmente relevante para os estudos urbanos (Barnett, 2006). Segundo Newman (1972), determinadas características do ambiente construído podem torná-lo perceptivelmente mais seguro, consolidando-se como um “espaço defensivo”.

Todavia, as percepções sobre os espaços e os lugares não são as mesmas para todas as pessoas, dependendo das particularidades de cada indivíduo (Montaner & Múxi, 2015). De acordo com Ceccato & Loukaitou-Sideris (2022), as mulheres geralmente relatam mais sobre se sentirem inseguras no espaço urbano, em relação aos homens. Assim, desenvolve-se nas mulheres uma percepção de insegurança no espaço urbano muito acentuada quando comparada com a dos homens, associando-se com sua dimensão emocional, ou seja, ao sentimento de medo de caminhar pela cidade, principalmente com relação à vitimização sexual (Loukaitou-Sideris, 2004).

No caso específico do Brasil, mesmo com a vigência da Lei nº 13.718 (Brasil, 2018), que tipifica os crimes de importunação sexual, verifica-se que a ocorrência de crimes sexuais contra mulheres no espaço público ainda é muito presente (Nourani et al., 2019). Gekoski et al. (2015) argumenta que o assédio sexual contra mulheres no espaço público se trata de um fenômeno global, apesar dos riscos e dos impactos deste tipo de vitimização variarem geograficamente, de país em país e de região em região, dependendo das realidades socioeconômica e cultural.

Ademais, Ceccato & Loukaitou-Sideris (2022) estudam que as características individuais como etnia, idade e orientação sexual podem interagir com o gênero para aumentar ou diminuir os níveis de percepção de insegurança ao caminhar no espaço urbano. No entanto, a literatura existente carece de investigações sobre tais estudos (Ceccato & Loukaitou-Sideris, 2022). Neste sentido, o direito à mobilidade deve ser garantido a todos, sendo necessária a busca por cidades mais convidativas a todas as pessoas, principalmente àquelas que se sentem mais inseguras constantemente (Ceccato, 2017).



Gordon & Riger (1989) estudam que o medo do crime e a percepção de insegurança no ambiente construído levam o indivíduo à sensação de que o mesmo deve estar em alerta, permanecendo vigilante. Todavia, estes sentimentos têm o poder de modificar ou de restringir as atividades das pessoas no cotidiano (Jackson & Gray, 2010).

Todavia, têm-se o conhecimento de que é possível mitigar a percepção de insegurança no ambiente construído através de determinadas medidas de planejamento urbano (Carbonari & Lima, 2016). Nesta lógica, o problema desta pesquisa se fundamenta no seguinte questionamento: quais medidas de planejamento urbano são mais importantes para a modificação da percepção de segurança dos pedestres, considerando-se suas características individuais, principalmente o gênero?

O objetivo deste artigo é definir um instrumento de avaliação da percepção de segurança de pedestres no espaço urbano. Este instrumento visa estabelecer uma hierarquia de priorização entre aspectos e medidas de planejamento que modificam a percepção de segurança de pedestres, sobretudo de mulheres.

## 2. Materiais e Métodos

O método aplicado na pesquisa se embasou no trabalho de Freato (2023) e se estabeleceu em duas etapas gerais: (i) a estruturação do instrumento avaliativo, através de adaptação do Processo Analítico Hierárquico (AHP) e (ii) sua divulgação e aplicação em formulário eletrônico. O instrumento de avaliação utiliza quatro aspectos e oito medidas de planejamento urbano previamente selecionados na pesquisa de Rodrigues & Ribeiro (2023) mediante revisão de literatura.

O AHP um método de análise multicritério que auxilia na tomada de decisões complexas, baseada em critérios que podem ser quantitativos ou qualitativos, sendo capaz de analisar a consistência dos julgamentos realizados e de estabelecer diferentes níveis hierárquicos que representam o grau de priorização de cada critério componente do sistema (Saaty, 1991). Deste modo, a técnica de Saaty busca deixar explícito no sistema quais são os fatores de maior e de menor importância (Paula & Cerri, 2012).

O instrumento de avaliação é em formato de questionário on-line, aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) em Seres Humanos, sob Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE): 62807122.3.0000.5504.

A estruturação do instrumento se deu através de cinco seções. Na primeira seção, denominada “aspectos do espaço urbano”, são coletadas informações sobre qual aspecto do espaço urbano possui maior ou menor importância para que o entrevistado se sinta mais seguro ao caminhar pelas vias públicas. Para tal seção, são disponibilizados quatro aspectos, sendo: (a) circulação de pessoas, (b) manutenção viária, (c) atratividade do espaço urbano e (d) fiscalização. A **Tabela 1** apresenta os aspectos e suas respectivas descrições dispostas no questionário, as quais consideram suas condições ideais, na tentativa de incentivar os respondentes a imaginarem cenários satisfatórios para cada um dos aspectos.

**Tabela 1** – Aspectos do espaço urbano e suas descrições no questionário.

Aspectos do espaço urbano	Descrição
(a) Circulação de pessoas	Pontos de ônibus e/ou de bicicletas próximos a áreas comerciais; ausência de ruas sem saída, travessias a nível do solo ao invés de passarelas; e qualificação das calçadas de áreas com pouca <u>circulação de pessoas.</u>
(b) Manutenção viária	Iluminação viária adequada para os pedestres; e ausência de lixo e de sinais de vandalismo, como janelas e portas quebradas ou violadas e <u>pichação nos muros e nas edificações.</u>
(c) Atratividade do espaço urbano	Presença de fachadas ativas, como edificações com portas e janelas voltadas para a via, vitrines comerciais e muros não muito altos; e ausência de pontos de tráfico de drogas e de <u>prostituição.</u>
(d) Fiscalização	Presença, nas vias públicas, de sinalização por parte dos moradores quanto à vigilância do bairro; policiamento no bairro por meio de <u>guardas e vigias.</u>

Posteriormente, a segunda seção do questionário é direcionada automaticamente ao entrevistado, em conformidade com sua resposta na primeira seção sobre qual o aspecto do espaço urbano “mais importante”, em que deve ser determinado o nível de importância do aspecto escolhido como “mais importante” em relação aos outros três aspectos: os dois que não foram escolhidos, sendo intermediários, e o escolhido como “menos importante”. As opções de resposta disponíveis nesta seção são: (a) pouco mais importante; ou (b) muito mais importante.

Em seguida, após as duas primeiras seções serem finalizadas, é possível originar uma matriz AHP para cada entrevistado, conforme método proposto de níveis de importância. Neste trabalho, as respostas obtidas serão analisadas em relação aos pesos e às médias de todos os entrevistados considerados.

Para a determinação da matriz AHP e a realização das comparações paritárias entre os aspectos, utiliza-se a Escala Fundamental de Saaty, que contém intensidade de importância da escala absoluta em valores numéricos, de um a nove, bem como sua definição e sua justificativa (Saaty, 1987). Todavia, no intuito de aplicar o método AHP à estrutura do questionário, utilizando apenas as intensidades “pouco mais importante” e “muito mais importante”, adaptou-se a mencionada escala absoluta para intensidades de importância com valores de um a cinco, visando simplificar e adaptar o método AHP para o questionário.

Mediante a pontuação selecionada, de um a cinco, é possível simplificar as comparações da matriz pareada, obtendo índices de consistência aceitáveis para esta



adaptação do método AHP. Em seguida, para a tabulação dos dados, foi aplicada análise combinatória, identificando o número exato de combinações possíveis que cada entrevistado poderia escolher, ao responder estas duas primeiras seções do questionário.

Nesta lógica, a partir do número de combinações possíveis, conforme apresentado, considerando que para este estudo tais possibilidades são intituladas como “contextos” que cada entrevistado pode escolher, o número total de combinações aplicando a análise combinatória é de 96 contextos, ou seja, 96 possíveis combinações que o entrevistado poderia escolher, no decorrer das duas primeiras seções. Logo após as duas primeiras seções do questionário serem respondidas, já é possível obter qual é o contexto condizente com o que o entrevistado respondeu, através de planilha eletrônica configurada.

Ao traduzir as respostas do entrevistado em um contexto específico, é possível identificar, de forma automática na planilha, quais são os pesos correspondentes a cada um dos quatro aspectos do espaço urbano, através de cálculo já pré-determinado, utilizando matrizes de comparação par a par. Para a obtenção dos pesos finais para cada aspecto, foi realizada a média aritmética de todos os pesos atribuídos por cada um dos entrevistados.

Na terceira seção do questionário aplicado, ainda utilizando o método AHP, são descritas e ilustradas duas “medidas específicas” para cada um dos quatro “aspectos do espaço urbano”. Assim, para o aspecto de (i) circulação de pessoas, as medidas são: (a) infraestrutura de mobilidade urbana em locais com circulação de pessoas e (b) calçadas e travessias que promovam circulação de pessoas; para (ii) manutenção viária: (a) iluminação adequada e (b) vias limpas e em bom estado de conservação; para (iii) atratividade do espaço urbano: (a) fachadas ativas e (b) espaços isentos de atividades ilegais; e para (iv) fiscalização: (a) sinalização dos moradores quanto à vigilância do bairro e (b) policiamento e vigilância por guardas municipais e vigias. Nas questões desta seção, o entrevistado deve determinar em cada medida específica se a considera “pouco importante” ou “muito importante”, efetivando, assim, uma comparação entre ambas medidas do mesmo aspecto do espaço urbano.

Na quarta seção do questionário, são coletadas as características do deslocamento a pé dos entrevistados em suas respectivas cidades. A questão desta seção que foi considerada nesta pesquisa é sobre se o entrevistado, geralmente, se sente seguro ao caminhar pelas vias públicas, independentemente do horário do dia.

Posteriormente, a quinta e última seção do questionário abrange perguntas de caráter pessoal sobre o entrevistado, bem como sobre suas características físicas. Têm-se, de modo geral, como as principais questões componentes desta seção para a pesquisa: (i) gênero com o qual se identifica; (ii) orientação sexual; (iii) etnia; e (iv) faixa etária. Cabe ressaltar que para este artigo, consideraram-se apenas os dados obtidos a partir das três primeiras seções do instrumento, levando em conta a aplicação da questão mencionada sobre sentir-se seguro ao caminhar, da quarta seção, além da questão sobre gênero, da quinta seção.

Tratando-se da segunda etapa do método aplicado, a divulgação e a aplicação do questionário estruturado foram iniciadas posteriormente à aprovação pelo CEP. O público alvo da pesquisa são pessoas que residam no Brasil e que sejam maiores de 18 anos. Optou-se por desenvolver um questionário on-line, a partir de formulário eletrônico, visando maior possibilidade de obtenção de respostas pela maior praticidade de divulgação. A divulgação do instrumento ocorreu mediante convite para a participação da pesquisa. No período de 02 de fevereiro de 2023 a 28 de abril de 2023, foram obtidas 155 respostas válidas para a determinação dos pesos dos aspectos do espaço urbano.

### 3. Resultados e Discussão

Neste item, são apresentados os principais resultados, obtidos com a aplicação do instrumento de avaliação, quanto à obtenção dos pesos dos aspectos do espaço urbano e de suas respectivas medidas.

Primeiro, foi realizada a análise para a média geral da amostra coletada. Esta etapa do estudo foi realizada através da tabulação de todas as respostas (média geral) obtidas no questionário, utilizando planilha eletrônica, conforme mencionado previamente. A partir deste procedimento, foram realizadas as médias aritméticas de cada aspecto do espaço urbano e de cada medida específica. A **Tabela 2** apresenta os resultados obtidos após a coleta e o tratamento dos dados do questionário pela média geral da amostra coletada.

**Tabela 2** – Resultado da aplicação do instrumento de avaliação pela média geral da amostra.

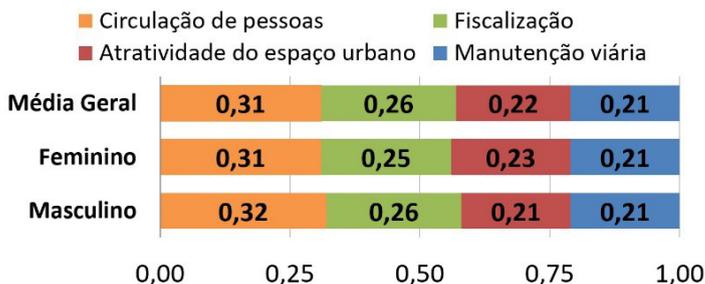
Aspecto do espaço urbano	Peso	Medida específica	Peso
(a) Circulação de pessoas	0,31	Infraestrutura de mobilidade urbana em locais com circulação de pessoas	0,50
		Calçadas e travessias que promovam circulação de pessoas	0,50
(b) Manutenção viária	0,21	Iluminação adequada	0,52
		Vias limpas e em bom estado de conservação	0,48
(c) Atratividade do espaço urbano	0,22	Fachadas ativas	0,48
		Espaços isentos de atividades ilegais	0,52
(d) Fiscalização	0,26	Sinalização dos moradores quanto à vigilância do bairro	0,47
		Policiamento e vigilância por guardas municipais e vigias	0,53

Verifica-se que o aspecto do espaço urbano de maior peso foi o de (a) circulação de pessoas (0,31), ocupando, então, o primeiro nível hierárquico de priorização dentre os quatro aspectos. A (d) fiscalização foi o segundo aspecto mais importante (peso 0,26) para a totalidade considerada de entrevistados. Na sequência, o terceiro aspecto, na hierarquia de priorização, foi a (c) atratividade do espaço urbano (peso 0,22), estando bem próximo da (b) manutenção viária (peso 0,21), inserindo-se no quarto nível hierárquico. Assim, a soma dos quatro pesos referentes aos quatro aspectos do espaço urbano é igual a 1,00.

Com relação às medidas, seus pesos foram determinados através da consideração de que cada aspecto do espaço urbano representasse um valor total (1,00 – 100%) e este valor, dividido entre suas duas medidas componentes. Nesta lógica, através do método aplicado, no aspecto de circulação de pessoas, a distribuição dos pesos se deu de forma igual (50%) para suas duas medidas: (i) infraestrutura de mobilidade urbana em locais com circulação de pessoas e (ii) calçadas e travessias que promovam circulação de pessoas obtiveram o mesmo peso, igual a 0,50. A fiscalização teve sua distribuição em 47% para sinalização dos moradores quanto à vigilância do bairro (peso 0,47) e em 53% para policiamento e vigilância por guardas municipais e vigias (peso 0,53).

Em relação ao aspecto de atratividade do espaço urbano, a medida de fachadas ativas obteve peso igual a 0,48, enquanto que a medida de espaços isentos de atividades ilegais alcançou 0,52. Já para a manutenção viária, iluminação adequada obteve 0,52 e vias limpas e em bom estado de conservação, 0,48.

Após a verificação dos resultados da média geral da amostra coletada, foi realizada análise na planilha eletrônica utilizando o filtro de gênero, a fim de verificar se houve diferenças entre os pesos dos aspectos e das medidas, ao se considerar as mulheres e os homens separadamente. A **Figura 1** abaixo demonstra os resultados referentes aos pesos dos quatro aspectos para os gêneros feminino e masculino, em relação aos resultados da média geral da amostra coletada, estabelecendo-se comparações.



**Figura 1** – Gráfico comparativo entre os pesos dos aspectos pela média geral e pelos gêneros feminino e masculino.

Conforme a **Figura 1**, os valores numéricos dos pesos determinados por ambos gêneros são numericamente próximos aos valores da média geral da amostra. Em síntese, a hierarquia de priorização das mulheres

permaneceu a mesma em relação ao resultado geral: circulação de pessoas (0,31), fiscalização (0,25), atratividade do espaço urbano (0,23) e, depois, manutenção viária (0,21). Já para os homens, a hierarquia de priorização se reduziu de quatro para três níveis: circulação de pessoas (0,32), fiscalização (0,26) e, no terceiro nível hierárquico estão os dois aspectos, juntos, atratividade do espaço urbano e manutenção viária, ambos com o mesmo peso (0,21). Os pesos das oito medidas permaneceram numericamente os mesmos em relação aos da média geral da amostra, tanto para as mulheres quanto para os homens.

Posteriormente, em conjunto com o filtro de gênero, foi aplicado filtro referente à pergunta anteriormente mencionada da quarta seção do questionário, sobre se o entrevistado, geralmente, se sente seguro ao caminhar pelas vias públicas de sua cidade, independentemente do horário do dia, a fim de verificar se ocorrem diferenças numéricas entre os pesos. Para esta pergunta, foram consideradas 105 respostas válidas do gênero feminino e 60 do gênero masculino.

Observou-se que a hierarquia de priorização determinada pela média geral permaneceu a mesma em relação à amostra considerada do gênero feminino, tanto para 76,19% das mulheres que não se sentem seguras ao caminhar na cidade quanto para 23,81% que se sentem seguras, havendo apenas diferenças numéricas entre os pesos dos aspectos, ao comparar os dois casos. A hierarquia de priorização dos aspectos se modificou, com relação à média geral, entre o gênero masculino. Para os homens que não se sentem seguros (53,33%), fiscalização é o aspecto mais importante (0,31), seguido de circulação de pessoas (0,28), atratividade do espaço urbano (0,24) e manutenção viária (0,17). Para os homens que se sentem seguros (46,67%), circulação de pessoas continua sendo o aspecto mais importante (0,36), assim como na média geral, seguido de manutenção viária (0,25), fiscalização (0,21) e atratividade do espaço urbano (0,18). Ressalta-se que os pesos das medidas permaneceram numericamente os mesmos em relação aos da média geral da amostra para ambos gêneros analisados.

À vista de tais resultados, verificou-se que houve diferenças numéricas nos pesos dos aspectos do espaço urbano ao aplicar os filtros de gênero e de uma das perguntas da quarta seção do questionário, havendo também, em determinados casos, a modificação da hierarquia de priorização. Ou seja, a percepção sobre a importância dos aspectos para se sentir mais seguro ao caminhar na cidade acaba variando de acordo com o gênero e com o(a) entrevistado(a) se sentir ou não seguro no espaço urbano durante seus trajetos a pé. Ademais, ao analisar a amostra coletada, verificou-se que a maioria dos entrevistados se sente insegura independentemente do gênero, apesar de a proporção de mulheres inseguras ser maior quando comparada com a proporção de homens inseguros.

#### 4. Conclusões

Os resultados obtidos com o desenvolvimento e a aplicação do instrumento de avaliação da percepção de seguridade



de pedestres no espaço urbano foram satisfatórios, uma vez que foi possível atribuir os pesos para os aspectos e para suas medidas. Tais resultados se deram através da percepção pessoal dos entrevistados sobre os aspectos e as medidas, o que influenciou na atribuição dos pesos de acordo com seus julgamentos. Ademais, notou-se que, numericamente, nenhum dos quatro aspectos se destacou expressivamente em relação aos demais. As matrizes de comparação par a par, geradas por meio da interpretação das respostas, foram consistentes, mesmo que o instrumento de coleta de dados tenha utilizado o método AHP de forma adaptada.

Os dados coletados para esta pesquisa poderão ser, futuramente, investigados em questões específicas, como a verificação da alteração dos pesos dos aspectos e das medidas de acordo com as demais características individuais além do gênero, como etnia, idade e orientação sexual.

Por fim, a contribuição dos resultados desta pesquisa está em subsidiar o processo de tomada de decisões no planejamento urbano sobre o que deve ser priorizado nos espaços públicos, no intuito de tornar as cidades perceptivelmente mais seguras para os pedestres, sobretudo para as mulheres.

