

2023.2

v4n



**em Debate**  
PPGEU | UFSCar



A **Engenharia Urbana em Debate** é um periódico online de caráter acadêmico e científico, vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana - PPGEU da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar e tem como objetivo publicar, de forma gratuita, pesquisas voltadas ao conhecimento e práticas sobre a gestão e atuação técnico-profissional no território.

#### Dados internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Engenharia Urbana em Debate / Universidade Federal de São Carlos. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana - PPGEU. v.4, n.2 (2023). São Carlos: 2023.

v.4, n.1 Fluxo contínuo com 2 números por ano  
Sumários em Português  
ISSN: 2675-830X digital

1. 1. Saneamento. 2. Urbanismo. 3. Geotécnica e Geoprocessamento. 4. Transportes. Universidade Federal de São Carlos II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana.

CDD – 628



Periodicidade: Fluxo Contínuo com 2 números por ano

Suporte: Eletrônico

PPGEU - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana  
Universidade Federal de São Carlos  
Rodovia Washington Luis, km 235 - São Carlos - SP - BR  
CEP: 13565-905  
Telefone: (16) 3351-8295



Engenharia Urbana em Debate  
engurbdebate@gmail.com

## Corpo Editorial

Profa. Dra. Katia Sakihama Ventura  
Profa. Dra. Denise Balestrero Menezes  
Profa. Dra. Luciana Márcia Gonçalves  
Profa. Dra. Thais de Cassia Martinelli  
Guerreiro  
Profa. Dra. Elza Luli Miyasaka  
Profa. Dra. Juliana Cardoso Esteves

## Editoração

Priscila Kauana Barelli Forcel

## Comunicação Social

Lívia Mara de Almeida Melo  
Luis Gustavo Lucatelli

## Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

Prof. Dr. Érico Masiero  
Profa. Dra. Denise Balestrero Menezes

## Conselho Editorial

- Prof. Dr. Rodrigo Melo Porto | EESC-USP
- Prof. Dr. Valdir Schalch | EESC-USP
- Prof. Dr. Paulo Sérgio Scalize | UFG
- Profa. Dra. Regina Mambelli Barros | UNIFEI - Itajubá
- Prof. Dr. Maurício Pinto | UnCuyo - AR
- Prof. Dr. Rodrigo Firmino | PUCPR
- Prof. Dr. Tiago Cunha | UFVMG
- Prof. Dr. Ricardo de Souza Moretti | UFABC UFRN
- Profa. Dra. Gisela Cunha Viana Leonelli | UNICAMP
- Profa. Dra. Leticia Peña Barrera | Univ. Autónoma de Ciudad de Juárez \_ México
- Prof. Dr. Cláudio César de Paiva | UNESP Araraquara
- Prof. Dr. José Augusto di Lollo | UNESP Ilha Solteira

## Editorial ..... 5

Prof. Dr. Érico Masiero  
Profa. Dra. Claudia Cotrim Pezzuto  
Profa. Dra. Elza Luli Miyasaka

## ARTIGOS

### INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DE SEGURIDADE DE PEDESTRES NO ESPAÇO URBANO BASEADO NO MÉTODO AHP ..... 6

Lara Reis Rodrigues  
Rochelle Amorim Ribeiro

### ENSAIOS EXPERIMENTAIS COM VIGAS DE CONCRETO ARMADO COM BARRAS DE GFRP ..... 18

Luis Felipe Oliveira Santos  
Nádia Cazarim da Silva Forti  
Daniel Carlos Taisum Cardoso

### ARBORIZAÇÃO NO SEMIÁRIDO: ESTUDO DE ESPAÇOS PÚBLICOS DE LAZER NA CIDADE DE PAU DOS FERROS/RN ..... 36

Ellen Priscila Nunes de Souza  
Daniel de Oliveira Santos  
Austidio Alves Marinheiro Neto