## Referências

- BARNETT, Simon. Creating Walkable Urban Environments. **Engineering Sustainability**, v. 159, 2006, p. 91-97.
- BRASIL. **Lei nº 13.718, de 24 de setembro de 2018**. 2018. Tipifica os crimes de importunação sexual e de divulgação de cena de estupro. Congresso Nacional, Brasília, DF. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2018/lei/L13718.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/L13718.htm)>. Acesso em: 12 de maio de 2022.
- CARBONARI, Flávia; LIMA, Renato Sérgio de. Cidades seguras. **O Estatuto da Cidade e a Habitat III**: um balanço de quinze anos da política urbana no Brasil e a Nova Agenda Urbana, 2016, p. 85-106.
- CECCATO, Vania; LOUKAITOU-SIDERIS, Anastasia. Fear of sexual harassment and its impact on safety perceptions in transit environments: a global perspective. **Violence against women**, v. 28, n. 1, 2022, p. 26-48.
- CECCATO, Vania. Women's transit safety: making connections and defining future directions in research and practice. **Crime Prevention and Community Safety**, v. 19, 2017, p. 276-287. DOI: <https://doi.org/10.1057/s41300-017-0032-5>
- FREATO, Maria Paula Rosa. **Método de avaliação para redes cicloviárias entre cidades inseridas em regiões metropolitanas utilizando geotecnologias**. 2023. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- GEKOSKI, Anna; GRAY, Jacqueline M.; HORVATH, Miranda A. H.; EDWARDS, Sarah; EMIRALI, Alive; ADLER, Joanna R. **What works' in reducing sexual harassment and sexual offences on public transport nationally and internationally**: A rapid evidence assessment. London: British Transport Police and Department for Transport, 2015, 104 p.
- GORDON, Margaret T.; RIGER, Stephanie. **The female fear**. New York: The Free Press, 1989, 230 p.
- GOTTSCHALK-MAZOUZ, Niels. Philosophical Perspectives on Safety and Risk. In: RAUE, Martina; STREICHER, Bernhard; LERMER, Eva (eds.). **Perceived Safety: A Multidisciplinary Perspective**. Cham, Switzerland: Springer, 2019, p. 27-41.
- JACKSON, Jonathan; GRAY, Emily. Functional fear and public insecurities about crime. **British Journal of Criminology**, v. 50, n. 1, 2010, p. 1–22. DOI: <https://doi.org/10.1093/bjc/azp059>
- LIZÁRRAGA, Carmen; MARTÍN-BLANCO, Cathaysa; CASTILLO-PÉREZ, Isabel; CHICA-OLMO, Jorge. Do University Students' Security Perceptions Influence Their Walking Preferences and Their Walking Activity? A Case Study of Granada (Spain). **Sustainability**, v. 14, n. 3, 2022, p. 1880.
- LOUKAITOU-SIDERIS, Anastasia. Is it safe to walk here?. **Research on Women's Issues in Transportation: Transportation Research Board Conference Proceedings 35, National Academies**, v. 2, n. 1, 2004, p. 102-112.
- MONTANER, Josep Maria; MUXÍ, Zaida. **Arquitetura e política**: ensaios para mundos alternativos. Tradução de Frederico Bonaldo. São Paulo: Gustavo Gili, 2014, 1 edição, 253 p.
- NEWMAN, Oscar. **Defensible Space: Crime Prevention Through Urban Design**. MacMillan Company, New York, v. 2, 1972.
- NOURANI, Farid; ANTONELLO, Sérgio Luis; GOVONE, José Silvío. Vitimização de estudantes universitários em sua mobilidade urbana em Rio Claro, São Paulo. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 17, n. 1, 2019, p. 175-195.
- PAULA, Beatriz Lima de; CERRI, Leandro Eugenio da Silva. Aplicação do Processo Analítico Hierárquico (AHP) para priorização de obras de intervenção em áreas e setores de risco geológico nos municípios de Itapeverica da Serra e Suzano (SP). **Geociências**, São Paulo, v. 31, n. 2, 2012, p. 247-257.
- RODRIGUES, Lara Reis; RIBEIRO, Rochele Amorim. O caminhar e a percepção de (in)segurança pelas mulheres no espaço público: uma proposta de medidas de planejamento urbano. **Scientific Journal ANAP**, v. 1, n. 3, 2023. Disponível em: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap/article/view/3863>. Acesso em: 30 de junho de 2023.
- SAATY, R. W. The analytic hierarchy process – what it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3-5, 1987, p. 161-176.
- SAATY, Thomas Lorie. **Método de Análise Hierárquica**. Tradução de Wainer da Silveira e Silva. São Paulo: McGraw-Hill Publisher, Makron, 1991, 367 p.
- SILVA, Otávio Henrique da. **Proposta de modelo para avaliação de espaços para pedestres quanto à percepção de segurança**. 2022. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.



## Oferta de infraestrutura urbana e qualidade do ambiente urbano: diferenças a partir de dois estudos de caso - Conjunto Habitacional Sírius, Campinas/SP-BR e Conjunto Habitacional Västtra Kattarpsvägen, Malmö/M-SE

Caio Barbato Maroso<sup>1</sup>, Vera Santana Luz<sup>2</sup>.

1. doutor em arquitetura e urbanismo, caio.bm1@puccampinas.edu.br, Pontifícia Universidade Católica de Campinas
2. pós-doutora em arquitetura e urbanismo, veraluz@puc-campinas.edu.br, Pontifícia Universidade Católica de Campinas

**Resumo:** O objetivo deste texto é apresentar as diferenças da infraestrutura urbana de dois estudos de caso, um brasileiro e um sueco, forjados em duas categorias diferentes de estados de bem-estar social, socialdemocrata, no caso sueco, e meritocrata-clientelista, no caso brasileiro. A metodologia utilizada para a análise dos casos foi desenvolvida tendo, por base, quatro categorias, que permitiram a comparação pelas diferenças. Como resultado principal, observamos que, quando a habitação social é produzida sob a lógica da política pública socialdemocrata, como pilar do estado de bem-estar social, que é o caso sueco, a infraestrutura tende a ser mais adequada e o ambiente urbano de maior qualidade, quando comparados à realidade brasileira.

**Palavras-chave:** políticas públicas habitacionais, estado de bem-estar social, infraestrutura urbana.

### 1. Introdução

Este texto é parte dos desdobramentos da tese de doutoramento defendida<sup>1</sup>. O objetivo é apresentar as diferenças da infraestrutura urbana de dois estudos de caso, o Conjunto Habitacional Sírius, Campinas/SP-BR, e o Conjunto Habitacional Västtra Kattarpsvägen, Malmö/M-SE. O interesse pelos dois conjuntos estudados é destacar as diferenças de urbanidade, geradas no contexto de políticas públicas habitacionais com contextos de estado de bem-estar social diferentes: meritocrático-clientelista, no caso brasileiro; e socialdemocrata, no caso sueco<sup>2</sup>. O caráter diferente do estado de bem-estar social em que cada caso está inserido gerou políticas sociais diferentes e, conseqüentemente, qualidades urbanas diferentes, sobretudo na infraestrutura urbana, com ênfase nos serviços urbanos públicos e privados e no mobiliário urbano.

Os conjuntos habitacionais construídos pela Faixa 1 do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), entre 2009 e 2016, como é o caso do Conjunto Habitacional Sírius, obtiveram críticas presentes na literatura (Rolnik et al., 2015a) quanto à inserção urbana, sobretudo quanto à proximidade com serviços de uso cotidiano. Enfatizamos que isso se deve, principalmente, ao fato de o PMCMV ter apresentado características de programa econômico, e não

habitacional. Essa condição nos parece o retrato de uma política pública gerada pelo caráter meritocrático-clientelista do estado de bem-estar social brasileiro. Por isso, o contraponto com o Conjunto Habitacional Västtra Kattarpsvägen é importante. Observar as diferenças socioterritoriais entre o caso brasileiro e o caso sueco – que foi gerado por política pública de caráter socialdemocrata – nos ajuda a compreender a importância e a influência da habitação social no processo de urbanização e na qualidade do ambiente urbano.

Na retomada dos programas sociais, desde o início de 2023, a reflexão apresentada aqui é importante para a proposta de novas políticas públicas, como o relançamento do PMCMV.

### 2. Metodologia

Além da revisão bibliográfica e da confecção de mapas, esta pesquisa se baseou na construção de uma metodologia própria e empírica, com análise de dados primários, levantamento de campo, registro fotográfico e confecção de mapas. A estrutura da pesquisa empírica se baseou em quatro categorias, constituídas para contemplar as análises.

A definição do caso brasileiro se deu pelo fato de ter sido viabilizado por um programa habitacional proposto por governos ideologicamente mais próximos do caráter socialdemocrata. A inserção do conjunto brasileiro se dá no território disperso da Região Metropolitana de Campinas; já o caso sueco está inserido em uma dinâmica de mobilidade pendular dos trabalhadores, entre a cidade de Malmö/SE e Copenhagen/DK.

As categorias de análise estruturam a comparação, pelas diferenças, dos dois casos, que desnudam os resultados das políticas públicas habitacionais no processo de urbanização brasileiro e sueco. São elas: (a) política, que trata dos planos, instrumentos e legislação; (b) socioeconômica, que trata do perfil dos beneficiários, tipo de propriedade e financiamento; (c) cultural, que trata da inserção na cidade, origem das famílias, geração de emprego e renda e padrão condominial; e (d) tecnológica, que trata da qualidade técnica do projeto e da construção. Apresentamos a realidade observada, por meio da

<sup>1</sup> O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradecemos à inestimável colaboração do Prof. Dr. Luiz Augusto Maia Costa, que realizou a fase inicial de orientação do Doutorado citado.

<sup>2</sup> Para a compreensão da discussão acerca do estado de bem-estar social, indicamos: Draibe (2006; 1993); Nogueira (2001); Fiori (1997); e Esping-Andersen (1991).

metodologia proposta, tendo por fundamento os pressupostos teóricos constituídos.

### 3. Resultados e Discussão

Os levantamentos de campo e documentais se deram por meio de visitas *in loco* nos dois conjuntos habitacionais, observando comportamentos humanos e socioespaciais, em diferentes dias e horários e, em forma de consulta, física e virtual, aos bancos de dados oficiais. Na Suécia, as visitas aconteceram entre 14 e 21 de janeiro de 2023. No Brasil, as visitas aconteceram entre 27 de fevereiro e 3 de março de 2023.

O Conjunto Habitacional Sírius está localizado na Rua Leonor Martins Mansur, nº 311, Campinas, São Paulo, Brasil. Dista 11,5 km do centro da cidade, aproximadamente 50 minutos de transporte público. Foi construído em 2010 e teve o início da conversão em propriedade privada no final do ano de 2022. É composto por 124 blocos, distribuídos em 14 condomínios fechados, com 6 a 12 blocos de apartamentos em cada um. A tipologia é única, de cinco pavimentos e quatro apartamentos por andar. Totaliza 2.480 unidades habitacionais, com estimativa de 13.100 residentes. Ocupa área total aproximada de 130.000 metros quadrados, considerando espaços privativos e envoltórios, com densidade demográfica próxima a 100.000 hab/km<sup>2</sup>. É atendido por 12 pontos de ônibus e duas linhas circulares.

O Conjunto Habitacional Västra Kattarpsvägen está localizado na Avenida Västra Kattarpsvägen, nº 213 66, Malmö, Skåne, Suécia. Dista 3,5 km do centro da cidade, aproximadamente 17 minutos de transporte público. Foi construído em 1963 e teve o início da conversão em propriedade privada no final do ano de 2016. É composto por 36 blocos, distribuídos em formato de superquadra. Há duas tipologias: (a) oito pavimentos com dois apartamentos por andar; e (b) três pavimentos com dois apartamentos por andar. Totaliza 1.056 unidades habitacionais, com estimativa de 4.224 residentes. Ocupa área total aproximada de 210.000 metros quadrados, considerando espaços privativos e envoltórios, com densidade demográfica próxima a 20.114 hab/km<sup>2</sup>. É atendido por duas estações de trem e uma única linha, e cinco pontos de ônibus, servidos por três linhas.

Foram confeccionadas as **Figuras 1 e 2**, que apresentam os equipamentos e serviços públicos no entorno dos dois residenciais. Aplicamos as definições propostas por Rolnik et al. (2015b) para avaliação da inserção urbana, considerando usos cotidianos, eventuais e esporádicos. Os usos cotidianos são os considerados essenciais para as atividades diárias, como creches, comércios locais, transporte público, equipamentos de saúde e lazer. As duas figuras exibem, no raio de um quilômetro, a partir do centro de cada residencial, os equipamentos apurados no entorno, de acordo com o levantamento de campo. No caso do Sírius, a maior parte dos equipamentos não está no raio proposto, por isso sua abrangência foi ampliada, para mostrar a distância dos serviços disponíveis.



**Figura 1-** Imagem aérea de entorno do Conjunto Habitacional Sírius, Campinas/SP-BR. Fonte: Elaboração própria, a partir do Google Earth 2020, de acordo com as informações do levantamento de campo e de pesquisa em fontes primárias.



**Figura 2-** Imagem aérea do entorno do Conjunto Västra Kattarpsvägen, Malmö/M-SE. Fonte: Elaboração própria a partir do Google Earth 2020, de acordo com as informações do levantamento de campo e de pesquisa em fontes primárias.

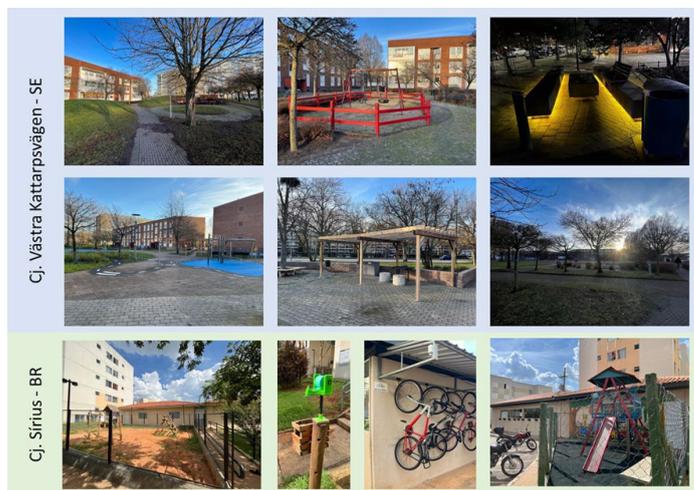
É aferível, na **Figura 1**, que os serviços públicos de saúde, educação e apoio social quase não aparecem na distância de 1 km. A única unidade do CRAS, bem como os Centros de Saúde e a maioria das escolas de ensino infantil, estão fora da área delimitada. Mesmo na área ampliada não encontramos nenhum equipamento de esporte, cultura, segurança pública, justiça e ponto de acesso gratuito à **internet** – serviços presentes em outras regiões da cidade. Na **Figura 2**, aparecem variadas instituições equivalentes nas imediações do conjunto sueco, por vezes inseridas no perímetro do residencial. Os espaços comerciais são abundantes. A exceção foram os serviços de saúde, de localização mais distante, mas dentro da área expandida. Destacamos a presença de equipamentos culturais e de esportes, como parques, centros esportivos, biblioteca e centro cultural. Na comparação entre os casos, notamos a diferença de oportunidade de acesso a esses serviços. Os registros de construção do empreendimento sueco mostram que esses equipamentos já estavam previstos ou eram existentes na área. (Gustafsson, 2022). No caso brasileiro, houve o surgimento de comércio informal no remanescente da gleba, em área pública, como resposta às necessidades existentes. A Associação de

Comerciantes do Sírius identificou e registrou cerca de 80 estabelecimentos. Em acordo com a Prefeitura, não é mais permitida a abertura de novos comércios. Existe intenção, por parte da Associação, em contato com a Prefeitura e outras instituições, de regularizar os comércios já consolidados. Entre estes, destacamos a existência de: minimercado; loja e assistência para eletrônicos; bares; restaurantes; papelaria; lojas de vestuário; e oficina mecânica. A **Figura 3** ilustra a ocupação dos comércios locais.



**Figura 3-** Construções comerciais em área remanescente da gleba. Fonte: Fotografias capturadas no local, dia 02 mar. 2023.

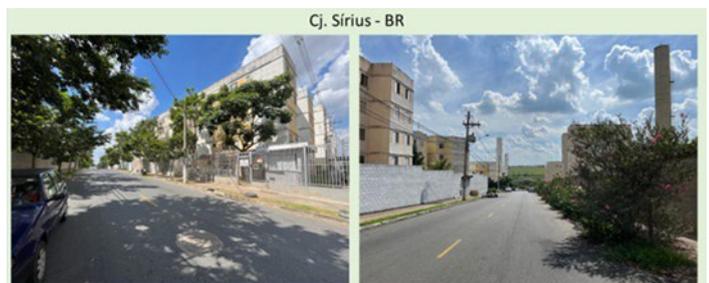
A diferença de qualidade do espaço urbano é notável. No projeto sueco, esse espaço foi projetado e executado regularmente, enquanto no caso brasileiro o espaço surgiu de modo informal, da necessidade dos moradores. A mesma diferença pode ser observada nos equipamentos públicos e no mobiliário urbano. No residencial brasileiro há divisão das torres em condomínios, que resulta em equipamentos voltados para o interior do conjunto, com restrição de acesso. Como resultado, há prejuízo na infraestrutura e convívio nos espaços públicos. Em contraponto, o residencial sueco apresenta áreas cuidadas, de acesso irrestrito para moradores e usuários da cidade. É possível notar essas diferenças na **Figura 4**. A ocupação das áreas públicas, no caso sueco, ostenta maior qualidade, maior interação e integração entre moradores e comunidade externa.



**Figura 4-** Equipamentos e mobiliários urbanos. Fonte: Fotografias capturadas nos locais. Dia 20 jan. 2023, na Suécia; e 02 mar. 2023, no Brasil.

As edificações que constituem o conjunto sueco foram dispostas no modelo superquadras e, nas áreas que as permeiam, há variados equipamentos e mobiliários de uso público. Salientamos a maior quantidade e variedade, jardins bem cuidados, que possibilitam um caminhar confortável, equipamentos distribuídos pelos espaços, de forma a promoverem seu uso. No momento do levantamento de campo, a temperatura variava entre -5°C e 6°C, e foi possível observar a plena utilização.

A implantação em condomínios fechados, como acontece no caso brasileiro, conferem hostilidade aos espaços públicos. Os muros tornam os espaços públicos menos convidativos, mais vulneráveis e perigosos (CALDEIRA, 1997). Comparando as realidades sueca e brasileira, são evidentes passeios mais confortáveis e bem dimensionados no primeiro caso, contrastando com as calçadas estreitas no segundo, compartilhadas com instalações, como árvores e postes, e depósitos de lixo (**Figura 5**). A Associação de Moradores e Comerciantes do Residencial Sírius conseguiu instalar, em meio à área de comércio informal, três equipamentos: um parquinho, uma academia ao ar-livre e a própria sede da Associação.



**Figura 5-** Ruas muradas de acesso aos condomínios do Residencial Sírius. Fonte: Fotografias capturadas no local, em 02 mar. 2023.

Embora as áreas públicas do Sírius representem um espaço seguro, não são tão acolhedoras quanto as do caso sueco. Observamos algumas ocorrências de policiamento com viaturas — em uma delas, na sexta-feira à noite, de uma maneira um pouco mais ostensiva, com policiais olhando atentamente o movimento. Segundo a Associação de Moradores, não é comum o registro de brigas ou roubos, mas há uma atividade de tráfico de drogas intensa dentro de um dos condomínios. A Associação entende que essa atividade existe em diversos contextos urbanos e procura manter relações cordiais, em acordo não formal. No caso sueco não há registros de violência nessa escala e os elevados índices de desenvolvimento humano e de qualidade de vida urbana da Suécia podem indicar controle do Estado sobre essas ações.



**Figura 6-** Fotografias das áreas comuns dos dois residenciais. Fonte: Fotografias capturadas no local. No Brasil, dia 27 fev. 2023. Na Suécia, entre os dias 16 e 20 jan. 2023.

É notável, nas áreas comuns do conjunto brasileiro, a boa manutenção dos jardins. O conjunto foi entregue com as áreas gramadas, algumas árvores e coqueiros. Posteriormente, os moradores que fazem a manutenção ampliaram as áreas ajardinadas e as espécies. O padrão de salão de festas e parquinho, instalado pela construtora no interior dos condomínios, foi modificado pela maioria. No caso sueco, as áreas públicas apresentam boa manutenção, com desenho e equipamentos superiores aos encontrados no caso brasileiro, e são de responsabilidade do poder público. As lavanderias e estacionamentos se encontram nos subsolos e a limpeza das áreas comuns é realizada regularmente. Notamos maior variedade de equipamentos e melhor distribuição, pelas áreas livres entre os blocos (**Figura 6**).