### ESTRATÉGIA PARA ARBORIZAÇÃO UTILIZANDO TECNOLOGIA DE CICLO DE LUZ CONTROLADO E LEDS FULL SPECTRUM ..... 48

Gustavo Henrique Flach  
Laura Cesar Pellegrini

- Prof. Dr. Eduardo Augusto Werneck Ribeiro | Instituto Federal Catarinense
- Profa. Dra. Amarilis Lucia Casteli Figueiredo Gallardo | Poli/USP e Uninove
- Prof. Dr. José Luiz Albuquerque Filho | IPT
- Prof. Dr. Edmur Azevedo Pugliesi | UNESP Presidente Prudente
- Prof. Dr. Marco Musso | UniLaR - Uruguay
- Prof. Dr. Antonio Nelson Rodrigues da Silva | EESC-USP
- Prof. Dr. Licinio da Silva Portugal | UFRJ
- Profa Dra. Magaly Natalia Pazzian Vasconcellos Romão | Fac. de Tec. de Jahu
- Prof. Dr. Rui António Rodrigues Ramos | Escola de Engenharia - Univ. do Minho

## ANÁLISE MULTICRITÉRIO E GEOPROCESSAMENTO NO PLANEJAMENTO DO SISTEMA DE ESPAÇOS LIVRES URBANOS ..... 58

Renata Michelon Cocco  
Raquel Weiss  
Luis Guilherme Aita Pippi

## ESTUDO DA DOSAGEM DE CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO (CAD) COM UTILIZAÇÃO DE SILICA DA CASCA DO ARROZ E OTIMIZAÇÃO DO CONSUMO DE CIMENTO PORTLAND PARA APLICAÇÃO EM PILARES..... 69

Clóvis Batista das Mercês  
Ruan Diego Neves  
Débora Ganasini  
Carneane Efftning  
Adilson Schachow

## PROJETO DE BIODIGESTOR E FOTOBIOREATOR PARA PRODUÇÃO E PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA CODIGESTÃO ANAERÓBICA ..... 84

Augusto Paes Villas Boas  
Betânia Hoss Lunelli

## RESENHAS

### Relatos de Experiências PARTICIPAÇÃO EM PROGRAMA DE MOBILIDADE INTERNACIONAL: UM RELATO DE EXPERIÊNCIA NO CONTEXTO DA ENGENHARIA URBANA ..... 93

Tatiane Ferreira Olivatto  
José Augusto Di Lollo  
Érico Masiero

## RESUMOS

### Dissertações e Teses GEODIVERSIDADE FUNCIONAL E OS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEOS DE MERIDIANO-SP ..... 101

Renata Lucon Xavier  
Denise Balestrero Menezes

## COMISSÃO EDITORIAL ..... 104



A Engenharia Urbana em Debate é registrada no Creative Commons

O conteúdo dos artigos é de inteira responsabilidade dos autores.

### **Prof. Dr. Érico Masiero**

Prof. Dr. do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana Universidade Federal de São Carlos \_ PPGEU/UFSCar  
orcid: [0000-0001-8665-335X](https://orcid.org/0000-0001-8665-335X)  
erico@ufscar.br

### **Profa. Dra. Claudia Cotrim Pezzuto**

Prof. Dr. do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana da Pontifícia Universidade Católica de Campinas \_ PUC  
orcid: [0000-0002-7609-0263](https://orcid.org/0000-0002-7609-0263)  
claupezzuto@gmail.com

### **Profa. Dra. Elza Luli Miyasaka**

Profa. Dra. do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana Universidade Federal de São Carlos \_ PPGEU/UFSCar  
orcid: [0000-0003-4480-9672](https://orcid.org/0000-0003-4480-9672)  
elza.miyasaka@ufscar.br

Maiores informações, acesse: <https://www.engurbdebate.ufscar.br/>

Este número traz alguns trabalhos selecionados do IX Simpósio de Pesquisa em Sistemas de Infraestrutura Urbana (SPINFRA) ocorrido em outubro de 2023; em parceria com a Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC Campinas), a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), a Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC Campus Joinville), a Universidade Federal do ABC (UFABC) com o apoio do Comitê da Bacia do Alto Tietê e da Associação dos Engenheiros da Sabesp (AESabesp). As temáticas trabalhadas envolveram a 1) Inovação Tecnológica e Infraestrutura Urbana; 2) Sustentabilidade e Infraestrutura Urbana e, 3) Planejamento e Infraestrutura Urbana e temas com Mobilidade Urbana.