Os conjuntos brasileiro e sueco possuem equipamentos de lazer similares. No caso sueco, os parquinhos estão presentes em maior quantidade e existem quadras, de areia e poliesportivas, ausentes no caso brasileiro. No Residencial Sírius há salões de festas fechados, que não foram localizados no conjunto sueco. Sobre a densidade demográfica dos conjuntos, é difícil afirmar se elas são adequadas. No caso sueco, dada a localização e a quantidade de equipamentos oferecidos, poderia ocorrer maior adensamento, porém isso poderia afetar a qualidade dos serviços. No caso brasileiro, a oferta de serviços e equipamentos não é condizente, por isso consideramos que a alta densidade agrava a situação já vista, colocando milhares de pessoas em território com escassez e disputa pelos serviços públicos.

A habitação social no Brasil carece de ser acompanhada pelo planejamento das cidades. Urge aplicar os instrumentos do Estatuto da Cidade, por meio dos Planos Diretores, o que, de acordo com o estudo apresentado, não ocorre. Em contraponto, a construção da habitação social na Suécia (Endrighi, 2020; Gustafsson, 2022) ocorre em conjunto com a infraestrutura urbana necessária para sua integração à malha urbana existente. Em Campinas, temos vazios urbanos suficientes para produzir moradia social na malha urbana consolidada, mas isso não acontece. Urbanizar novas áreas para a construção de habitação social pode ser uma alternativa conveniente, desde que acompanhada pela construção da cidade. O desenvolvimento ordenado dessas novas áreas poderia ser um dos recomeços da atuação pública efetiva sobre o planejamento das cidades, à imagem do caso sueco. Construir habitação é, fundamentalmente, construir a cidade — seja pelo uso virtuoso de áreas centrais dotadas de infraestruturas, ou pela ampliação das áreas urbanas, quando esta opção for consistente.

Na realidade brasileira, nem colocamos a moradia social nos vazios existentes da malha urbana consolidada (com raríssimas exceções), nem construímos a cidade no entorno da habitação social. Os vazios urbanos continuam desfavorecendo a mobilidade, a qualificação urbana e a segurança das cidades, enquanto os beneficiários da habitação de interesse social são excluídos nas periferias, em consonância com o observado por Villaça (2003). O Conjunto Habitacional Sírius está localizado na região noroeste de Campinas, que tem uma grande concentração de pobreza, além de estar separada da porção mais rica do território por três barreiras urbanas: as rodovias Bandeirantes e Anhanguera, e a linha férrea, ativa para composições de cargas. O Conjunto Habitacional Västra Kattarpsvägen está localizado na região central da cidade de Malmö, na Suécia, tendo sido construído quando a região ainda não estava consolidada.

A cidade de Malmö desenvolveu seu planejamento urbano, ocupando o território de forma mais homogênea, sem deixar áreas vacantes. Campinas, na contramão, possui diversas áreas vagas no tecido urbano. A conexão, na cidade sueca, é mais eficiente, com linhas de transportes modais mais eficientes e de maior capacidade, mesmo com menos habitantes, por ser uma cidade com maior densidade populacional. Em Campinas, a urbanização dispersa, explicada por Reis Filho (2006) exige, proporcionalmente, maior superfície de solo.

As diferenças entre a coesão dos territórios das duas cidades são refletidas na oferta de equipamentos e serviços próximos aos conjuntos habitacionais em tela. Altas densidades não significam, necessariamente, bem-estar urbano. Porém, Malmö tem um bom equilíbrio entre a densidade demográfica, a densidade construtiva e os aparatos de infraestrutura urbana necessários para o funcionamento da cidade. Campinas não apresenta o mesmo equilíbrio, enfrentando problemas de mobilidade, entre outros. Há uma característica na implantação do conjunto brasileiro que corrobora com a análise de que há o aprofundamento da especulação imobiliária urbana. Um

dos condomínios que formam o Residencial Sírius está mais afastado e o acesso a esse condomínio dista cerca de um quilômetro a mais, conforme apresentado na **Figura 7**. Com poucas modificações, essa distância diminuiria consideravelmente. O prolongamento da via dotou de infraestrutura as áreas adjacentes, que terão menor custo, quando forem ocupadas.



**Figura 7-** Acesso ao Condomínio D1. Fonte: Imagem aérea adaptada de Google Earth. Fotografias capturadas no local entre os dias 27 fev. e 03 mar. 2023.

Podemos afirmar, assim, que o caráter meritocrático-clientelista do estado de bem-estar social brasileiro reflete nas políticas públicas habitacionais de tal forma que os conjuntos habitacionais construídos, à imagem do Conjunto Habitacional Sírius, reforçam o padrão de urbanização dispersa, observado nesse território por Reis Filho (2006), e a especulação imobiliária da terra urbanizada, que tem seus desdobramentos explicados por Maricato (2015) e Harvey (2005).

#### 4. Considerações Finais

As políticas públicas habitacionais brasileiras perpetuam o processo de urbanização dispersa, privilegiando os interesses do capital especulativo imobiliário, agravando as condições urbanas e excluindo as populações mais pobres nas periferias. No que tange à justiça social no espaço urbano, a Suécia está à frente. O resultado é perceptível nos espaços públicos urbanos, mais seguros e convidativos, quando comparados à realidade brasileira. O sistema habitacional sueco apresenta maior equilíbrio nos processos de urbanização, no sentido de acesso mínimo a todos. No Brasil, a desigualdade é significativa e agrava injustiças e violência urbanas. Para alguns poucos com poder de compra muito elevado, quase não há restrições de acesso aos serviços e equipamentos urbanos, enquanto estes são negados a parcela significativa da população, sujeitas ao poder de compra muito restrito.

#### Referências

- CALDEIRA, T. P. R. Enclaves fortificados: a nova segregação urbana. **Estudos Cebrap**, São Paulo, v. 47, p. 155-176, 1997.
- DRAIBE, S. M. Estado de bem-estar, desenvolvimento econômico e cidadania: algumas lições da literatura contemporânea. In: HOCHMAN, G.; ARRETCHE, M.; MARQUES, E. (Orgs.). **Políticas públicas no Brasil**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2006, p. 27-64.
- ENDRIGHI, M. C. Z. **Housing for whom?: urban development and housing commodification in a suburban area of Stockholm, Sweden**. 2020. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) — Departamento de Geografia Humana, Universidade de Estocolmo, Estocolmo, Suécia.
- ESPING-ANDERSEN, G. As três economias políticas do welfare state. **Lua Nova**, n. 24, set. 1991.
- FIORI, J. L. C. Estado de bem-estar social: padrões e crises. **Revista de Saúde Coletiva - PHYSIS**, Rio de Janeiro, v. 7, 1997.
- GUSTAFSSON, J. The state of tenancy: rental housing and municipal statecraft in Malmö, Sweden. 2022. Tese (Doutorado em Filosofia da Geografia) — Departamento de Geografia Humana, Universidade de Estocolmo, Estocolmo.
- HARVEY, D. A produção capitalista do espaço. 2. ed. São Paulo: Annablume, 2005.
- MARICATO, E. **Para entender a crise urbana**. São Paulo: Expressão Popular, 2015.
- NOGUEIRA, V. M. R. O estado de bem-estar: origens e desenvolvimento. **Revista Katalysis**, n. 5, jul./dez., 2001.
- REIS FILHO, N. G. **Notas sobre urbanização dispersa e novas formas de tecido urbano**. São Paulo: Via das Artes, 2006. v. 1.
- ROLNIK, R.; PEREIRA, A. L. dos S.; LOPES, A. P. de O.; MOREIRA, F. A.; BORRELLI, J. F. de S.; VANNUCHI, L. V. B.; ROYER, L. de O.; ROSSI, L. G. A.; IACOVINI, R. F. G.; NISIDA, V. C. Inserção urbana no PMCMV e a efetivação do direito à moradia adequada: uma avaliação de sete empreendimentos no estado de São Paulo. In: AMORE, C. S.; SHIMBO L. Z.; RUFINO M. B. C. (Orgs.). **Minha Casa... e a Cidade?** Avaliação do Programa Minha Casa Minha Vida em seis estados brasileiros. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2015a.
- ROLNIK, R.; PEREIRA, A. L. dos S.; MOREIRA, F. A.; ROYER, L. de O.; IACOVINI, R. F. G.; NISIDA, V. C. O Programa Minha Casa Minha Vida nas Regiões Metropolitanas de São Paulo e Campinas: aspectos socioespaciais e segregação. **Cadernos Metrôpole**, v. 17, p. 127-154, 2015b.
- VILLAÇA, F. A segregação urbana e a justiça (ou a justiça no injusto espaço urbano). **Revista Brasileira de Ciências Criminais**, São Paulo, n. 44, p. 341-346, jul./set. 2003.

## Estabilização Mecânica e Química de Solo Argiloso Retrátil do Sul do Brasil

Murilo Henrique dos Santos Novaes<sup>1</sup>, Jean Alberto Sampietro<sup>2</sup>, Carlos Vieira<sup>3</sup>, Kelly Tamires Urbano Daboit<sup>4</sup>, Schayanne Matos Henrique<sup>5</sup>, Aline Lima de Sena<sup>6</sup>.

1. Mestre em Ciência do Solo, Murilo.henriquee@hotmail.com, Universidade do Estado de Santa Catarina
2. Doutor em Engenharia Florestal, engsampietro@gmail.com, Universidade do Estado de Santa Catarina
3. Mestrando em Ciência do Solo, carlosvieira.agro@gmail.com, Universidade do Estado de Santa Catarina
4. Mestranda em Ciência do Solo, kellytamiresudaboit@gmail.com, Universidade do Estado de Santa Catarina
5. Doutoranda em Ciência do Solo, schayanne.henrique@gmail.com, Universidade do Estado de Santa Catarina
6. Doutoranda em Ciência do Solo, alinelimadesena@hotmail.com, Universidade do Estado de Santa Catarina

**Resumo:** Este artigo aborda o estudo da influência da estabilização mecânica e química de um solo com potencial de retração/expansão do Sul do Brasil, visando avaliar a variação da consistência, granulometria, compactação e resistência mecânica. O solo foi coletado em Vacaria/RS, contendo textura muito argilosa, sendo classificado conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) como Latossolo Bruno Distrófico Típico (LBVAC), do horizonte B (HB) coletado foi incorporado 3% de cimento CP II, e o solo é originário do basalto. A metodologia dos ensaios de laboratório englobou: (i) Limites de consistência; (ii) Análises granulométricas; (iii) Ensaio de compactação; (iv) Índice de suporte Califórnia (CBR); (v) Ensaio de Cone de Penetração Dinâmica (DCP). O período de cura das misturas foi de no mínimo 24 horas. Os resultados desta pesquisa indicam que a estabilização mecânica teve baixo efeito conforme ocorreu o aumento das energias, e na estabilização química a incorporação do cimento influenciou positivamente nos parâmetros de resistência à compressão e expansão do solo em condições extremas de saturação.

**Palavras-chave:** Solo-cimento, retração, expansão.

### 1. Introdução

No Sul do Brasil existe uma gama de diferentes solos, que apresentam peculiaridades no que se refere a condições físicas, onde a capacidade de retração é notória em alguns solos argilosos. Visto que alguns pesquisadores estudaram e caracterizaram estes solos foi identificado que nos ciclos de secagem estes solos apresentaram fragmentação em blocos prismáticos e fendilhamento acentuado em sua estrutura (SANTOS *et al.*, 2018), e nos ciclos de umedecimento notou-se expansão do volume de solo.

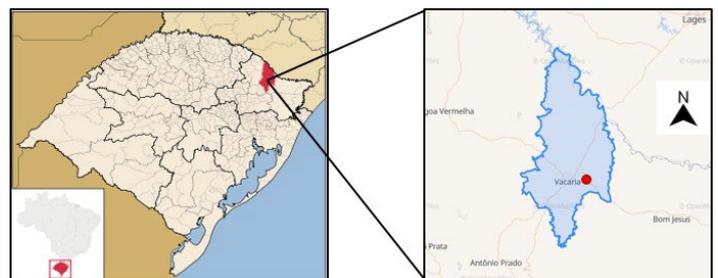
Na geotecnia universal os solos que apresentam elevado grau de expansão têm sua notoriedade iminente, pois estes levam a grandes problemas patológicos na estrutura dos pavimentos causando trincas e rachaduras, porém a retração também é muito importante, pois pode levar a grandes movimentações do solo em épocas de verão cuja precipitação é amena, pois os solos subtropicais argilosos apresentam um índice de vazios de quase 70% favorecendo o rearranjo das partículas de solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a estabilização mecânica e química de um solo retrátil possibilitando

identificar se o mesmo pode ser utilizado como sub-base de pavimento de acordo com as premissas do Índice de Suporte Califórnia (CBR) explanadas no Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), e ainda verificar se este solo retrátil muito argiloso tem alta capacidade de expansão mesmo em condição compactada.

### 2. Metodologia

Para condução das análises o solo escolhido foi coletado em talude de corte adjacente a rodovia (BR-285) em Vacaria/RS, solo este estudado por Silva (2015; 2017; 2019) e Testoni (2015). A localização exata está exposta na **Figura 1**, e as coordenadas são **28°30'47.40" S; 50°53'36.90" W**;



**Figura 1** – Localização do município de Vacaria/RS e do local de coleta do solo (ponto vermelho em detalhe).

Fonte: maps.google.com

Coletou-se cerca de 80 kg de solo a uma profundidade de 80 cm caracterizando o HB.

Para realização da análise granulométrica foi utilizado o método da Pipeta descrito por Day (1965) com três repetições para cada solo (Silva, 2015). Os “Limites de Atterberg” foram descritos segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – Norma Brasileira (ABNT-NBR) 6459:2016 – Solo – Determinação do Limite de Liquidez e ABNT-NBR 7180:2016 – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade.

O ensaio de compactação teve execução precedida pelos métodos da ABNT-NBR 6457/2016 - Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização e da ABNT-NBR 7182/2016 - Ensaio de compactação. Os ensaios de CBR foram realizados na energia intermediária, simulando uma energia para uso do solo compactado em uma sub-base de pavimento. Duas

normas foram utilizadas para auxiliar no processo a ABNT-NBR 9895/2016 – Solo – Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio e a Norma DNIT 172/2016 ME – Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio.

O ensaio de Cone de Penetração Dinâmica (DCP) é realizado por um equipamento padronizado dotando-se de ponteira cônica que penetra no material. Não há regulamentação no Brasil deste ensaio, logo o uso da norma Americana é viável chamada de *American Society for Testing and Materials (ASTM) D-6951:2018 (Standard test method for use of the dynamic cone penetrometer in shallow pavement applications)*. Este ensaio foi executado após os cilindros serem expostos a embebição durante 96 horas e realizado o CBR. A penetração foi realizada ao lado do ponto deformado pela prensa na mesma face, onde buscou-se o índice de penetração do material estudado com intuito de correlacionar com os valores obtidos de CBR.

### 3. Resultados

Os índices físicos obtidos estão explanados na **Tabela 1**, e enfatizam que o solo apresentou variações significativas na textura e nos limites de consistência, ou seja, o aditivo proporcionou a cimentação das partículas de argila transformando-as em silte, o limite de liquidez (LL), o limite de plasticidade (LP) e o índice de plasticidade (IP) obtiveram redução em seus valores.

Tabela 1 – Índices Físicos do LBVAC HB

Solo Puro		Solo com Aditivo	
Argila (%)	65,3	Argila (%)	49,41
Silte (%)	26,2	Silte (%)	42,19
Areia (%)	8,40	Areia (%)	8,40
LL (%)	66,81	LL (%)	57,67
LP (%)	56,81	LP (%)	48,95
IP (%)	10,01	IP (%)	8,72

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Para mensurar o efeito da estabilização mecânica em diferentes energias, a **Figura 2** denota que o solo apresenta uma baixa variabilidade de massa específica aparente seca ( $\rho_d$ ) conforme ocorre o incremento de energia de compactação, ou seja, em termos de execução *“in loco”* de infraestrutura rodoviária, o incremento de energia por intermédio de rolos compactadores pé de carneiro com uma maior quantidade de “fecha” resultará em pouco ganho de  $\rho_d$  neste tipo de solo. Na energia intermediária (EI) o solo apresentou uma umidade ótima a compactação ( $U_{oc}$ ) = 32,5% e massa específica aparente seca máxima ( $\gamma_{dm\acute{a}x}$ ) = 1,408 g/cm<sup>3</sup>.

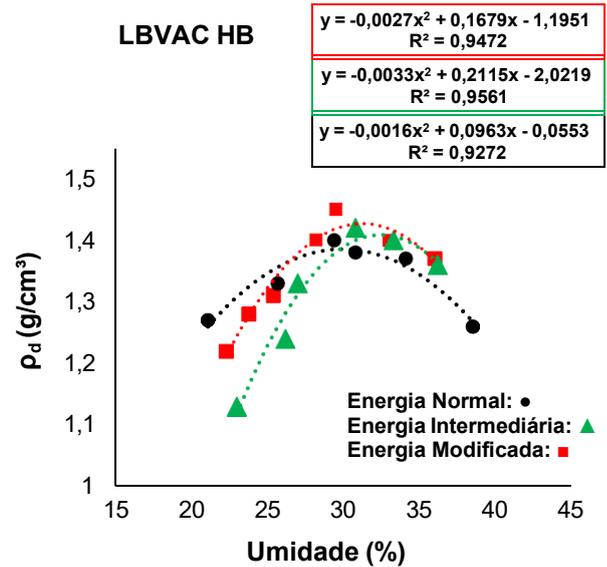


Figura 2 – Gráfico da Estabilização Mecânica (solo puro) em diferentes energias.

Evidentemente conforme a **Tabela 2** foi calculado o grau de compactabilidade (GC) entre as curvas de compactação cujo foco é detalhar em porcentagem a quantidade de ganho em  $\rho_d$  que o solo obteve a partir das curvas de compactação.

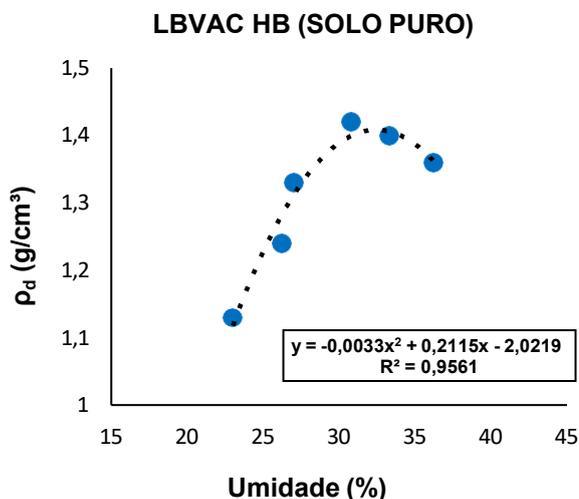
No viés executivo de infraestrutura, o solo apresentou baixo GC, complementando que o projetista que irá trabalhar com este tipo de solo deve se atentar pois entre a EI e a normal o GC ficou em 1,80%, valor muito baixo, caracterizando que se quiser aumentar o valor da  $\rho_d$  a energia modificada deve ser utilizada, porém irá acarretar em um ganho de 3,18% em relação a energia normal, ou seja, a mobilização de máquinas, gastos com combustível e colaboradores, mais o desgaste dos maquinários não evidenciam uma boa escolha para melhorar a  $\rho_d$ , então uma estabilização química poderá trazer melhores benefícios ao processo executivo de uma infraestrutura com este solo.