A Engenharia Urbana assim como o SPINFRA expõe e debate 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. Apresenta uma fração das pesquisas relacionadas à infraestrutura urbana no Brasil e conseqüentemente da Engenharia Urbana; de forma que enfatiza à 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.

No decorrer dos anos o rol de assuntos aumenta, simultaneamente à nossa visibilidade e responsabilidade como cientistas. Os resultados de algumas destas pesquisas podem ser conferidos, 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.

# INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DE SEGURIDADE DE PEDESTRES NO ESPAÇO URBANO BASEADO NO MÉTODO AHP

*Instrument of evaluation of the perception of security of pedestrian in urban space based on the AHP method*

*Instrumento de evaluación de la percepción de seguridad peatonal en el espacio urbano basado en el método AHP*

**RODRIGUES, L. R.<sup>1</sup>; RIBEIRO, R.A.<sup>2</sup>**

## 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.

<sup>1</sup>Mestranda em Engenharia Urbana Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana Universidade Federal de São Carlos.  [orcid: 0000-0002-8945-9015](https://orcid.org/0000-0002-8945-9015) [larareisrodrigues@estudante.ufscar.br](mailto:larareisrodrigues@estudante.ufscar.br)

<sup>2</sup>Profa. Dra. do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana Universidade Federal de São Carlos.  [orcid: 0000-0002-5647-8789](https://orcid.org/0000-0002-5647-8789) [rochele@ufscar.br](mailto:rochele@ufscar.br)

Data da Submissão:  
21novembro2023  
Data da Aprovação:  
10dezembro2023  
Data da Publicação:  
19fevereiro2024

COMO CITAR:

RODRIGUES, L. R.; RIBEIRO, R. A.. INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DE SEGURIDADE DE PEDESTRES NO ESPAÇO URBANO BASEADO NO MÉTODO AHP. **Engenharia Urbana em Debate**. São Carlos, V4, n2, 2023. <https://doi.org/10.14244/engurbdebate.v4i2.112>



## Abstract

To make walking more attractive in urban spaces, it is important to pay attention to the perception of security, which can be experienced regardless of the real crime rate, being associated with characteristics of the built environment, as well as particularities of the pedestrian, such as gender, for example. Therefore, the objective of this research is to define an instrument for evaluating the perception of security of pedestrian in urban spaces, using previously selected aspects and planning measures. The methods include: (i) structuring the instrument, adapting the AHP method; and (ii) disclosure and application in electronic form. As results, we obtain: (i) hierarchy of prioritization of aspects: circulation of people (0,32), surveillance (0,26), attractiveness of urban space (0,22) and street maintenance (0,21); (ii) aspects with different weights between female and male genders; and (iii) 53,33% of men and 76,19% of women reported being insecure when walking. The contribution of this article is to support planning on what should be prioritized in urban space, aiming for cities that are noticeably secure for pedestrians, especially for women.

**Keywords:** Women's issues in transport; Urban planning; Multi-criteria method.

## Resumen

Para hacer que caminar sea más atractivo en los espacios urbanos, es importante prestar atención a la percepción de seguridad, que puede experimentarse independientemente de la tasa de criminalidad real, estando asociada con las características del entorno construido, así como con las particularidades del peatón, tales como como género, por ejemplo. Por tanto, el objetivo de esta investigación es definir un instrumento para evaluar la percepción de seguridad de los peatones en espacios urbanos, utilizando aspectos y medidas de planificación previamente seleccionados. Los métodos incluyen: (i) estructurar el instrumento, adaptando el método AHP; y (ii) divulgación y solicitud en formato electrónico. Como resultados obtenemos: (i) jerarquía de priorización de aspectos: circulación de personas (0,32), inspección (0,26), atractivo del espacio urbano (0,22) y mantenimiento vial (0,21); (ii) aspectos con diferente peso entre el género femenino y masculino; y (iii) el 53,33% de los hombres y el 76,19% de las mujeres refirieron sentirse inseguros al caminar. La contribución de este artículo es apoyar la planificación sobre lo que se debe priorizar en el espacio urbano, apuntando a ciudades notablemente más seguras para los peatones, especialmente para las mujeres.

**Palabras clave:** Retos de las mujeres en el transporte; Planificación urbana; Método multicriterio.

## 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 segurança 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 segurança (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 segurança, 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 segurança 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 e 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; ANTONELLO; GOVONE, 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 e 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 e 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 e 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) <b>Circulação de pessoas</b>	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 circulação de pessoas.
(a) <b>Manutenção viária</b>	Iluminação viária adequada para os pedestres; e ausência de lixo e de sinais de vandalismo, como janelas e portas quebradas ou violadas e pichação nos muros e nas edificações.
(a) <b>Atratividade do espaço urbano</b>	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 prostituição.
(a) <b>Fiscalização</b>	Presença, nas vias públicas, de sinalização por parte dos moradores quanto à vigilância do bairro; policiamento no bairro por meio de guardas e vigias.

Fonte: elaborada pelo autor (2023).

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 do aspecto	Medida específica	Peso da medida
(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
(a) Manutenção viária	0,21	Iluminação adequada	0,52
		Vias limpas e em bom estado de conservação	0,48
(a) 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

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Verificou-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.

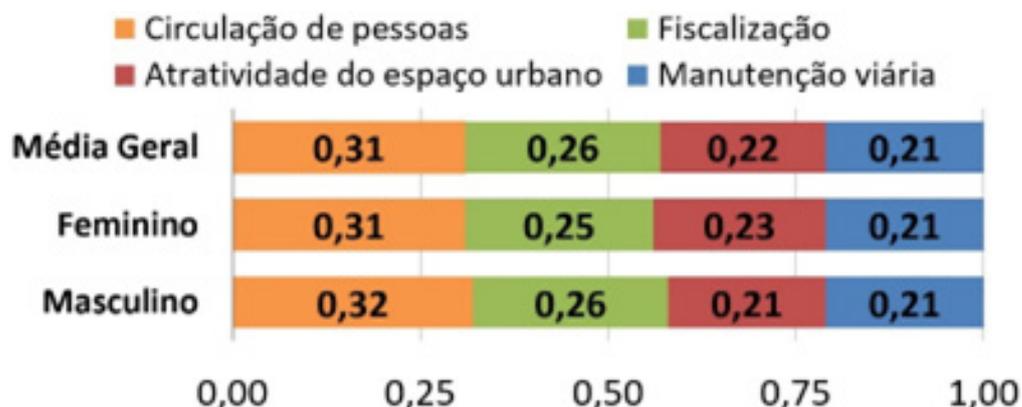
Com relação às medidas, seus pesos foram determinados através da consideração de que cada aspecto do espaço urbano representasse um valor total (1,00 – 100%) e este valor, dividido entre suas duas medidas componentes. Nesta lógica, através do método aplicado, no aspecto de circulação de pessoas, a distribuição 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.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

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 as 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.

#### **AGRADECIMENTOS**

Esta pesquisa obteve o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), através do Programa de Demanda Social (DS), tendo contribuído com o seu desenvolvimento.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

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 Eugênio 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.

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

*Experimental tests with reinforced concrete beams with GFRP bars*

*Ensayos experimentales con vigas de hormigón armado con barras de GFRP*

**SANTOS, L. F. O.<sup>1</sup>; FORTI, N. C. S.<sup>2</sup>; CARDOSO, D. C. T.<sup>3</sup>**

### Resumo

As barras de polímero reforçado com fibras (FRP) são materiais compósitos formados pela união de fibras longas com uma matriz polimérica. Elas vêm sendo utilizadas, nas últimas décadas, como armadura para estruturas de concreto por apresentarem 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. As recomendações internacionais e nacionais apresentam duas possibilidades de dimensionamento para estruturas de concreto armado com barras de polímero reforçado com fibras de vidro (GFRP): falha por ruptura das barras ou falha por esmagamento do concreto. O primeiro caso ocorre como consequência do uso de uma baixa taxa de armadura, resultando em altas deformações e aberturas de fissuras em elementos fletidos, bem como colapso frágil. Diante disso, esse artigo tem como objetivo apresentar e analisar 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 (DIC) para análise do comportamento à fratura. O uso do DIC apresentou bons resultados, sendo consistentes com os observados experimentalmente. Resultados reforçam a recomendação pelo dimensionamento por esmagamento da região comprimida do concreto.