Tabela 2 – Grau de compactabilidade (%) entre as curvas de compactação (solo puro)

Energia do Proctor	
Modificada/Normal	3,18%
Modificada/Intermediária	1,34%
Intermediária/Normal	1,80%

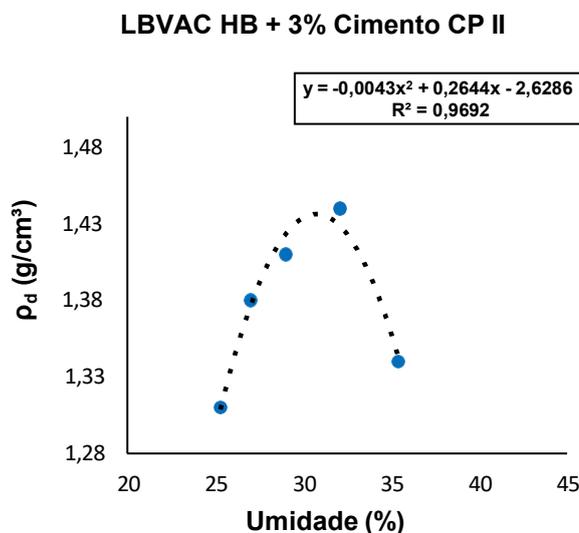
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Na análise da energia intermediária do solo puro (**Figura 3**) pode-se observar que a mesma apresentou maior amplitude de umidade para a compactação quando comparado ao solo com aditivo, e a  $\rho_d$  entre as duas figuras ficaram próximas, caracterizando que não houve um grande incremento desta variável a partir do estabilizante químico.



**Figura 3** – Curva de compactação na energia intermediária do solo puro

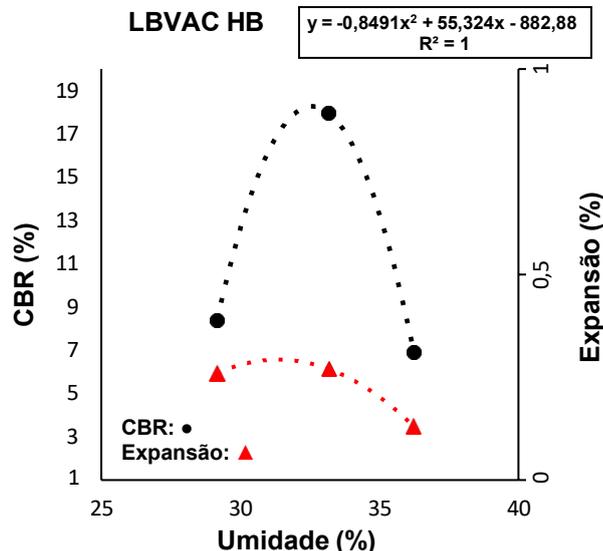
Na avaliação da curva de compactação do solo estabilizado quimicamente (**Figura 4**), o cimento proporcionou uma diminuição na Uoc (30,8%) e um leve aumento na  $\gamma_{dm\acute{a}x}$  (1,439 g/cm³).



**Figura 4** – Curva de compactação na energia intermediária do solo com aditivo

Os valores de CBR obtidos do solo puro chamou atenção, pois apresentam maior resistência que outros solos com menor teor de argila encontrados em Santa Catarina (Vargas, 2021), na **Figura 5** o LBVAC HB apresentou CBR de 17,96% e expansão de 0,27% após 96 horas de embebição, ou seja, levando em consideração o que preconiza o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), este solo apresentou valor aceitável de expansão em condição compactada para ser utilizada em sub-base de pavimento, mas não satisfaz a condição de ter um CBR  $\geq 20\%$ , valor

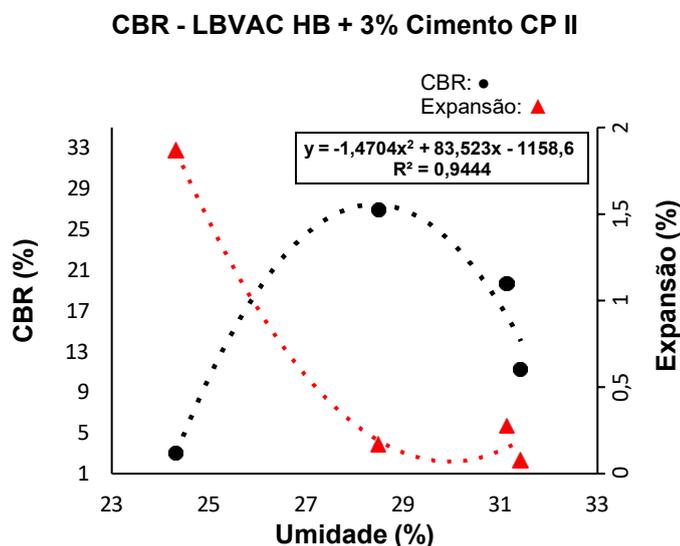
este que ficou bem próximo, logo a estabilização química trouxe viabilidade para alcançar este valor.



**Figura 5** – Curva de CBR do solo puro

Com o solo estabilizado quimicamente (**Figura 6**) o valor máximo de CBR subiu cerca de 49,84% em relação a análise com o solo puro, denotando que as camadas de argila têm bastante afinidade com o cimento CP II. O valor máximo de CBR encontrado foi de 26,91% e a expansão de 0,17%.

Este solo deve-se ter um bom gerenciamento “*in loco*”, pois no ramo mais seco da curva a expansão fica acentuada a quase 2%, caracterizando que negligenciado o controle de umidade os problemas patológicos como trincas e rachaduras por conta da movimentação do solo ocorrerá.



**Figura 6** – Curva de CBR do solo estabilizado

A curva de penetração do solo sem aditivo (**Figura 7**), apresentou, quando comparado a utilização de aditivo, uma maior penetração no solo utilizando pressões menores, ou seja, caracterizando uma resistência menor do solo.

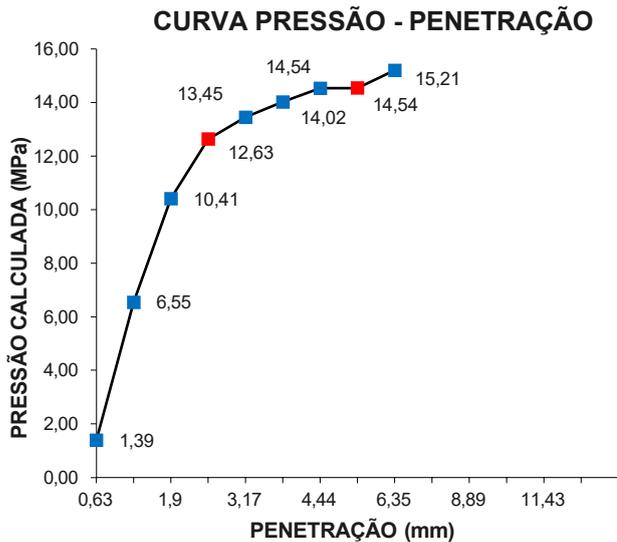


Figura 7 – Curva de Pressão x Penetração (CBR) do solo puro

A curva de pressão versus (vs) penetração do ponto que obteve maior CBR está exposto na Figura 8, onde nos pontos vermelhos ocorreu a penetração de 2 e 4 minutos respectivamente, percebe-se que entre este tempo a pressão se manteve estável e posteriormente quando foi corrigida chegou ao valor de 26,91%.

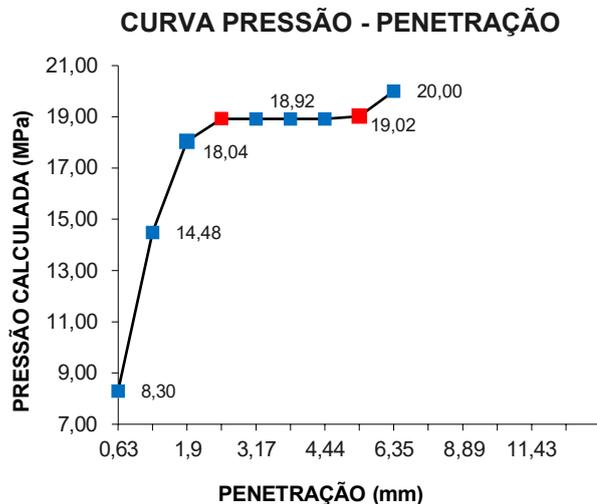


Figura 8 – Curva de Pressão x Penetração (CBR) do solo com aditivo

O LBVAC HB apresentou alta correlação entre os resultados do ensaio CBR e DCP (Figura 9) demonstrando que o DCP é uma ferramenta versátil para a análise de compactação dos solos. Resende et al. (2013) identificaram que o DCP apresentou bons resultados a campo para identificação da compactação além de possuir diversas qualidades, como a sua rapidez, baixo custo, precisão e praticidade, sendo desta forma uma opção rentável para uso a campo na avaliação de solos para a construção de estradas e ferrovias.

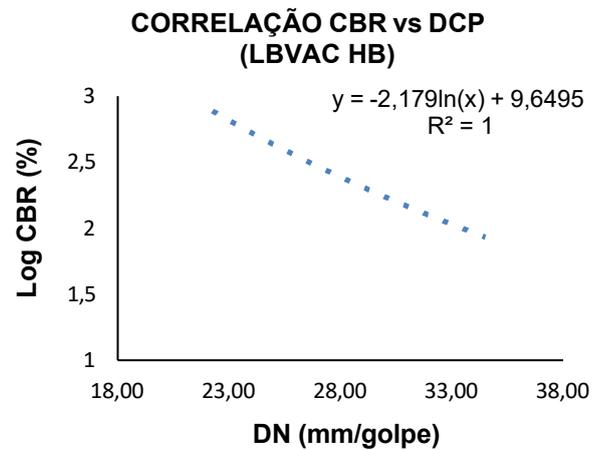


Figura 9 – Correlação entre CBR e DN do solo puro

O solo compactado após o ensaio de CBR foi submetido ao ensaio de DCP, onde mostrou-se o índice de penetração (DN) bem correlacionável com os valores de CBR obtidos, para um melhor ajuste da curva usou-se o Log(CBR), logo a resultante foi clara, à medida que o DN decresce o CBR aumenta (Figura 10).

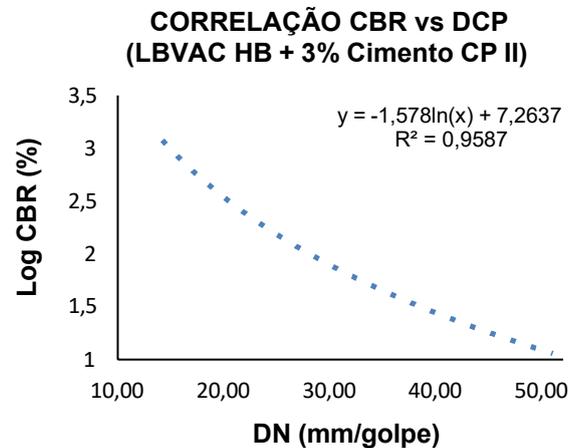


Figura 10 – Correlação entre CBR e DN do solo estabilizado

#### 4. Considerações Finais

A estabilização mecânica trouxe baixo efeito conforme ocorreu o acréscimo de energia no solo puro, ou seja, para fins construtivos esse solo ao ser submetido a maiores quantidades de passadas de máquinas compactadoras terá um resultado muito próximo comparado com a energia normal, mesmo apresentando característica do caráter retrátil o solo puro apresentou um CBR de quase 18% e uma expansão baixa de 0,27%, dando ênfase que não pode ser usado como sub-base de pavimento, pois não alcançou os 20% exigido pelo DNIT IPR 719.

Na estabilização química o solo alcançou valores superiores a 20% e teve uma diminuição na expansão, logo se enquadrou para possível uso em sub-base de pavimento.



O CBR e o DCP mostraram-se ensaios correlacionáveis, onde o DCP por ser um equipamento de fácil manuseio e de rápida trabalhabilidade é capaz de estimar valores de CBR com bastante precisão.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457**: Amostra de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6459**: Solo: Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7180**: Solo: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7182**: Solo: Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9895**: Solo: Índice de suporte Califórnia (ISC): Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

DAY, P. **Particle fractionation and particle-size analysis**. In: Black C.A. (ed.). *Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison. Ame. Soc.of Agronomy. 1965.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT IPR 719**: Manual de pavimentação. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 172/2016 - ME**: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio. Rio de Janeiro: DNIT, 2016.

RESENDE, L. R. M, OLIVEIRA FILHO W. L., NOGUEIRA, C. L. Use of the DCP test for compaction control of staged dikes in mining tailings dams. Rem: **Revista Escola de Minas**, [S.L.], v. 66, n. 4, p. 493-498. FapUNIFESP (SciELO). 2013

SANTOS, H. G. D. *et al.*, **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Embrapa. Brasília – DF. 2018

SILVA, L. **Caráter retrátil de Nitossolos e Latossolos do Sul do Brasil**. 2015. 128p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2015.

SILVA, L. **Retração do solo e relação com as propriedades físico-hídricas de Latossolos e Nitossolos do Sul do Brasil**. 2019. 109p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2019.

SILVA L, SEQUINATTO L, ALMEIDA JA, BORTOLINI D. Methods for quantifying shrinkage in Latossolos (Ferralsols) and Nitossolos

(Nitisols) in Southern Brazil. **Rev Bras Cienc Solo**. 2017;41:e0160364.

TESTONI, S. A. **Mineralogia da fração argila de Latossolos e Nitossolos Brunos com caráter retrátil**. 2015. 155p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2015.

VARGAS, D. A. D. **Comportamento mecânico de um solo tratado com estabilizantes químicos para pavimento de estrada florestal**. 2021. 90p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2021.



# DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA (SGE) COM IMPLANTAÇÃO DE INDICADORES DE ENERGIA PARA TOMADA DE DECISÃO, APLICADO A CAMPUS UNIVERSITÁRIO

Sidney Riva<sup>1</sup>, Marcius Fabius Henriques de Carvalho<sup>2</sup>

1. Engenheiro Civil, [sidneyriva@gmail.com](mailto:sidneyriva@gmail.com), Pontifícia Universidade Católica de Campinas.
2. Professor Doutor, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Brasil Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana

**Resumo:** O avanço tecnológico e o aumento populacional contribuem para o aumento do consumo de eletricidade nas tarefas diárias, sejam: de uma grande indústria; um campus universitário ou uma residência. Como gerenciar e reduzir o consumo de energia neste novo cenário? A redução pelo racionamento do consumo da energia não é uma alternativa aceitável e sim a busca por uma gestão consciente. Neste caminho surge a questão: Como identificar em que momento deve-se optar para busca de novas fontes de energia e qual seria esta fonte? Um caminho é de busca de indicadores da relação comparativa do consumo em função do local que foi utilizada a energia, seja na indústria produzindo equipamentos ou processos operacionais, seja em um campus universitário fazendo relações de consumo de energia em função da quantidade, por exemplo, de alunos, de prédios com salas de aula, de laboratórios ou em residências comparando os tipos de famílias com suas rotinas diversas. Estas informações podem ser transformadas em indicadores de consumo e a partir deles pode-se propor formas de gestão do sistema ou buscar novas fontes alternativas energia.

**Palavras-chave:** Indicadores de consumo de energia, Indicadores de eficiência energética, Sistema de gestão de energia.

## 1. Introdução

A energia elétrica, seja para qual for sua finalidade, é consumida para que se possa realizar alguma tarefa ou executar algum trabalho com o objetivo de obter um resultado. Em tempos atuais cada vez mais a humanidade torna-se dependente de equipamentos que utilizam eletricidade como fonte de energia, para realizar suas atividades, proporcionar o conforto, locomoção e acessibilidade (computadores, iluminação, aparelho de ar-condicionado, elevadores, equipamentos específicos de cada área de atuação...). Segundo Ferreira, J., et Ferreira, T., (1994), racionar a energia elétrica não é a melhor opção, o consumo consciente e a escolha de equipamentos com baixo consumo de energia deve ser considerado a fim de utilizar somente o que for necessário, mantendo o resultado sem comprometer o que se espera de todos estes equipamentos modernos, que tanto nos auxiliam e cada vez mais estão presentes nas rotinas proporcionando conforto e facilidade. A eficiência e comprovação, se todo sistema está proporcionando o esperado, é avaliada através de um

Sistema de Gestão de Energia (SGE) com dados que comprovem e comparem o antes e depois, projete demandas e soluções futuras.

Segundo Fernandes, Marcio Luiz (2017), se sobressaem as ações que objetivam o controle e o acompanhamento do consumo de energia, que paralelo às ações de gestão surge à necessidade de desenvolver o controle e avaliação dessas ações, obtendo informações que possam ser usadas de forma estratégica para tomada de decisão. As informações de consumo da energia devem ser coletadas, monitoradas e avaliadas em todas as configurações possíveis, a fim de identificar uma relação do consumo em função do resultado esperado, utilizar a energia sem desperdício não comprometendo o trabalho final. Os indicadores de eficiência energética irão apresentar se as ações tomadas irão apresentar o resultado esperado. Os indicadores devem ser bem definidos para retratar a realidade, segundo Saidel, M.A.; Favato, L.B.; Morales, C. (2005), os indicadores podem ser nas seguintes categorias: indicadores descritivos, quando caracterizam a situação de eficiência energética sem procurar justificativa para as causas ou desvios; indicadores explicativos quando explicam as razões pelas quais se deram variações ou desvios nos indicadores descritivos, ou seja, ajudam a identificar a contribuição dos vários efeitos sejam eles tecnológicos, estruturais ou de comportamento nas variações da eficiência energética. Os indicadores descritivos e explicativos podem ser estabelecidos tendo em consideração dois critérios básicos: critério econômico, quando a eficiência energética é medida em um nível elevado de agregação, não sendo possível caracterizar a atividade com indicadores técnicos ou físicos; critério técnico-econômico, utilizado quando a eficiência é medida em um nível desagregado, ou seja, sub setor, ramo de atividade ou utilização final, relacionando o consumo de energia com um indicador de atividade medido em unidades físicas como: toneladas de aço, número de ocupantes, etc.. Qual o ganho a ser obtido economizando energia? Conforme apresentado por Saidel, M.A.; Favato, L.B.; Morales, C. (2005), pode ser considerado o seguinte cenário: (1)A queima de 1m<sup>3</sup> de madeira representa o equivalente à geração de 2800 kWh de energia; (2)A queima de 3,105 litros de óleo, representa aproximadamente 10 kWh de energia gerada; e (3)A cada 10 kWh de energia elétrica economizada, deixam de ser emitidos 4 kg/h de CO<sub>2</sub> na atmosfera. A escolha da melhor fonte de energia ou energia alternativa irá proporcionar o mesmo resultado, porém com consequências diferentes para o meio ambiente. A implantação de fontes alternativas de energia requer algum



investimento, mudanças de atitudes, além de uma visão puramente imediatista no sentido de resolver um problema de abastecimento.

## 2. Metodologia

O objeto de estudo é um campus universitário com diversidade de cursos e instalações prediais. Como primeiro passo tem-se, conhecer este objeto suas características e necessidades. Neste sentido, as informações de consumo da energia devem ser coletadas, monitoradas e avaliadas em todas as configurações possíveis, a fim de identificar uma relação do consumo em função do resultado esperado visando meios de utilizar a energia sem desperdício, não comprometendo o trabalho final. Os indicadores de eficiência energética irão apontar se as ações tomadas terão os resultados desejados. O local a ser realizado esta pesquisa será o Campus II da PUC Campinas, podendo resumir suas características em: cursos oferecidos de Medicina, Odontologia, Medicina Veterinária, Biologia, Nutrição e Psicologia; possui sua estrutura complementar contendo prédio de Biblioteca, prédio de Fisioterapia com atendimento para o público externo, prédio com Clínica Odontológica com atendimento para o público externo; a estrutura de apoio é formada por prédio Administrativo, Departamento de Segurança Universitária, Departamento de Serviços Gerais e Departamento de Manutenção e Obras; e uma grande estrutura hospitalar sendo o HMCP-Hospital e Maternidade Celso Pierro. Segundo Gazola, T.C.; Silva J. R.; Miguel, M. (2016), minimizar o consumo de energia elétrica e melhorar a eficiência energética pode ter um impacto econômico considerável, pois a energia elétrica tem um custo relevante aos processos produtivos. A metodologia de análise aplicada por esta pesquisa terá como base o conjunto de normas da ABNT que orienta a implantação do SGE (Sistema de Gestão de Energia), sendo: ABNT NBR ISO 50.001:2011 Sistemas de gestão de energia – requisitos com orientações para uso; ABNT NBR ISO 50.002 Diagnósticos energéticos; ABNT NBR ISO 50.003 Auditoria e certificação de sistema de gestão de energia; ABNT NBR ISO 50.004 guia de implementação, manutenção e melhoria de um sistema de gestão de energia; ABNT NBR ISO 50.006 Medição do desempenho energético e indicadores de desempenho e ABNT NBR ISO 50.015 Medição e verificação do desempenho energético das organizações. A aplicação desta metodologia será baseada nos dados existentes, sejam eles através de informações, leituras de equipamentos existentes manuais ou telemetrias. Em um primeiro momento os dados serão registrados, tratados, transformados em indicadores, avaliados para a proposição de soluções para melhorias. Os indicadores a serem desenvolvidos nesta pesquisa deverão apresentar dados que possam mostrar o comportamento e eficiência das cabines de distribuição, sendo eles: CONSUMO MENSAL, DEMANDA, FATOR DE POTÊNCIA E CUSTOS COM MANUTENÇÃO. Podendo ser descritos da seguinte forma: CONSUMO MENSAL em (kWh) sendo potência(W) x horas de uso por dia(h) x dias de uso no mês / 1000; DEMANDA

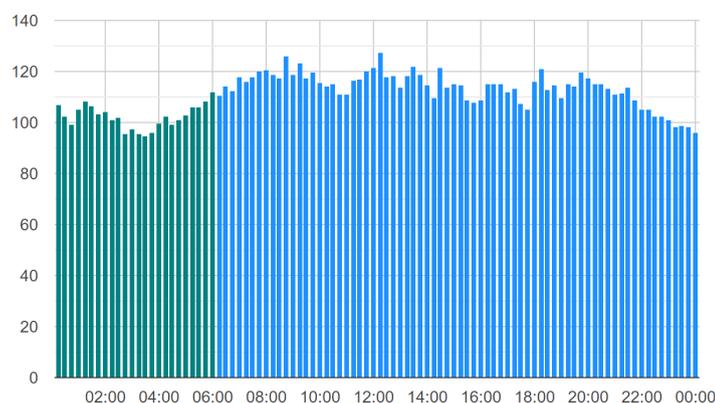
é medida em kW (quilowatt) ou MW (megawatt), a qual é necessária para atender a todas as cargas da unidade dentro de um determinado período de tempo; FATOR DE POTÊNCIA é um índice que relaciona a energia ativa e reativa de uma instalação elétrica, sendo um dos principais indicadores de eficiência energética; CUSTOS COM MANUTENÇÃO é a previsão financeira para manter os equipamentos da cabide de distribuição de energia em perfeito estado de funcionamento.

## 3. Coleta de Dados e Análises Iniciais

No Campus II da PUC Campinas a energia elétrica é fornecida pela CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz) a entrada de energia é compartilhada internamente por 7 cabines de distribuição, sendo a cabine 1 a entrada principal de energia e as cabines 2-3-4-5-6-7-8 são as cabines distribuidoras internas. No mês de junho de 2020, foi implantado um equipamento de medição somente na cabine de entrada (cabine 1), possibilitado os registros diários de consumo, a seguir, apresentado na Tabela1. As Figura1, Figura2, Figura3 e Figura4 apresentam o perfil de medições realizadas em um dia da última semana do mês de junho dos anos de 2020, 2021, 2022 e 2023.

RESUMO CABINE DE ENTRADA - CABINE 1		
ANO	DIA	CONSUMO
2020	27/jun	22004 kWh
2021	21/jun	15494 kWh
2022	20/jun	16919 kWh
2023	19/jun	19907 kWh

**Tabela 1** – Consumo de energia elétrica em kWh em um dia da última semana do mês de junho dos anos de 2020, 2021, 2022 e 2023.



**Figura 1** – Consumo em kWh do dia 27/junho/2020.

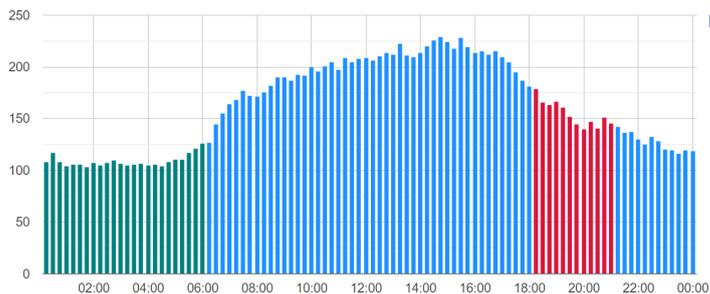


Figura 2 – Consumo em kWh do dia 21/junho/2021.

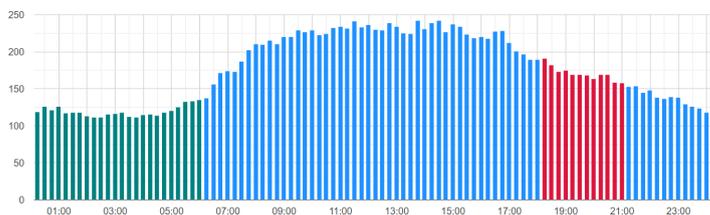


Figura 3 – Consumo em kWh do dia 20/junho/2022.

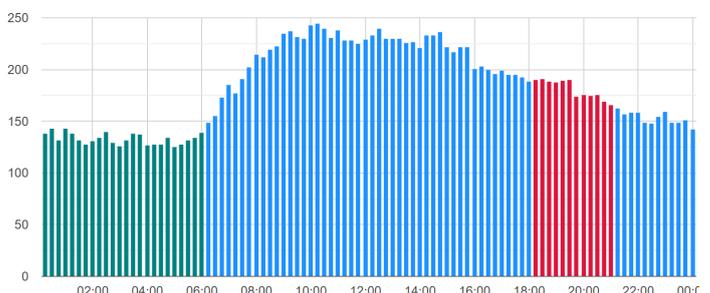


Figura 4 – Consumo em kWh do dia 16/junho/2023.

O consumo anual está represento pelas Figuras 5, 6, 7e8.

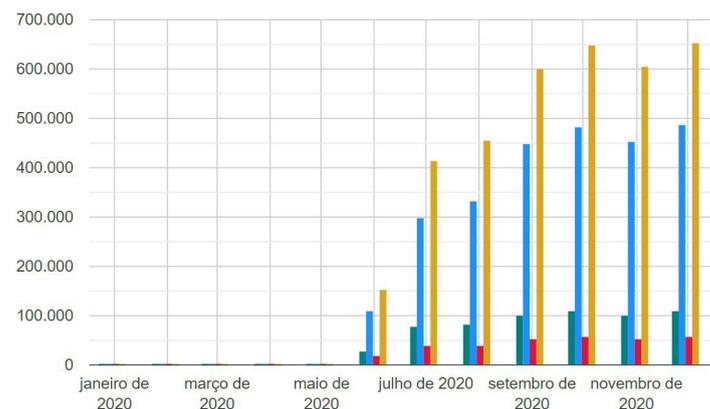


Figura 5 – Consumo em kWh do ano de 2020, com início das medições em junho.

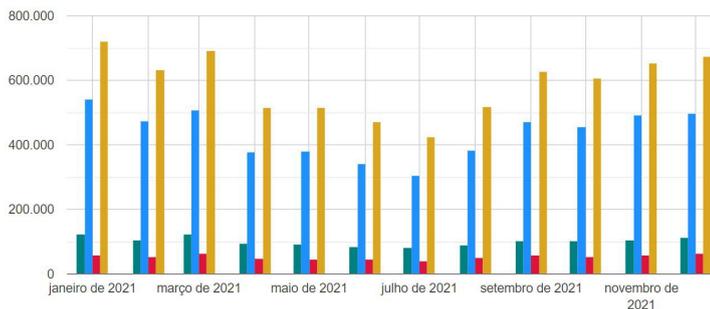


Figura 6 – Consumo em kWh do ano de 2021.

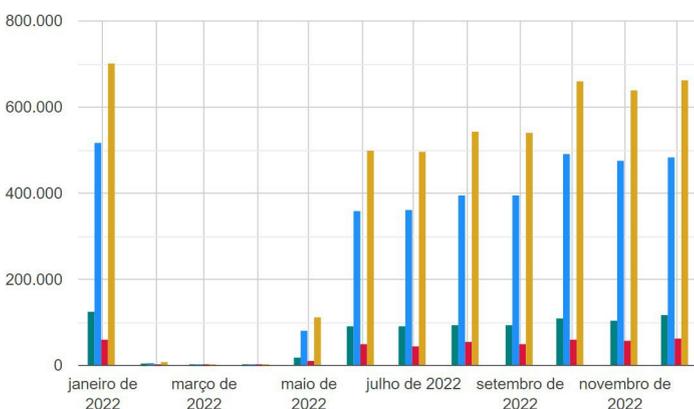


Figura 7 – Consumo em kWh do ano de 2022,

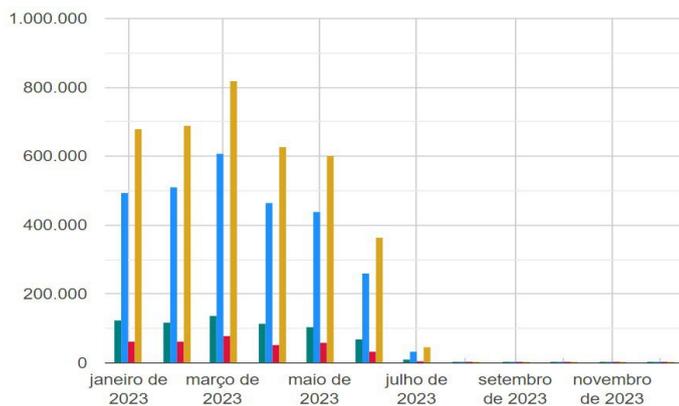


Figura 8 – Consumo em kWh do ano de 2023.

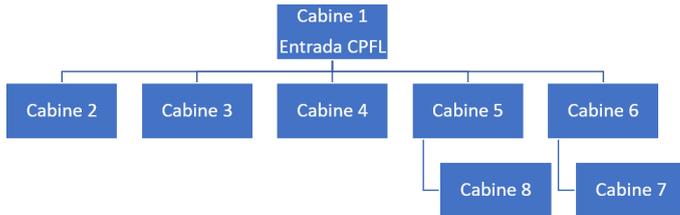
A Figura 7 apresenta uma descontinuidade pois o equipamento apresentou falhas nas medições nos meses de março, abril e maio.



Figura 9 – Legenda.

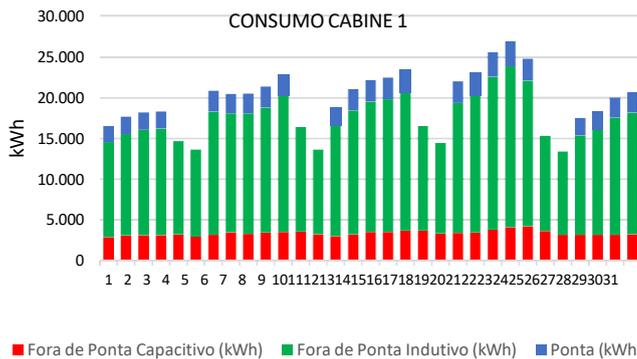


Pode-se observar que os maiores consumos são registrados nos meses mais quentes (janeiro a abril e outubro a dezembro). Estas medições aplicada na cabine de entrada de energia gera informações do consumo global e não permite uma análise setorial com objetivo de mapear os pontos com maior consumo e atuar com proposições melhorias. A distribuição interna segue o fluxograma, apresentado na Figura 10.

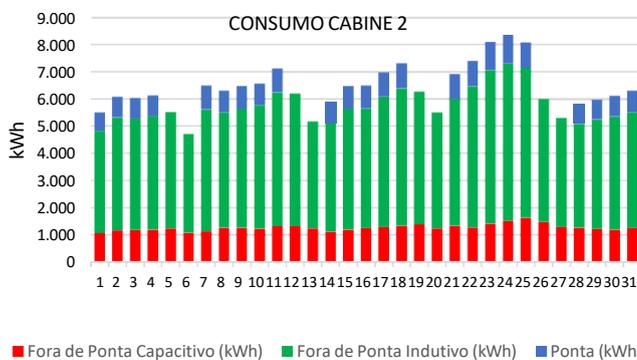


**Figura 10** – Fluxograma de distribuição de energia, sendo a Cabine 1 a entrada e as Cabines 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 distribuição interna.

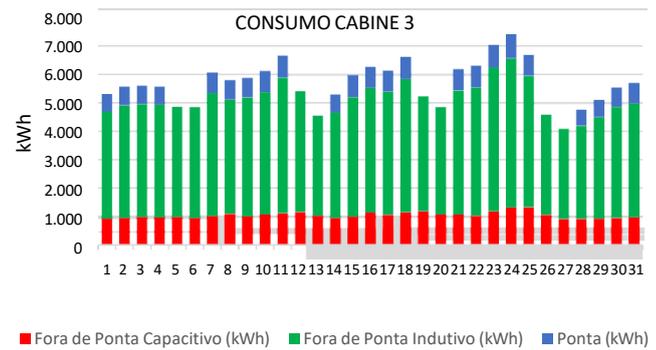
Em agosto de 2023 foi implantado outro modelo com sistema de medição por telemetria, agora permitido as medições em todas as cabines internas. Com isto é possível comparar os consumos locais, apresentados nas Figuras 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18, com índices obtidos na entrada principal de energia, a seguir são apresentados os consumos diários do mês de agosto de 2023.



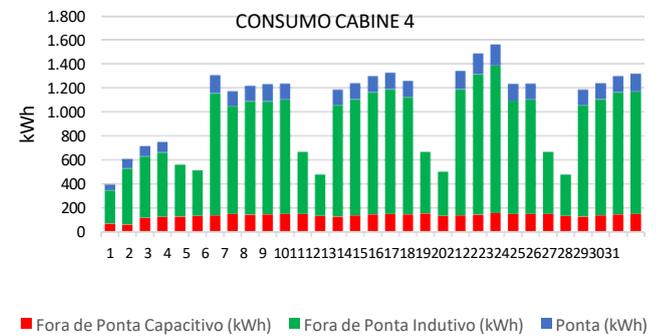
**Figura 11** – Consumo da Cabine 1 do mês de agosto/23.



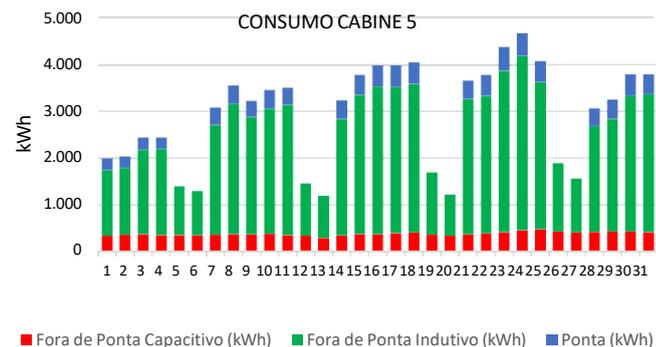
**Figura 12** – Consumo da Cabine 2 do mês de agosto/23.



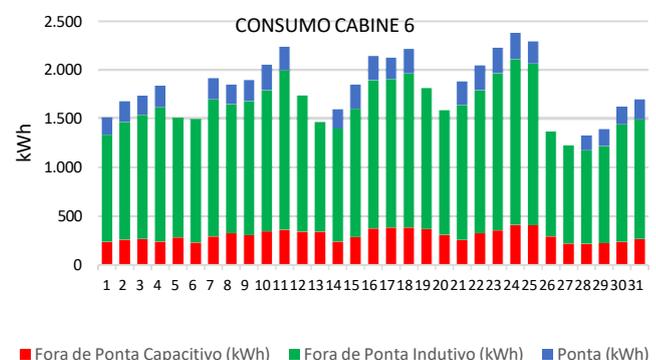
**Figura 13** – Consumo da Cabine 3 do mês de agosto/23.



**Figura 14** – Consumo da Cabine 4 do mês de agosto/23.



**Figura 15** – Consumo da Cabine 5 do mês de agosto/23.



**Figura 16** – Consumo da Cabine 6 do mês de agosto/23.

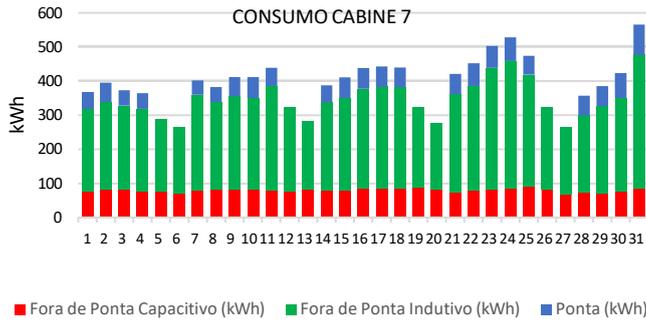


Figura 17 – Consumo da Cabine 7 do mês de agosto/23.

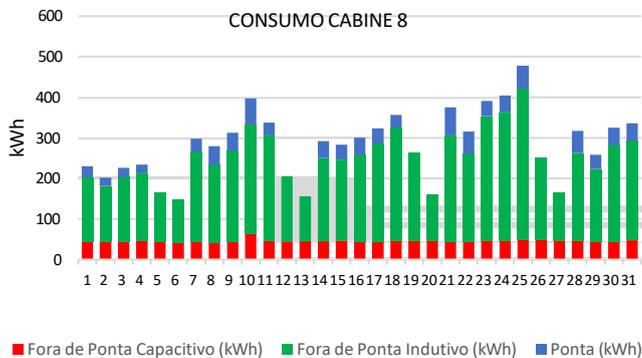


Figura 18 – Consumo da Cabine 8 do mês de agosto/23.

Com a implantação do sistema de medição por telemetria é possível obter dados para melhor entendimento do consumo interno de cada área, assim visualizar em índices percentuais em relação ao consumo de entrada, como representado nas Figuras 19 e 20.

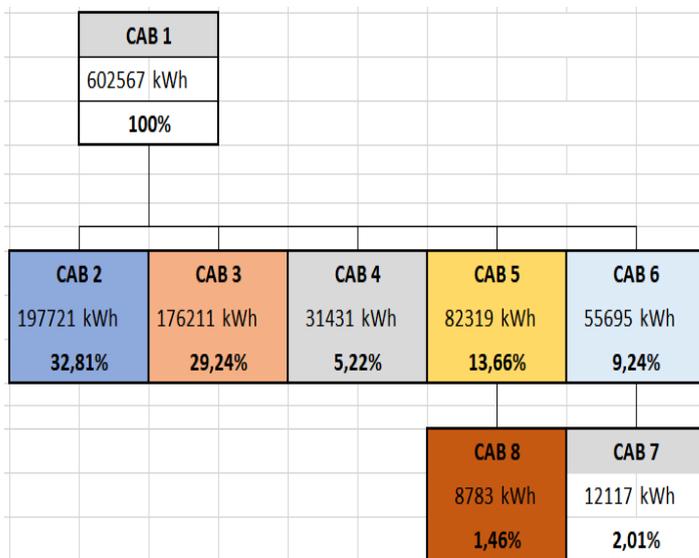


Figura 19 – Fluxograma de distribuição interna com consumo acumulada de 01/08/23 a 31/08/23.