**Palavras-chave:** Concreto armado; Barras de GFRP; Flexão; Fissuração; Correlação de Imagem Digital.

<sup>1</sup>Graduado em Engenharia Civil na Pontífica Universidade Católica de Campinas.  orcid: [0000-0002-5590-6585](https://orcid.org/0000-0002-5590-6585) [luis.fos@puccampinas.edu.br](mailto:luis.fos@puccampinas.edu.br)

<sup>2</sup>Profa. Dra. na Pontífica Universidade Católica de Campinas.  orcid: [0000-0001-9994-5546](https://orcid.org/0000-0001-9994-5546) [nadia.cazarim@puc-campinas.edu.br](mailto:nadia.cazarim@puc-campinas.edu.br)

<sup>3</sup>Prof. Dr. na Pontífica Universidade Católica de Campinas.  orcid: [0000-0002-8171-7956](https://orcid.org/0000-0002-8171-7956) [dctcardoso@puc-rio.br](mailto:dctcardoso@puc-rio.br)

Data da Submissão:  
21novembro2023  
Data da Aprovação:  
10dezembro2023  
Data da Publicação:  
19fevereiro2024

COMO CITAR:

SANTOS, L. F. O.; FORTI, N. C. S.; CARDOSO, D. C. T.. ENSAIOS EXPERIMENTAIS COM VIGAS DE CONCRETO ARMADO COM BARRAS DE GFRP. Engenharia Urbana em Debate. São Carlos, V4, n2, 2023. <https://doi.org/10.14244/engurbdebate.v4i2.113>



## Abstract

Fiber Reinforced Polymer (FRP) bars are composite materials. They are a combination of long fibers with a polymeric matrix. Over recent decades, they have been applied as reinforcement for concrete structures due to their good mechanical properties, low specific weight, corrosion resistance, and electromagnetic transparency. However, these materials exhibit a low Young's modulus and linear-elastic behavior until failure. International and national recommendations offer two possibilities for designing concrete structures reinforced with glass fiber reinforced polymer (GFRP) bars: failure due to bar rupture or failure due to concrete crushing. The first case occurs as a consequence of using a low reinforcement ratio, resulting in high deformations and crack openings, as well as brittle failure. In this context, this article aims to present and analyze the flexural behavior of beams reinforced with GFRP bars designed according to the bar tensile failure criterion. The Digital Image Correlation (DIC) technique was used to analyze the cracking behavior. The use of DIC yielded good results, consistent with those observed experimentally. The results enhance the recommendation for designing based on concrete crushing.

**Keywords:** Reinforced concrete; GFRP bars; Bending; Cracking; Digital Image Correlation

## Resumen

Las barras de polímero reforzado con fibras (FRP) representan materiales compuestos resultado de la combinación de fibras largas con una matriz polimérica. Durante las últimas décadas, se han destacado como elementos de refuerzo para estructuras de concreto debido a sus notables propiedades mecánicas, bajo peso específico, características anticorrosivas y transparencia electromagnética. Sin embargo, es importante señalar que estos materiales exhiben un módulo de elasticidad reducido y un comportamiento elástico-lineal. Las directrices tanto a nivel internacional como nacional presentan dos enfoques para el dimensionamiento de estructuras de concreto armado con barras de polímero reforzado con fibras de vidrio (GFRP): el fallo debido a la ruptura de las barras o el fallo por aplastamiento del concreto. El primer escenario se manifiesta como resultado del uso de una tasa de armadura baja, lo que conlleva a deformaciones elevadas y la formación de grandes fisuras, así como un colapso frágil. En este contexto, el propósito central de este artículo es presentar y analizar el comportamiento a flexión de vigas armadas con barras de GFRP, dimensionadas de acuerdo con el criterio de fallo por tracción en la barra. Para llevar a cabo este análisis, se emplea la técnica de correlación digital de imágenes (DIC) con el objetivo de realizar una evaluación detallada del comportamiento ante la fractura. Los resultados obtenidos mediante el uso de DIC son altamente satisfactorios y consistentes con las observaciones experimentales. Estos hallazgos refuerzan la recomendación de dimensionar considerando el aplastamiento en la región comprimida del concreto.