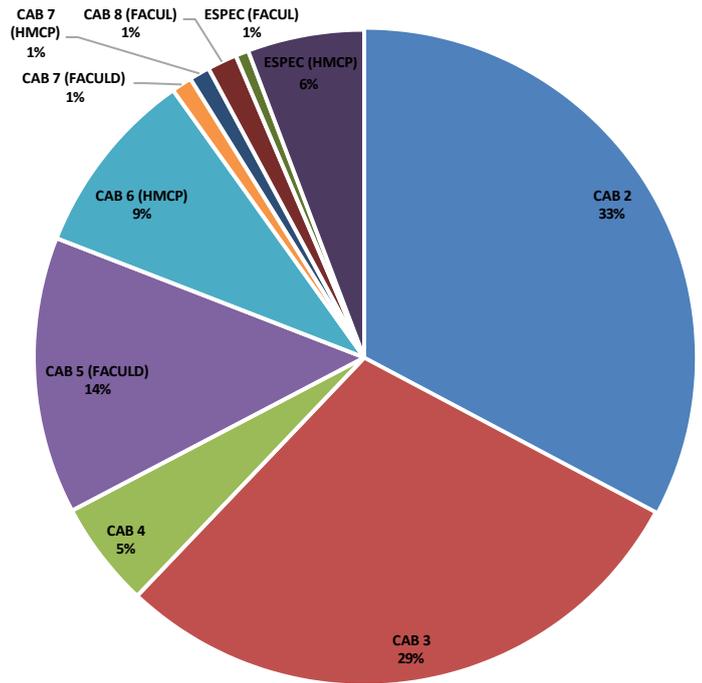


Figura 20 – Índice percentual de distribuição interna com consumo acumulada de 01/08/23 a 31/08/23.

#### 4. Considerações Finais

Esta pesquisa busca obter resultados confiáveis, relacionados ao consumo de energia elétrica, em diversas situações encontradas na universidade, a fim de dar subsídios para as tomadas de decisão na proposição da melhor fonte fornecedora de energia, bem como o fornecimento de energia alternativa. Os dados aqui apresentados são desde junho de 2020, e são somente do total geral na entrada, a partir de agosto de 2023 está sendo possível dados da entrada principal e de todos os consumos internos. Foi observado que as quatro cabines com maior consumo são, na ordem: Cabine 2 com 32,81%, Cabine 3 com 29,24%, Cabine 5 com 13,66% e Cabine 6 com 9,24% do consumo com relação ao consumo geral na entrada. No entanto para se tomar decisões quanto a melhorias dos seus consumos, é necessária armazenar informações por mais alguns meses, dando-se o início do desenvolvimento do Sistema de Gestão de Energia (SGE).



## Referências

ABNT NBR ISO 50.001:2011 Sistemas de gestão de energia – requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2011.

Fernandes, Marcio Luiz (2017). Proposta de um modelo de avaliação do desempenho da gestão de energia em instituições de ensino superior (IES).

Ferreira, J.J.; Ferreira, T.J. (1994). Economia e Gestão da Energia. Texto Editora, Lisboa.

Gazola, T.C.; Silva J. R.; Miguel, M. – Implantação da ABNT NBR 50001:2011 de gestão de energia em Itaipu. Foz do Iguaçu, Brasil, 2016.

Saidel, M.A.; Favato, L.B.; Morales, C. - Congresso Brasileiro De Eficiência Energética, Indicadores energéticos e ambientais: Ferramenta importante na gestão da energia elétrica, 2005 – sef.usf.br.

# DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR ELETROQUÍMICO PARA DETECÇÃO DE ANTIBIÓTICOS EM ÁGUAS NATURAIS

ADRIANA ROBERTA CANDIDO

Mestranda em Sistemas de Infraestrutura Urbana, [adrianarobertacandido@gmail.com](mailto:adrianarobertacandido@gmail.com), Pontifícia Universidade Católica de Campinas

RENATA KELLY MENDES VALENTE

Orientadora em Sistemas de Infraestrutura Urbana, [renatavalente@pucampinas.edu.br](mailto:renatavalente@pucampinas.edu.br), Pontifícia Universidade Católica de Campinas

**Resumo:** O mundo enfrentou recentemente uma completa paralisação diante de uma nova e desconhecida ameaça, denominada COVID 19, provocada pelo novo vírus SARS-CoV-2. A pandemia global teve início no final de 2019 e continua, embora esteja em processo de controle. Durante esses quatro anos, o vírus causou inúmeras vítimas em todo o mundo, até que uma nova vacina fosse desenvolvida. Dentre os muitos problemas decorrentes dessa pandemia, um se destaca, o aumento significativo no uso de antibióticos em escala global. Isso levou à escassez de alguns desses medicamentos em hospitais e farmácias, pois várias opções foram testadas para determinar sua eficácia contra o vírus. A amoxicilina, um antibiótico de amplo espectro tradicionalmente usado para problemas respiratórios, foi amplamente prescrita e utilizada com a esperança de oferecer alguma proteção contra a ameaça viral. No entanto, o aumento do uso de amoxicilina resultou em descarte deste no ambiente, e, conseqüentemente, nos recursos hídricos naturais. Diante dessa realidade, este trabalho tem como objetivo desenvolver um sensor capaz de detectar a presença de amoxicilina em águas naturais e, ao fazê-lo, contribuir para práticas de preservação ambiental mais eficazes.  
Sensor, água, antibiótico

## 1. Introdução

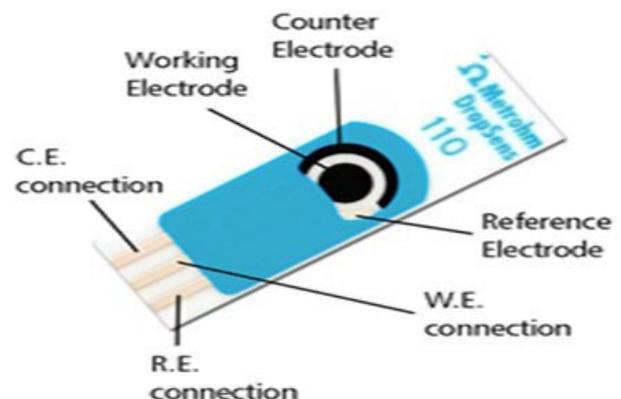
Indiscutivelmente, dentre os eventos recentes da história humana, a pandemia que abalou o mundo recentemente é tristemente histórica e de suma importância. Em março de 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) oficialmente declarou a pandemia da Covid-19 (SOBRINHO et al., 2022), confirmando que um novo vírus estava se espalhando mundialmente, desencadeando um alerta global. Os olhos do mundo se voltaram para a China, onde o vírus Sars-CoV-2, causador da Covid-19, teve seu epicentro. A China já estava sob críticas há algum tempo devido a práticas relacionadas ao meio ambiente e à saúde pública (WEINS; FERREIRA; FEODRIPPE, 2020). Em 2020, não havia tratamentos eficazes conhecidos para a doença. Os casos cresciam exponencialmente e as mortes aumentavam. A busca por uma possível vacina estava em alta (SOBRINHO et al., 2022), e o isolamento social se tornou a melhor solução temporária. Nesse cenário caótico, o uso excessivo de antibióticos emergiu como um problema significativo, já que, de acordo com SOBRINHO et al. (2022), esses medicamentos eram os mais prescritos para combater a Covid-19. Conforme DA et al., (2016.), os antibióticos são uma das abordagens médicas mais bem-sucedidas, pois podem destruir ou inibir o crescimento de

patógenos. A amoxicilina, amplamente prescrita e com eficácia comprovada DA et al., (2016), provavelmente foi amplamente usada durante a pandemia, levantando preocupações sobre seu descarte na urina, que eventualmente atinge mananciais e corpos d'água naturais devido à alta demanda recente. Sensores têm sido explorados como ferramentas para a detecção de compostos químicos, com as técnicas eletroquímicas sendo uma técnica comum (OLIVEIRA et al., 2013). A proposta deste estudo é desenvolver um sensor eletroquímico que utilize voltametria e nanomateriais do tipo core-shell para identificar especificamente a presença de amoxicilina em águas naturais. O objetivo é criar um dispositivo de baixo custo, altamente confiável e seletivo, que possa contribuir para o monitoramento desse antibiótico. Para validar a eficácia do sensor, será realizada uma análise com cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC).

## 2. Metodologia

### 2.1 Sensor

Para a construção de um sensor deve-se inicialmente atentar-se a sua aplicação, para que se defina qual método ser utilizado. Geralmente constituídos por um semicondutor inorgânico que atua como transdutor e um dispositivo de processamento de sinal (EMÍLIO AMADOR SALOMÃO, 2018). Neste caso será utilizado um eletrodo Metrohm de carbono com um contra eletrodo de carbono e um eletrodo de referência de prata, conforme representado na **Figura 1**.



**Figura 1** Eletrodo usado para construção do sensor

### 2.2 Core-sheal

Para fixar a amostra no eletrodo será utilizada uma solução de core-shell composta de nanopartículas de óxido de ferro  $Fe_3O_4$  combinadas com prata (Ag). Segundo AHRBERG;

CHOI; CHUNG (2020) a grande área de superfície das nanopartículas e seu pequeno tamanho fornecem interações que outros compostos convencionais não são capazes de oferecer, aumentando assim a eficácia do sistema eletroquímico, conforme **Figura 2**.



**Figura2** Nanocompósito core-sheer de ferro e prata  $Fe_3O_4@Ag$ .

### 2.3 Solução de tampão fosfato 0,1 mol.L<sup>-1</sup> pH 7,0

Procedimento de preparo da solução tampão fosfato 0,1 mol.L<sup>-1</sup>: pesou-se 3,446g de fosfato de sódio monobásico e 3,522g de fosfato dibásico em diferentes recipientes que foram dissolvidos em água deionizada. Após as duas soluções foram transferidas para um balão volumétrico de 1000mL que foi avolumado com água deionizada. Logo depois, utilizou-se um pHmetro para ajustar o pH, usando solução de ácido clorídrico (HCl) 0,1 mol.L<sup>-1</sup> e/ou hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol.L<sup>-1</sup> até se obter o pH desejado. Posteriormente, foi transferido para um frasco âmbar e armazenado em geladeira.

### 2.4 Voltametria

A voltametria é uma técnica eletroquímica que faz uso de eletrodos, sendo estes eletrodos de trabalho, eletrodo de referência e eletrodo auxiliar, essa técnica é usada tanto para análises qualitativas tanto para quantitativas de um determinado composto químico (DA SILVA, 2021). Neste trabalho utilizaremos a voltametria de pulso diferencial, onde ocorre a aplicação de um pulso de potencial em função do tempo e a corrente é medida, a qual obtemos uma curva que relaciona corrente e potencial e que é chamada de voltograma.

## 3. Resultados Esperados

Conforme análises já realizadas no laboratório da PUC-Campinas, obteve-se um resultado satisfatório do que se

espera para a construção do sensor. O primeiro teste foi realizado após preparadas as soluções de interesse. Para o estudo foi testado a interação do eletrodo com a solução padrão da amoxicilina, obtendo-se um voltograma de pulso diferencial que indicou aumento de sinal quando utilizou-se o core-shell. Assim, pode-se afirmar que o nanomaterial está contribuindo com o aumento do sinal, que era o esperado. Novos testes serão realizados a fim de selecionar as melhores condições experimentais. Espera-se obter um sensor eletroquímico seletivo para o antibiótico amoxicilina que seja capaz de detectá-lo em amostras de águas naturais. É esperado que este seja eficaz, estável e que não produza sinal na presença de interferentes na amostra. Testes de repetibilidade, reprodutibilidade, exatidão, seletividade, estabilidade e limite de detecção serão realizados a fim de garantir que se obtenha uma curva de calibração e confiabilidade e segurança no uso do sensor. Para a sua validação serão realizadas análises de cromatografia líquida em HPLC com as mesmas amostras que serão submetidas ao sensor.

## 4. Considerações Finais

Espera-se que este trabalho em desenvolvimento traga uma contribuição positiva e agregadora para a área de infraestrutura urbana, principalmente dentro do segmento de saneamento básico, ajudando na detecção rápida do composto amoxicilina, quando estiver presente em águas naturais.

## Referências

- [https://www.dropsens.com/en/screen\\_printed\\_electrodes\\_pag.html](https://www.dropsens.com/en/screen_printed_electrodes_pag.html)
- AHRBERG, C. D.; WOOK CHOI, J.; GEUN CHUNG, B. Automated droplet reactor for the synthesis of iron oxide/gold core-shell nanoparticles. *Scientific reports*, v. 10, n. 1, p. 1737, 3 fev. 2020.
- CAMARGO DA SILVA, J. PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE TECNOLOGIAS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA URBANA. (2021).
- DA, M. et al. ADMINISTRAÇÃO PROFILÁTICA DE AMOXICILINA EM CIRURGIAS DE TERCEIROS MOLARES RETIDOS EM PACIENTES SAUDÁVEIS • revisão de literatura, 2016..
- EMÍLIO AMADOR SALOMÃO, P. (CC BY 4.0) 1 Produção e Aplicação de Biossensores: Uma Breve Revisão Production and Application of Biosensors: A Brief Review. v. 1373282, n. 3, p. 1–11, 2018.
- OLIVEIRA, J. E. et al. Uso de polímeros condutores em sensores. Parte 3: Biossensores. n. 1, p. 1–11, 2013.
- SOBRINHO, S. et al. Clinical protocol for early treatment of COVID-19 in a real-world scenario: Results of a series of patients. *Medicina Clinica Practica*, v. 5, n. 4, 1 out. 2022.
- WEINS, N. W.; FERREIRA, L. DA C.; FEODRIPPE, R. DE C. O. O papel da “civilização ecológica” chinesa na nova ordem ambiental internacional: ideias para um mundo pós-COVID. *Geosul*, v. 35, n. 77, p. 504–530, 7 dez. 2020.

# Índice de Perdas na rede de distribuição de água dos municípios das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá

Lucas Antônio Gomes do Carmo<sup>1</sup>, Denise Helena Lombardo Ferreira<sup>2</sup>.

1. Mestrando em Sistemas de Infraestrutura Urbana, lucas.agc@puccampinas.edu.br, PUC-Campinas

2. Doutorado em Educação Matemática, lombardo@puc-campinas.edu.br, PUC-Campinas

**Resumo:** O índice de perdas hídricas no processo de distribuição é um tema de preocupação dos gestores dos comitês das bacias hidrográficas. A presente pesquisa visa analisar o índice de perdas hídricas no processo de distribuição dos municípios inseridos nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, a fim de auxiliar o processo da gestão e avaliação das ações aplicadas nessas Bacias. Para isso será realizada uma pesquisa descritiva a partir de pesquisas bibliográficas e da base de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Como resultados, espera-se aprofundar a discussão e obter uma melhor compreensão sobre o conceito de perdas hídricas no processo de distribuição; realizar um diagnóstico sobre as perdas hídricas dos municípios inseridos nas Bacias Hidrográficas, objeto do estudo, e, por fim, estabelecer um *ranking* dos municípios para auxiliar no processo de tomada de decisão dos gestores.

**Palavras-chave:** Perdas hídricas, Sustentabilidade, Bacias Hidrográficas.

## 1. Introdução

A relevância da água para o futuro do planeta e da humanidade é evidente, pois esse recurso está presente na maioria das ações humanas. Entretanto, são vários os efeitos negativos à natureza decorrentes das atividades humanas, sobretudo a destruição das nascentes e da poluição dos rios (BRASIL DAS ÁGUAS, 2013). De acordo com Tundisi e Matsumura-Tundisi (2020), as sociedades continuam a degradar e poluir o recurso água, tanto as águas superficiais e subterrâneas.

Todavia, o recurso água está distribuído de forma desigual no planeta Terra, inclusive passa por significativas alterações qualitativas e quantitativas em favor da crescente demanda de consumo e ausência de manejo adequado, acrescido do efeito das mudanças climáticas, sendo imprescindível a gestão adequada desse recurso. Conforme Rocha, Cabral e Braga (2014) o aspecto quantitativo está relacionado ao volume disponível de água e o qualitativo à qualidade desse recurso.

Nesse sentido, é fundamental compreender o tema perdas hídricas no processo de distribuição. Esse tema tem se tornado uma grande preocupação dos gestores, pois segundo os Comitês PCJ (2021, p. 47) foi definido “como meta até 2020, perdas de no máximo 25% nos sistemas de distribuição”.

Para Farley (2008), a gestão de perdas de água não deve ser tratada como uma atividade pontual, mas sim como um compromisso de longo prazo incluindo diversas áreas e integrando os processos das companhias de saneamento,

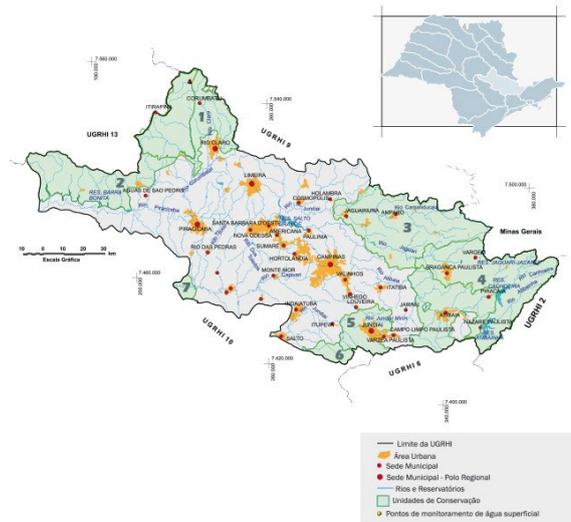
de forma que a informação seja compreendida e acessível para todos.

Em concordância, Kingdom, Liemberger e Marin (2006), responsáveis pela elaboração do Relatório do Banco Mundial, destacam que a quantidade mundial de perdas de água é considerável, mais de 32 bilhões de m<sup>3</sup> de água tratada são perdidos por vazamentos nas redes de distribuição. Os mesmos autores afirmam que um adicional de 16 bilhões de m<sup>3</sup> de água são entregues às pessoas, mas não são faturados em razão de problemas de medição e furto. Uma estimativa do custo total dessas perdas na distribuição de água para empresas de saneamento é em torno de 14 bilhões de dólares por ano (KINGDOM; LIEMBERGER; MARIN, 2006).

Nesse sentido, a presente pesquisa tem como objetivo analisar o índice de perdas hídricas no processo de distribuição dos municípios inseridos nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (Bacias PCJ), com o intuito de auxiliar o processo da gestão e avaliação das ações aplicadas nessas bacias.

## 2. Método

Os procedimentos técnicos dessa pesquisa consistem em pesquisas bibliográficas e da base de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e pesquisa documental nos Relatórios dos Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. A **Figura 1** apresenta a delimitação e localização das Bacias PCJ no Estado de São Paulo.



**Figura 1** - Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. **Fonte:** SIGRH (2023, s/p).



A partir de dados de na rede de distribuição de água dos municípios das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá obtidos no SNIS serão aplicados métodos multicriteriais a fim de estabelecer um *ranking* desses municípios.

### 3. Resultados esperados

Ao final da pesquisa, espera-se colher resultados teóricos e práticos. Do ponto de vista teórico, espera-se: (i) aprofundar a discussão e obter melhor compreensão sobre o conceito de perdas hídricas no processo de distribuição; (ii) realizar um diagnóstico sobre as perdas hídricas no processo de distribuição dos municípios inseridos nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. Pois, apesar da região contar com elevada quantidade de mananciais superficiais de interesse regional e grande porte, em cinco anos houve uma redução de 4% na disponibilidade (BEGA et al., 2021).

Do ponto de vista prático, pretende-se aplicar alguns modelos para estabelecer um *ranking* dos municípios inseridos nas Bacias PCJ para auxiliar no processo de tomada de decisão dos gestores.

A partir do Índice de perdas na distribuição - IN049-AE (Equação 1) do ano de 2021 obtido do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2021) é possível verificar que apenas 23 dos 76 municípios das Bacias PCJ (aproximadamente 30%) atingiram a meta prevista de 25% (COMITÊS PCJ, 2021). Ressalta-se que 14 municípios (cerca de 18%) atingiram perdas superiores a 40% (Figura 2).

$$IN049 = \frac{VVVVVV + VVVVVVII - VVVVVV - VVVV}{VVVVVV + VVVVVVII - VVV} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

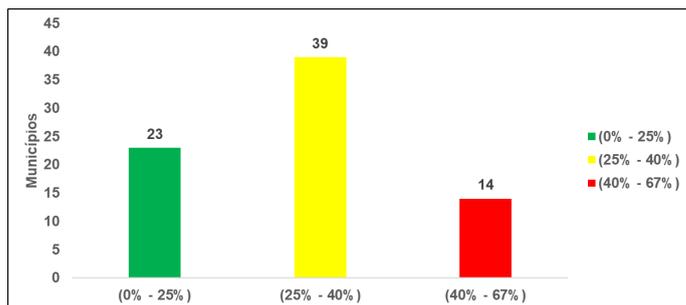
IN049: Índice de perdas na distribuição (%);

VVVVVV: Volume de água produzido (l);

VVVVVVII: Volume de água tratada importado (l);

VVVVVV: Volume de água consumido (l);

VVVV: Volume de serviço (l).



**Figura 2** - Índice de perdas na distribuição nos municípios das Bacias PCJ em 2021. **Fonte:** Elaboração própria.

Ressalta-se o grande volume de água perdido no processo de distribuição e não contabilizado é financeiramente oneroso para as empresas de saneamento. Dessa forma, é de suma importância o estudo das perdas hídricas no processo de distribuição de água dos municípios inseridos

nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, objeto de estudo.

Os resultados da presente pesquisa poderão ser úteis aos gestores dos Comitês das Bacias PCJ, bem como aos gestores das concessionárias de abastecimento de águas e às Prefeituras para o desenvolvimento de políticas públicas.

### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

### Referências

BEGA, J. M. M.; BORGES, A. V.; LAGO, C. A. F.; MENDES, J. P.; AZEVEDO, P. T.; SANTOS, W. J. R.; MARIOSA, D. F. Avaliação da Sustentabilidade dos Indicadores de Saneamento do Plano das Bacias PCJ 2020-2035. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v. 24, p. 1-19, 2021.

BRASIL DAS ÁGUAS. **A importância da água**. Brasília: Geeks Propaganda e Marketing, 2013. Disponível em: <<http://brasildasaguas.com.br>>. Acesso em: 02 ago. 2023.

COMITÊS PCJ. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos 2022** (Ano base 2021), versão simplificada, 2021.

FARLEY, M., GARY, W., GHAZALI, Z.B.M., ISTAR, A.; SINGH, S. **The Manager's NonRevenue Water Handbook a Guide to Understanding Water Losses**. Malaysia. Ranhill Utilities Berhad and the United States Agency for International Development (USAID), 2008.

KINGDOM, B.; LIEMBERGER, R.; MARIN, P. **The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries**. How the Private Sector Can Help: A Look at Performance-Based Service Contracting. World Bank Discussion Paper Number 8. Washington D.C., 2006.

ROCHA, H. M.; CABRAL, J. B. P.; BRAGA, C. C. Avaliação Espaço-Temporal das Águas dos Afluentes do Reservatório da UHE Barra dos Coqueiros/Goias. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 131-142, 2014.

SIGRH. Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. CBH-PCJ: Apresentação. São Paulo, Governo do Estado: Coordenadoria de Recursos Hídricos, 2023. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhpcj/apresentacao>. Acesso em: 12 ago. 2023.

SNIS. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. 2021. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – (ano-base 2021). Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **A Água**. São Carlos: Scienza, 2020.



## Déficits Habitacionais: Análise e Verificação do método da Fundação João Pinheiro contraposto ao levantamento de campo

FORCEL, P. K. B<sup>1</sup>, MIYASAKA, E. L.<sup>2</sup>, CUNHA, T. A.<sup>3</sup>

1. Mestranda, priscilaforcel@ufscar.br, PPGEU/UFSCar

2. Professora Doutora, elza.miyasaka@ufscar.br, UFSCar

3. Professor Doutor, tiagoaugustodacunha@gmail.com, UFV

**Resumo:** A discussão sobre o déficit habitacional no Brasil permeia o campo acadêmico há anos. Segundo estimativas mais recentes, o déficit ronda em 6 milhões de moradias. Devido ao alto grau de urbanização dos municípios brasileiros, em decorrência da concentração espacial da população nas cidades, e dos empecilhos econômicos imobiliários em conquistar uma moradia própria, é de se imaginar que o déficit aumentará ao longo do tempo. Mas que déficit é esse? Logo, o objetivo deste trabalho é analisar a acurácia do método consolidado pela Fundação João Pinheiro, verificando a estimativa do déficit habitacional a partir dos dados coletados pelo Censo Demográfico 2010 em contraponto aos dados levantados em Quilombo Coração Valente, Jacareí-SP. Trata-se, portanto, de uma pesquisa de análise crítica e comparativa da metodologia abordada. Espera-se que os dados auxiliem pesquisas futuras e políticas públicas habitacionais.

**Palavras-chave:** Déficit habitacional; método de cálculo; Habitação de Interesse Social.

### 1. Introdução

A necessidade de morar e a inacessibilidade ao mercado formal de habitação corrobora na formação de ocupações denominadas como irregulares. Consequentemente advindos do processo de urbanização, com a industrialização, e pelos baixos salários. Morar na cidade para trabalhar e viver são opções mais comuns para a população brasileira, no entanto, muitas vezes o salário não é suficiente para custear uma moradia formal (Maricato, 2002; Villaça, 2012; Retto Júnior & Maricato, 2021). O fenômeno déficit habitacional é um problema histórico, político e contextual, envolve os processos econômicos vividos pelo ultraneoliberalismo, que interferem diretamente nas questões fundiárias da cidade como mercadoria e no provimento da habitação de interesse social (Arantes et al., 2002; Maricato, 2015; Rolnik, 2015; Prieto & Laczynski, 2020).

Contígua a dificuldade de superação do déficit habitacional, também está a dificuldade em calculá-lo de forma precisa. No entanto, com a metodologia para o cálculo do déficit habitacional, desenvolvida pela Fundação João Pinheiro (FJP), a sua mensuração tem ganhado mais exatidão e aplicabilidade em escalas territoriais menores. Datada desde 1995, a metodologia traz consigo uma série histórica de análise do conceito do déficit habitacional, e é considerado um dos trabalhos mais relevantes sobre a temática realizados no Brasil, suas indicações são adotadas como referência para a construção de políticas urbanas e habitacionais no país, qualificando e

quantificando a necessidade de discussão sobre o assunto (Santana, 2020; Miranda-Ribeiro; Viana; Azevedo, 2015). É notável que a metodologia apresente limites para interpretação do fenômeno, um deles é a utilização de fontes secundárias, Censo Demográfico do IBGE, que dê certo à subenumeração. Além da concepção do que é e do que não é déficit. Mediante esse contexto, o princípio dessa pesquisa é compreender, avaliar, analisar e discutir a acurácia do método consolidado pela FJP, quando utilizados dados de fontes secundárias e dados coletados em campo. Destaca-se que para isso serão estudados e calculados os déficits habitacionais de Jacareí-SP, sobretudo para a área de ponderação a qual localiza-se a Ocupação Quilombo Coração Valente, que dispõe de levantamentos específicos.

Preliminarmente, entende-se que os resultados dessa pesquisa poderão fomentar discussões sobre a metodologia de cálculo para déficit habitacional, e para compreender as reais limitações da mesma. A partir dessas discussões será possível contribuir pesquisas futuras sobre o método, a coleta de dados, e a formulação de Planos Locais e Nacionais de Habitação.

### 2. Método

Propõe-se analisar a efetividade do método desenvolvido pela Fundação João Pinheiro, para o cálculo do déficit habitacional. Acredita-se que o valor estimado segundo o método apresente limitando quando contraposto à levantamentos de selagem de campo.

O déficit habitacional pode ser calculado para as Áreas de Ponderação municipais através dos microdados do Censo Demográfico 2010, efetivamente a partir do questionário da Amostra. O mesmo não pode ser feito quando se tem em vista os Setores Censitários. Afinal, os dados disponibilizados para os Setores Censitários são aqueles do Universo, que não permitem o cálculo do déficit de maneira direta, somente a partir de outros artifícios estatísticos. Portanto opta-se por calcular e analisar o déficit habitacional das Áreas de Ponderação do município de Jacareí, sobretudo na Área de Ponderação 3524402005006, a qual localiza-se a Ocupação Quilombo Coração Valente. A partir das duas formas de cálculo do déficit será possível analisar e qualificar o déficit, mensurando a acurácia do método em análise.

Os dados do Censo Populacional Quilombo Coração Valente é decorrente da atuação da mestranda em projetos fomentados pelo CAU/SP, ao longo dos anos de 2021 a 2023, que possibilitaram dar visibilidade às formas precárias de moradia no interior do Estado de São Paulo. Deste ensejo, essa pesquisa também possui caráter extensionista ao tentar transformar uma realidade concreta



através da troca de saberes entre academia, comunidade e poder público.

O método de obtenção do déficit habitacional arquitetado e consolidado pela Fundação João Pinheiro se vale exclusivamente da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD). Contudo, a PNAD apresenta uma grande limitação: o nível de desagregação territorial de análise. Devido à sua própria natureza amostral, permitindo apenas o cálculo do déficit para Unidades de Federação, talvez, no máximo, para Regiões Metropolitanas. Porém existe paralelismos entre PNAD e Censo Demográfico 2010 e a grande vantagem do Censo Demográfico é a possibilidade de investigar o déficit habitacional municipal, embora sua periodicidade seja um inconveniente.

Segundo o Censo Demográfico 2010, as variáveis necessárias são: 1. *Habitacões Precárias: a) Domicílios Improvisados - V4001-Espécie de unidade visitada; b) Domicílio Rústico -V4001-Espécie de unidade visitada e V0202-Material predominante nas paredes externas; 2. Coabitação Familiar: a) Combinação das variáveis V4002-Tipo de espécie de unidade visitada e V0201-Condição de ocupação; 3. Ônus Excessivo com Aluguel: a) Combinação das variáveis V1006-Situação do domicílio, V0201-Condição de ocupação do domicílio, V2011-Valor do aluguel e V6519-Rendimento domiciliar; 4. Adensamento Excessivo de Moradores em Domicílios Alugados: a) Combinação das variáveis V0201-Condição de ocupação do domicílio e V6204-Densidade de moradores por dormitório.* A partir do manuseio dessas variáveis, é viável calcular, com efeito, o déficit habitacional de Jacareí inclusive segundo áreas de ponderação, já que os microdados da amostra do Censo Demográfico 2010 correlacionam-se com elas.

O Censo Populacional do Quilombo Coração Valente, baseou-se no questionário da amostra do IBGE, coletado entre fevereiro e março de 2023, teve como objetivo contribuir com o levantamento e sistematização dos dados demográficos, econômicos, sociais e culturais, a fim de sintetizar o perfil da ocupação. A aplicação do questionário percorreu todas as unidades domiciliares, visando conhecer com precisão o universo que compõe a realidade local. Sendo assim, o Censo preenche as lacunas deixadas pela pesquisa censitária nacional, no que tange às localidades não abarcadas pelo método de amostragem. Incontestavelmente, as informações geradas pelo Censo Demográfico do IBGE são extremamente relevantes para a formulação de políticas públicas, mas quando utilizadas em territórios como o da ocupação, podem se tornar subenumeradas. Por isso, censos locais são instrumentos eficazes no auxílio aos levantamentos nacionais, pois além de revelar o microcosmo, demonstram a integração entre o micro e macro por meio da comparação das pesquisas censitárias.

### 3. Resultados esperados

Espera-se que a comparação entre o déficit habitacional calculado a partir da metodologia da Fundação João Pinheiro e os resultados obtidos a partir das coletas de campo evidencie a efetivação da metodologia de análise.

Em caso de inexatidões será possível identificar as principais lacunas não captadas, fundamentando pesquisas futuras, além de subsidiar possíveis políticas públicas habitacionais no município.

### Agradecimentos

A presente pesquisa tem apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) através da concessão de bolsa de estudo de Mestrado.

### Referências

- ARANTES, O. (org), VAINER, C., & MARICATO, E. **A Cidade do Pensamento Único: Desmanchando Consensos**, Editora Vozes, 3a. ed., Vol. 1, 2002.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. *Deficit Habitacional No Brasil – 2016-2019*. 1. ed. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, 2021.
- IBGE (RJ). Censo demográfico 2000: dados agregados por setores censitários. Rio de Janeiro, [2002b]. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>>. Acesso em: 06 jul, 2022.
- IBGE (RJ). Censo demográfico 2000: resultados gerais da amostra. Rio de Janeiro, [2002a]. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo\\_Demografico\\_2000/Resultados\\_Gerais\\_da\\_Amostra/Microdados/](ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2000/Resultados_Gerais_da_Amostra/Microdados/)>. Acesso em: 06 jul, 2022.
- MARICATO, Ermínia. **As ideias fora do lugar e o lugar fora das ideias: Planejamento urbano no Brasil**. In ARANTES, O.; VAINER, C. MARICATO, E. *A cidade do Pensamento Único: Desmanchando Consensos*, 3ª. Ed., Petropolis: Editora Vozes, 2002.
- MARICATO, E. **Para Entender a Crise Urbana**, Editora Expressão Popular, 1a. ed., Vol. 1, 2015.
- MIRANDA-RIBEIRO, A. D.; VIANA, R. M.; AZEVEDO, S. D. **Deficit habitacional municipal em Minas Gerais**. Caderno de Geografia, v. 25, n. 43, p. 144-162, 2015.
- MIRANDA-RIBEIRO, A. DE, VIANA, R. DE M., & SALIS, R. M. **Deficit Habitacional no Brasil em 2007 e 2008: notas metodológicas e principais resultados**. Revista Geografias, 9(1), 97-115. 2013. DOI:<https://doi.org/10.35699/2237-549X.13356>
- PRIETO, G. F. T., & LACZYNSKI, P. (2020). **São Paulo à venda: ultraneoliberalismo urbano, privatização e acumulação de Capital (2017-2020)**. GeoUSP\_ Espaço e Tempo (On Line), 24(2), 1-20. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892>
- RETTO JÚNIOR, Adalberto da Silva (org).; MARICATO, E. **Para entender a crise urbana no projeto da cidade contemporânea** / Coordenador Adalberto da Silva Retto Júnior. 1. ed. Bauru.
- ROLNIK, R. **Guerra dos Lugares**. São Paulo: Boitempo Editorial, 2015.
- SANTANA, R. B. (2020). **Análise dos indicadores de déficit habitacional e inadequação de domicílios**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia de Produção do Ambiente Construído, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- VILLAÇA, F. **Reflexões sobre as cidades brasileiras**. São Paulo, SP: Studio Nobel, 2012.



## ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA VERDE NO MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA MICROBACIAS URBANAS

Gustavo Izidro<sup>1</sup>, Cláudia Cotrim Pezzuto<sup>2</sup>

1. Mestrando, gustavo.i@puccampinas.edu.br, Programa de Pós-Graduação de Sistemas de Infraestrutura Urbana da PUC Campinas,  
2. Doutora, claudiapezzuto@puc-campinas.edu.br, Programa de Pós-Graduação de Sistemas de Infraestrutura Urbana da PUC Campinas

### Resumo:

O crescimento acelerado dos grandes centros urbanos ocasiona como um dos seus impactos, o aumento das áreas impermeáveis gerando um aumento significativo das vazões atuantes nos sistemas de microdrenagem já existente nestes locais. Faz-se necessário um estudo aprofundado de forma que seja possível propor soluções para estes problemas como a implantação de soluções verdes e sustentáveis. Estudos elaborados recentemente demonstram que a implantação de infraestruturas verde em escala local para regiões urbanizadas já é uma realidade e podem trazer diversos benefícios tanto na redução de vazões bem como demonstrando melhorias significativas na percepção da qualidade de vida da população através da manutenção e implantação da paisagem verde nestes locais. Através da realização de modelagem computacional com o software *SWMM (Storm Water Management Model)* será verificada o potencial de redução na vazão final para um recorte em uma bacia urbana a partir da implantação de soluções de infraestrutura verde. Espera-se ao final da pesquisa, através da criação de cenários diversos, obter uma matriz de comparação entre tipologias de soluções de infraestrutura verde, analisando suas características físicas e possíveis locais de utilização.

**Palavras-chave:** Infraestrutura Verde, Manejo Sustentável de Águas Pluviais Urbanas.

### 1. Introdução

Os padrões de crescimento urbano encontrados atualmente nas grandes cidades mostram-se quase sempre insustentáveis pois geram diversos desequilíbrios entre o crescimento da população e sua expansão territorial com a qualidade dos serviços de infraestrutura fornecidos pelos municípios como por exemplo a carência de sistemas viários e sistemas urbanos estruturados para absorver o aumento de demanda de usuários que, por necessidade de ocupação, acabam trazendo um consumo excessivo de recursos naturais e do espaço público (TARDIN, 2018) Visando minimizar estes problemas de caráter socioespaciais, na tentativa de garantir o direito ao uso racional dos espaços na cidade por parte da população, o poder público vem realizando esforços para manter em suas premissas de planejamento a realização de intervenções urbanas efetivas (OLIVEIRA; QUARESMA, 2022)

Um dos problemas de maior dificuldade de solução que as grandes cidades sofrem são os problemas causados pela

impermeabilização excessiva e dificuldade em escoamento das águas de chuva de forma controlada e planejada, o que causa pontos de alagamentos nas cidades trazendo grande prejuízo as populações bem como ao poder público pois estes problemas trazem complicações urbanísticas e problemas de saúde pública.

Para o combate e redução aos efeitos negativos causados pela urbanização nas grandes cidades, a utilização de estratégias de adaptação das infraestruturas existentes nas cidades, por soluções de infraestrutura verde-azul já é uma realidade. Tais estratégias podem não só reduzir estes efeitos negativos como também proporcionar benefícios para a saúde e qualidade de vida da população, bem como trazer uma diminuição no risco de enchentes juntamente com uma possível revitalização dos ambientes urbanos com a implantação de espaços verdes trazendo a recomposição de vegetações e transformação de áreas verdes em áreas de lazer. (GUIMARÃES et al., 2018) Segundo Guimarães et al. (2018), em sua pesquisa foram avaliadas possíveis intervenções urbanas no entorno do Rio Comprido, localizado no Rio de Janeiro, RJ. O estudo apresentou diversas propostas de infraestruturas multifuncionais onde, além das melhorias com relação às questões hidráulicas (diminuição do nível máximo de enchente no corpo hídrico), espera-se melhorias no microclima local, na mobilidade, com a proposta de inclusão de ciclovias e novos sistemas viários, além de espaços públicos verdes com solos permeáveis possibilitando maior infiltração, como praças, hortas urbanas e passeios públicos.

A utilização de infraestrutura verde azul mostra um grande potencial para unificar funções hidráulicas e paisagísticas ao espaço urbano e no estudo realizado mostrou uma importante redução nas manchas de inundação para diferentes partes da bacia contribuinte mantendo o escoamento associado a um período de retorno de 25 anos na calha do corpo hídrico. Essa redução foi alcançada com a criação de espaços de armazenamento com possibilidades de infiltração, podendo desta forma recuperar questões hidrológicas que foram prejudicadas durante a expansão urbana da bacia contribuinte. (GUIMARÃES et al., 2018)

A infraestrutura verde como estratégia baseada no uso do *Low Impact Development (LID)* é uma forma de gerenciar as águas pluviais urbanas e melhorar a qualidade da água de escoamento das águas pluviais (ECKART; MCPHEE; BOLISSETTI, 2018).

A aplicação de soluções de infraestrutura verde em escala local, ou seja, nos bairros, ruas, praças ou até mesmo em lotes, complementa o planejamento ecológico da paisagem

feito em uma escala mais abrangente mantendo ou recuperando, mesmo que parcialmente, a funcionalidade da paisagem, trazendo benefícios específicos para as pessoas como melhorar a mobilidade, diminuir e prevenir enchentes e inundações e melhorar o microclima, qualidade do ar, entre outros (VASCONCELLOS, 2015).

A presente pesquisa busca a avaliação, através de modelagem computacional, da efetividade de soluções de infraestrutura verde como alternativa para problemas de drenagem em centros urbanos sob a ótica de implantação de soluções de infraestrutura verde local, para o local de estudo e cenários derivados, diminuindo gradativamente a vazão atuante no exutório da bacia, propondo um balanço hídrico mais orgânico para toda a bacia e não só nas regiões mais baixas onde encontra-se o exutório da bacia.

## 2. Método

Será realizado um estudo de caso para bairro Novo Horizonte, localizado no município de Jundiaí, SP, conforme demonstrado na **Figura 1**, visando a possibilidade de aplicações de soluções em infraestrutura verde.