**Palabras clave:** Hormigón Armado; Barras de GFRP; Flexiones; Fisuraciones; Correlación de Imágenes Digitales.

## 1 INTRODUÇÃO

Levantamentos a respeito de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado realizados ao redor do mundo apontam que a corrosão das armaduras de aço é uma das causas mais comuns de deterioração (BASTIDAS-ARTEAGA et al., 2011). Neste cenário, a durabilidade de estruturas de concreto armado é uma grande preocupação para a infraestrutura urbana, que busca soluções para maior longevidade das estruturas de concreto e com baixa necessidade de manutenção. As barras de polímero reforçado com fibras (FRP, do inglês *fiber-reinforced polymer*) têm sido utilizadas como um novo material de reforço para essas estruturas, substituindo ou utilizando em conjunto à armadura tradicional (CAI; PAN; ZHOU, 2017).

As barras de FRP são materiais anisotrópicos, ou seja, suas propriedades mecânicas diferem conforme a direção analisada, sendo formadas basicamente pela combinação de fibras e resina por um processo de pultrusão. Enquanto as fibras atuam conferindo rigidez e resistência mecânica, a matriz polimérica atua unindo as fibras, distribuindo os esforços mecânicos entre elas e protegendo-as contra impactos e danos devido a variadas condições ambientais (ACI 440.1R, 2015; BENMOKRANE et al., 2015).

Os compósitos de polímero reforçado com fibras já foram aplicados com sucesso em diferentes tipos de obras, como: tubulações, tanques de armazenamento subterrâneos, fachadas de edifícios, componentes arquitetônicos, decks de pontes, estruturas de contenção a beira mar, dentre outras (ACI 440.9R, 2015). O uso de materiais compósitos poliméricos na construção civil, como armadura para estruturas de concreto, traz benefícios estruturais e econômicos para as construções. Esses materiais apresentam uma alta relação rigidez/peso e resistência/peso, além de serem 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 decorrentes do baixo módulo de elasticidade quando comparado ao aço, e suas propriedades podem ser afetadas por condições de temperatura, umidade, exposição a raios ultravioletas e exposição a ambientes alcalinos (IBRACON, 2021).

As vigas de concreto armado com barras de FRP são geralmente projetadas 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 estados limites de serviço. A falha por ruptura à tração da barra é caracterizada como brusca, dado o comportamento frágil das barras de FRP. Apesar da esperada baixa capacidade de redistribuição de esforços nessas condições, o aviso prévio do colapso se dá pela formação de largas e extensas fissuras (ABDELKARIM et al., 2019; ACI 440.1R, 2015).

Devido ao melhor controle de fissuração e, como descrito na ACI 440.1R (2015), por exibir um comportamento levemente inelástico antes da ruptura, o dimensionamento dominado pela compressão do concreto é majoritariamente recomendado. Procurando explicar o comportamento observado em vigas cuja falha é dominada pela tração da barra, este trabalho, utilizando vigas dimensionadas para falhar por ruptura à tração da armadura, buscou estudar e analisar o efeito do baixo módulo de elasticidade das barras no comportamento à flexão de vigas armadas com barras de polímero reforçado com fibras de vidro (GFRP, do inglês *glass fiber-reinforced polymer*). Para auxiliar na análise, a técnica de Correlação de Imagem Digital (DIC do inglês *Digital Image Correlation*) foi utilizada, promovendo melhor entendimento do comportamento observado.

## 1.1 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo analisar e explicar o comportamento à flexão de vigas sub armadas com barras de GFRP. Os objetivos específicos deste trabalho são:

- explicar o comportamento estrutural observado experimentalmente, justificando as diferenças observadas para vigas com falha por compressão do concreto reportadas na literatura;

- analisar a fissuração das vigas por meio da correlação de imagem digital e relacionar com o comportamento observado.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS BARRAS DE GFRP

Barras de GFRP foram utilizadas para reforço das vigas de concreto. As barras possuem diâmetro efetivo de 5,95 mm e uma área efetiva de 27,8 mm<sup>2</sup>, se enquadrando nos limites impostos pela Prática Recomendada IBRACON/ABECE (2021). O teor de fibra das barras de GFRP foi determinado conforme o Anexo A7 da norma ASTM D3171 (2022), com fração em massa de 79,29%.

As barras foram caracterizadas mecanicamente por meio de ensaios de tração, para determinação da

resistência à tração e do módulo de elasticidade. As seguintes dimensões foram utilizadas para os corpos de prova: comprimento livre de 500 mm, comprimento de ancoragem de 250 mm e comprimento total de 1000 mm. As barras foram ancoradas utilizando tubos de aço Schedule 40 para evitar seu esmagamento junto às extremidades durante os ensaios e os tubos foram preenchidos com argamassa expansiva na proporção de 1500 g de água para 5000 g do material para garantir a aderência.

Para realização dos ensaios de tração, as barras foram instrumentadas com um extensômetro, modelo EEGL-10 N.203201 de base variável e deslocamento de 12,5 mm, posicionado no centro do comprimento livre da barra. Os ensaios foram realizados em uma prensa hidráulica, modelo EMIC DL 30000F. O extensômetro foi retirado antes da ruptura do material para evitar danos ao equipamento. A Figura 1 mostra a configuração de ensaio utilizada e uma barra pós ensaio de tração, onde é possível verificar a falha dentro do comprimento livre.

Figura 1 – Configuração e ensaio de tração



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Para cálculo da resistência à tração foi utilizada a Equação 1. uma deformação de 0,003 mm/mm.

$$\sigma_u = \frac{P_{max}}{A} \quad (1)$$

onde:

$\sigma_u$  = Resistência à tração da barra,

$P_{max}$  = Força máxima resistida pela barra,

$A$  = Área efetiva.

Para cálculo do módulo de elasticidade foi utilizada a Equação 2. A faixa para determinação do módulo de elasticidade foi definida com o ponto inicial sendo uma deformação de 0,001 mm/mm e o ponto final com

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (2)$$

onde:

$E$  = Modulo de elasticidade da barra,

$\Delta\sigma$  = Diferença da tensão de tração aplicada entre os pontos de deformação definidos,

$\Delta\varepsilon$  = Diferença na deformação obtida entre os pontos de deformação inicial e final da faixa definida.

O ensaio de caracterização mecânica da barra resultou nos parâmetros mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Tabela de propriedades mecânicas das barras de GFRP

Propriedades	Valor	Unidade	COV (%)
Resistência à tração ( $f_{u,frp}$ )	1126,51	MPa	4,63
Módulo de elasticidade ( $E_{frp}$ )	48,65	GPa	1,13

Fonte: elaborada pelo autor (2023).

## 3.2 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO

### 3.2.1 TRAÇO E GRANULOMETRIA

O concreto para moldagem das vigas teve seu traço definido por meio do método IPT/EPUSP para uma resistência à compressão desejada aos 28 dias de 35 MPa. O traço unitário em massa que foi utilizado para confecção do concreto é 1:2,35:2,85:0,64, com consumo de cimento CPV ARI de 360,57 kg/m<sup>3</sup>.

A granulometria dos agregados utilizados foi definida conforme as

normatizações nacionais NBR 7211 (2022) e NBR 17054 (2022). O agregado miúdo utilizado possuía dimensão máxima de 2,36 mm e seu módulo de finura é de 2,68. O agregado graúdo possuía dimensão máxima de 19 mm e seu módulo de finura era de 6,41, estando entre os limites especificados por norma para brita 0 e brita 1.

### 3.2.1 CARACTERIZAÇÃO NO ESTADO ENDURECIDO

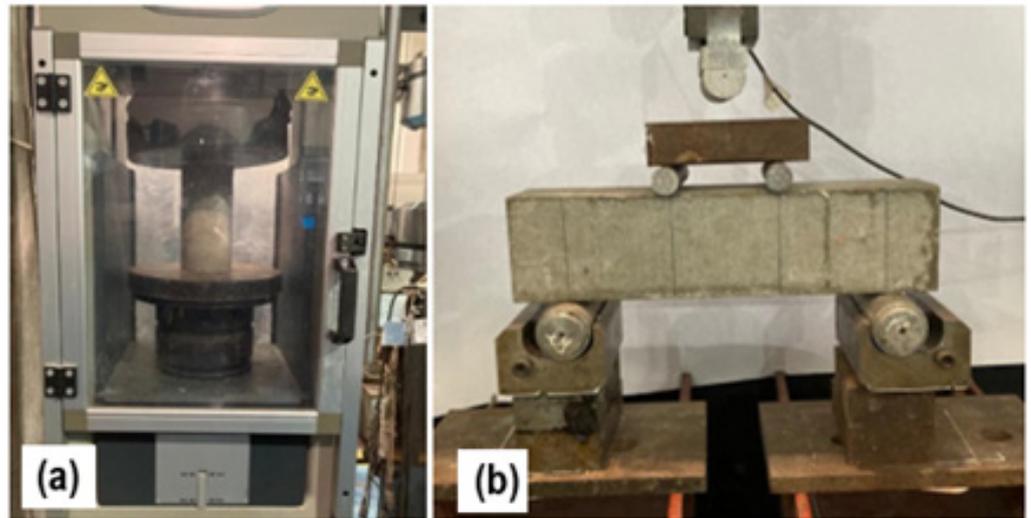
O concreto no estado endurecido foi caracterizado por ensaios para definição do módulo de elasticidade, resistência à compressão simples e tração na flexão, conforme as normas NBR 8522-1 (2021), NBR 5739 (2018) e NBR 12142 (2010), respectivamente.

Os ensaios para definição da resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto foram realizados em máquina de ensaio

de compressão da Controls modelo 50-C46Z00 com capacidade de carga de 2000 kN a uma taxa de 0,3 MPa/s. Já os de tração na flexão foram realizados em equipamento de flexão com atuador hidráulico MTS modelo 204.63 com capacidade de carga de 100 kN. A Figura 2 mostra a configuração destes ensaios.

A Tabela 2 mostra os resultados dos ensaios de caracterização mecânica do concreto.

Figura 2 – Ensaios de caracterização do concreto (a) compressão (b) tração na flexão



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Tabela 2 – Tabela de propriedades mecânicas do concreto.

Propriedades	Valor	Unidade	COV (%)
Resistência à compressão	35,49	MPa	6,27
Módulo de elasticidade	35,79	GPa	5,73
Resistência à tração na flexão	3,94	MPa	7,94

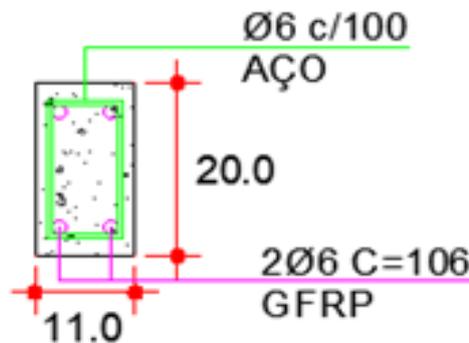
Fonte: elaborada pelo autor (2023).

### 3.3 VIGAS ARMADAS COM BARRAS DE GFRP

Três vigas armadas com barras de GFRP foram utilizadas para análise do comportamento à flexão. As vigas possuíam dimensão de 110x200x1100 mm (base x altura x comprimento) e foram armadas longitudinalmente com duas barras de GFRP de 6 mm de diâmetro nominal e transversalmente com

estribos de aço de 6,3 mm de diâmetro nominal, espaçados de 10 cm. Foram utilizados porta estribos de 6 mm de diâmetro nominal na parte superior da viga. O cobrimento utilizado foi de 2 cm. A Figura 3 mostra o esquema de armação das vigas.

Figura 3 – Esquema de armação das vigas (dimensões