**Figura 1:** Delimitação da região integrante no Plano de Bairro Novo Horizonte (Jundiaí – SP).

**Fonte:** PMJ, 2022

A região definida para o estudo de caso bem como a bacia contribuinte na qual a área está inserida, terá suas características obtidas mediante vistoria e ensaios de campo e tais parâmetros serão utilizados para modelagem inicial no software *SWMM (Storm Water Management Model)*.

As soluções de infraestrutura verde analisadas no estudo de caso serão: Pavimento Permeável, Jardins de Chuva / Canteiros Pluviais e Biorretenção pontual (plantio de árvores).

Com a finalização das simulações para a região do estudo de caso serão elaborados cenários diversos com variações de parâmetros de base e características físicas para soluções de infraestrutura verdes aplicadas individualmente ou em conjunto.

Para os cenários definidos serão avaliadas características físicas de implantação e serão aplicados métodos de tomada de decisão (a metodologia a ser utilizada encontra-

se em definição) para criação de quadros comparativos entre as soluções apresentadas.

## 3. Resultados esperados

Espera-se ao final da pesquisa os seguintes resultados:

- Avaliação de possíveis soluções de infraestrutura verde, agrupadas ou não, conforme suas características de utilização, para o local de estudo de caso;
- Avaliação através de modelagem computacional com o software *SWMM* qual o impacto efetivo na redução da vazão final do exutório da área de estudo;
- Criação de quadros comparativos, com base nos cenários definidos, para diferentes tipos de soluções de infraestrutura verde com valores efetivos de redução de vazão, variações de parâmetros e diferentes características físicas;
- Confirmação da hipótese de que a utilização de infraestruturas verdes apresentam impactos positivos na redução da vazão final no exutório da bacia bem como aumento da percepção sobre a qualidade de vida da população.;

Ao final da pesquisa espera-se uma contribuição científica para programas de planejamento urbano com uma visão abrangente sobre a utilização de manejo sustentável de águas pluviais mediante aplicação de soluções de infraestrutura verde.

## Agradecimentos

O presente trabalho está sendo realizado com apoio da PUC Campinas e CAPES / PROSUC II.

## Referências

- ECKART, K.; MCPHEE, Z.; BOLISSETTI, T. Multiobjective optimization of low impact development stormwater controls. **Journal of Hydrology**, v. 562, p. 564–576, 2018.
- GUIMARÃES, L. F. et al. O uso de infraestruturas verde e azul na revitalização urbana e na melhoria do manejo das águas pluviais. **Paisagem e Ambiente: Ensaios**, n. 42, p. 75–95, jul/dez. 2018.
- OLIVEIRA, M. C. N.; QUARESMA, C. C.. Intervenções urbanas em áreas periféricas brasileiras: uma revisão sistemática de literatura. **Urbe**, v. 14, 2022.
- PMJ. Prefeitura Municipal de Jundiaí Plano de Bairro - Novo Horizonte – Lei Municipal nº 9.817/2022.
- TARDIN, R.. **Análise, ordenação e projeto da paisagem: uma abordagem sistêmica**. 1. ed. Rio de Janeiro: Rio Books, 2018. v. 1.
- VASCONCELLOS, Andrea Araújo de. **Infraestrutura verde aplicada ao planejamento da ocupação urbana**. 1ª ed. Curitiba. 2015.

# TRANSIÇÃO DE SISTEMAS SOCIOTÉCNICOS DE INFRAESTRUTURA URBANA COMO PERSPECTIVA PARA UMA GOVERNANÇA METROPOLITANA COLABORATIVA

Alexander Silva<sup>1</sup>, Mauro Kleiman<sup>2</sup>.

1. Doutorando PPGPUR/IPPUR/UFRJ. [alexandersilva.07@gmail.com](mailto:alexandersilva.07@gmail.com). IPPUR/UFRJ

2. Doutor em Arquitetura e Urbanismo USP. Professor Titular UFRJ [kleiman@ippur.ufri.br](mailto:kleiman@ippur.ufri.br). IPPUR/UFRJ

**Resumo:** Na perspectiva que analisa as cidades metropolitanas, a configuração sociotécnica de infraestruturas urbanas alinham actantes para cumprirem funções urbanas, demandando arranjos governativos em transição dirigidas pelas forças motrizes em ação no sistema sociotécnico que no contexto pós-keynesiano; inovações tecnológicas e normativas impulsionam arranjos regionais colaborativos na provisão das funções frente aos anseios sociais. O Consórcio Intermunicipal de Segurança Pública da Baixada Fluminense/RJ é o objeto empírico em análise pelo emprego do seu Centro de Comando e Controle Urbano (CC<sup>2</sup>U) (**Imagem 1**) como ferramenta de gestão de infraestruturas na perspectiva da constituição de tipologia de governança metropolitana colaborativa (GMC), utilizando a Perspectiva Multinível como ferramenta de análise.

**Palavras-chave:** Região Metropolitana, Infraestrutura Urbana, Transição sociotécnica.

## 1. Introdução

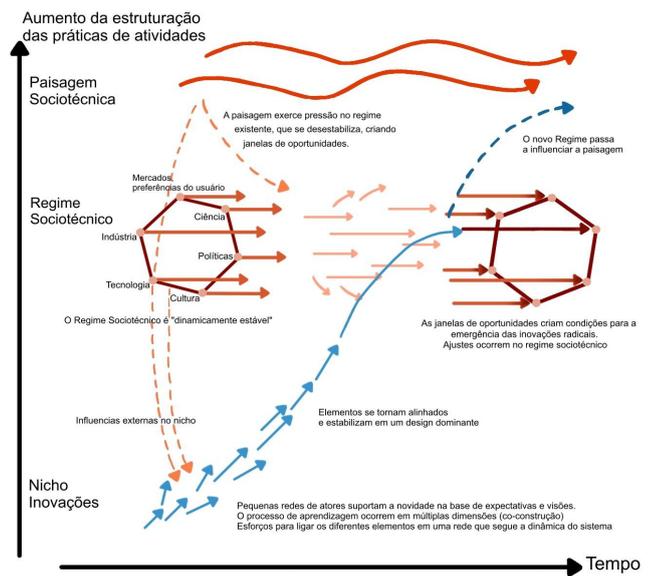
As infraestruturas urbanas de cidades metropolitanas compõem um sistema sociotécnico em transição pela necessidade de alinhamento a transformações sociais e desenvolvimento tecnológico entre outras forças que influenciam a provisão de funções urbanas no contexto neoliberal. A pesquisa objetiva analisar o emprego do CC<sup>2</sup>U como perspectiva para uma tipologia de GMC (Squaiella et al, 2018).



**Imagem 1:** Videowall do CC<sup>2</sup>U. Fonte: O Autor

## 2. Método

A Perspectiva Multinível (MLP) sustenta que as transições sociotécnicas representam desafios sociais que requerem mudanças estruturais sistêmicas, congregando um conjunto de elementos que inclui tecnologia, regulação, práticas de mercado e usuários, cultura, infraestrutura, redes de relacionamento e redes de fornecedores que se inter-relacionam num sistema sociotécnico onde nicho, regime e paisagem sociotécnica interagem, o procedimento está descrito na **Figura 1** (Geels & Schot, 2007).



**Figura 1:** Dinâmica da transição sociotécnica na MLP. Fonte: Adaptado de Geels e Schot (2007)

## 3. Resultados esperados

A pesquisa analisa a dinâmica do fenômeno, revelando como os CC<sup>2</sup>U na escala metropolitana tem transicionado a governança de infraestruturas urbanas, conformando uma tipologia de governança metropolitana colaborativa, contribuindo para o transdisciplinaridade do planejamento urbano e regional.

### Agradecimentos

Ao CNPQ pelo fomento à pesquisa científica pela Bolsa GD 140915/2022-2

### Referências

Geels, F. W.; Schot, Johan. Typology of sociotechnical transition pathways. **Research Policy**, [s.l.], v. 36, n. 3, p. 399-417, abr. 2007.

Sassen, S. **The global city: New York, London, Tokyo**. Princeton, Princeton University Press, 1991.

Squaiella, R.B.F.; Righi, R.; Marchelli, M.V. A Evolução Tecnológica e o Desenvolvimento das Cidades: O Potencial das Tecnologias Digitais no Gerenciamento das Cidades Contemporâneas. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 6, n. 44, 2018.

Zmitrowicz, W.; Angelis Neto, G. **Infraestrutura urbana. Escola Politécnica da USP**. São Paulo. 1997.



# Condutividade térmica de concretos produzidos com RCD

Felipe Ribeiro Takahashi <sup>1</sup>, Lia Lorena Pimentel <sup>2</sup>.

1. Mestrando, felipe.rt2@puccampinas.edu.br, PUC-CAMPINAS  
2. Professora Doutora, lialp@puc-campinas.edu.br, PUC-CAMPINAS

**Resumo:** Frente a necessidade de um crescimento econômico visando a sustentabilidade do planeta, um dos métodos que vem se mostrando mais eficaz na redução do uso de recursos é a reutilização de resíduos sólidos da construção civil como agregados na produção de novos concretos. O presente trabalho pretende estudar os benefícios que a maior porosidade do concreto produzido com estes agregados poderia trazer para as propriedades térmicas, o desenvolvimento deste trabalho passa pela caracterização dos agregados, estudo de dosagem de concreto, desenvolvimento de dispositivo para medir a condutividade térmica do concreto e caracterização física e mecânica do concreto. Espera-se verificar a viabilidade do agregado reciclado na produção de concreto com menor coeficiente de condutividade térmica.

**Palavras-chave:** agregados reciclados, condutividade térmica, concreto.

## 1. Introdução

A construção civil é responsável por cerca de 48 milhões de toneladas de resíduos da construção e demolição (RCD) por ano (ABRELPE - 2022), sendo que o concreto é o segundo material mais usado no mundo depois da água, com isso têm-se um significativo impacto ambiental decorrente da sua preparação.

Para combater a produção e descarte irregular de resíduos gerados pela construção civil no mundo, pesquisadores vêm estudando há anos, possibilidades e meios para gerenciar e minimizar a geração os resíduos e ao mesmo tempo, a redução da extração de matéria prima. Uma das soluções que se vem mostrando muito eficiente é a reutilização dos resíduos, na forma de agregados, para o preparo de concreto que como consequência diminui o gasto de matéria prima natural, ao mesmo tempo que minimiza o descarte de resíduos provenientes da construção civil.

Os resíduos sólidos podem ser classificados quanto a origem em: industrial, doméstico, hospitalar, comercial, agrícola e de serviços. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de saneamento, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT NBR 10004, 2004).

A ABNT NBR 10004:2004, também informa que a classificação do resíduo parte da identificação de sua origem, de seus constituintes e listagem deles para análise das substâncias que possam ser nocivas à saúde e ao meio ambiente, podendo ser dividida em três subclasses a partir da sua composição, são eles, agregado reciclado cimentício (ARCI), onde existe predominantemente

materiais cimentícios diversos podendo incluir teores reduzidos de cerâmica vermelha, agregado reciclado de concreto (ARCO), predominantemente composto por resíduos de concreto e o agregado reciclado misto (ARM), constituído por uma mistura de materiais cimentícios e materiais cerâmicos (ABNT NBR 15116:2021).

De acordo com estudos realizados, as diferenças entre as propriedades dos concretos com agregados reciclados e os convencionais, depende principalmente do teor de agregado natural substituído, das características dos agregados reciclados e da quantidade de finos incorporada (HANSEN, 1992; LEITE, 2001; FERREIRA, 2013).

Visto que a maior porosidade do agregado produzido com resíduos de concreto indica maior porosidade do concreto e implicando no maior número de vazios que por sua vez demonstra maior ataque por agentes agressivos que penetram no concreto, prejudicando assim a durabilidade. Por outro lado, estudos como o de AKUTSTU, M. & SATO, N. (1988), apontam que em relação ao teor de ar à porosidade dos materiais convencionais é inversamente proporcional à condutividade térmica, assim sendo, está diretamente relacionada à massa específica aparente.

Enquanto Kim et al., (2003), aponta que para compósitos cimentícios a dosagem do agregado e o grau de saturação são elementos importantes para a condutividade.

Estudos anteriores sobre a condutividade térmica de concretos reciclados mostrou que houve uma diminuição de 27% de condutividade quando substituído 20% do agregado miúdo natural, atribui-se essa diminuição ao aumento da porosidade e do teor de ar do cimento (MARIE, 2017).

Pecur et al. (Apud ADESINA, 2021) demonstrou resultados parecidos ao qual notou através de estudos práticos que a substituição de agregado em até 50% resultou em uma diminuição de 27% na condutividade térmica do concreto.

O projeto tem o objetivo de estudar as características físicas, mecânicas e a variação de condução térmica em concretos com resistência à compressão de 30MPa, produzidos com agregado reciclado cimentício (ARCI) e agregado reciclado misto (ARM) com substituição inicial de 20%, pois estes resíduos possuem maior porosidade segundo pesquisas anteriores (Angulo, 2011).

## 2. Método

O projeto pretende primeiramente estabelecer a caracterização dos agregados a serem utilizados para a confecção do concreto de agregados reciclados oriundos de (RCD) seguindo as normas vigentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o procedimento está descrito na **tabela 1**:

**Tabela 1 – Procedimentos ABNT para caracterização dos agregados**

Característica	Miúdo	Graúdo
Granulometria	NBR	NBR
	17054:2022	17054:2022
Massa específica	NBR	NBR
	16916:2021	16917:2021
Capacidade de absorção de água	NBR	NBR
	16916:2021	16917:2021
Resistência ao esmagamento	—	NBR
		9938:2013

Por se tratar de agregados reciclados também deve se atender os requisitos estipulados pela ABNT NBR 15220:2021.

Após estabelecer as características dos agregados, deve-se estabelecer a dosagem do concreto através do método IPT/EPUSP, que se baseia no método desenvolvido no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

A mistura do agregado reciclado com a água de molhagem será por 10 minutos antes da produção do concreto (PELLISSARI, 2016; RIZZO, 2018; FERREIRA, 2013), isso se dá pela maior porosidade dos agregados, que por sua vez absorvem parte da água do preparo do concreto diminuindo sua trabalhabilidade.

Com a determinação das propriedades físicas e mecânicas dos agregados e o traço a ser utilizado, deve-se produzir o concreto que será analisado, a coleta de dados deve ocorrer em duas etapas, a primeira em seu estado fresco onde será analisada a consistência através do abatimento pelo tronco de cone e a massa específica de cada traço e na sequência os corpos de prova devem ser moldados e curados seguindo as recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2015), o procedimento está descrito na **tabela 2**:

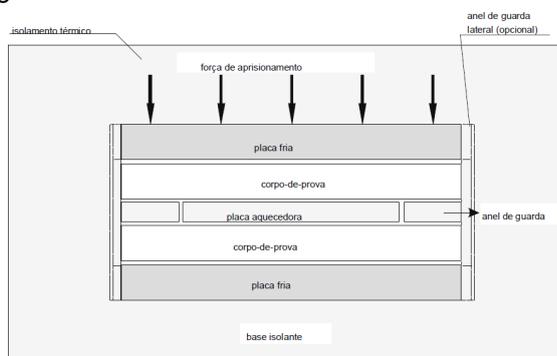
**Tabela 2** – Procedimento ABNT para caracterização dos concretos em diferentes idades

Ensaio	Idade (dias)
Resistência a compressão (ABNT NBR 5739:2018)	7 e 28
Absorção de água por capilaridade (ABNT NBR 9778:2009)	28
Absorção de água por imersão (ABNT NBR 9779:2012)	28
Módulo de elasticidade (ABNT NBR 8522-1:2021)	28
Slump test (ABNT NBR 16889:2020)	Estado fresco
Massa específica (ABNT NBR 9833:2009)	Estado fresco

Com a finalização da confecção do concreto e tempo de cura, pretende se estudar a medição e condutividade térmica pelo método da placa quente protegida, através da ABNT NBR 15220-4 (2005).

O método é aplicável para medições em regime permanente, com restrição de resistência térmica acima de 0,02 m<sup>2</sup>K/W e condutividade térmica abaixo de 2 W/(m.K),

utilizando o equipamento conhecido como placa quente protegida.



**Figura 1**- Exemplo da montagem do aparelho (ABNT NBR 15220-4, 2005).

A origem da condutividade térmica através deste método envolve a medição do gradiente médio de temperatura estabelecido em um corpo de prova. Isso é feito aplicando um fluxo de calor específico, tudo sob condições de regime permanente. A condução unidimensional é alcançada ao empregar um painel de guarda (**figura 1**) para limitar as perdas laterais de calor, simulando o comportamento térmico de uma placa infinita.

### 3. Resultados esperados

Espera-se apresentar com métodos práticos as características físicas e mecânicas do concreto com agregados reciclados da classe ARCO e ARM e demonstrar a baixa condutividade térmica dos agregados reciclados e como isso pode ser transmitido para o concreto.

### Agradecimentos

Agradeço a Pontifícia Universidade Católica de Campinas pela oportunidade de estudo através do programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana.

### Referências

- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022**; Publicação: dezembro | 2022 - Projeto gráfico - AGÊNCIA PITURI. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7758785/mod\\_resource/content/1/Panorama\\_Abrelpe\\_2022.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7758785/mod_resource/content/1/Panorama_Abrelpe_2022.pdf). Acesso em: 15 de set. 2023.
- ADESINA, Adeyemi, **Overview of the influence of waste materials on the thermal conductivity of cementitious composites**, Cleaner Engineering and Technology, Volume 2, junho de 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790821000069>. Acesso em 15 de set. 2023.
- ANGULO, Sérgio C.; FIGUEIREDO, AD de. **Concreto com agregados reciclados. ISAIA, GC Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: Arte Interativa, 2011.



- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 5738**. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015 Versão corrigida 2016, 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 5739**. Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018, 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 8522**. Concreto endurecido - Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação Parte 1: Módulos estáticos à compressão. Rio de Janeiro, 2021. 24 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005 Versão corrigida 2009. 4 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 9779**. Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 9833**. Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2008 Versão corrigida 2009. 7 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 9938**. Agregados — Determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2017. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 10004**. Resíduos sólidos. Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 15116**. Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2021. 16 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 15220-4**. Desempenho térmico de edificações Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida. Rio de Janeiro, 2005. 16 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 16889**. Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020. 12 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 16916**. Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2018. 7 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 16917**. Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2018. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 17054**. Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022. 5 p.
- AKUTSTU, M; SATO, N. Thermophysical properties of building materials and components. **Tecnologia de Edificações**, p. 519-522, 1988.
- FERREIRA, Enildo Tales (2013) **Contribuição ao estudo do potencial de aproveitamento de agregados reciclados de RCC produzidos na USIBEN - João Pessoa - em concreto estrutural aplicado em lajes pré-moldadas**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Salvador 2013.
- HANSEN, TC (1992) **Reciclagem de Concreto Demolido e Alvenaria. Relatório do Comitê Técnico 37-RDC Demolição e Reutilização de Concreto**. RILEM, E & FN Spon, Londres.
- Kim, K. H., Jeon, S. E., Kim, J. K., & Yang, S. (2003). **An experimental study on thermal conductivity of concrete**. *Cement and Concrete Research*, 33 (2003), 363–371.
- LEITE, Mônica Batista (2001) **Avaliação de propriedades mecânicas de concreto produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2001.
- MARIE, Iqbal, **Thermal conductivity of hybrid recycled aggregate – Rubberized concrete**, *Construction and Building Materials*, Volume 133, 2017, Pages 516-524, 15 de fevereiro de 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816320335?via=ihub>. Acesso em: 16 de ago. 2023.
- PELLISSARI, Viviane (2016) **Propriedades de concretos produzido através da utilização de agregados reciclados de concreto**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/1869>. Acesso em: 16 de set. 2023.
- RIZZO, Giovanna Falzetta (2018) **Durabilidade de concretos com agregados reciclados**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em sistemas de infraestrutura urbana da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2018. Acesso em: <http://repositorio.sis.puc-campinas.edu.br/xmlui/handle/123456789/15120?show=full>. Acesso em: 16 de set. 2023.
- VIEIRA, G. L. **Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2003. 150 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS.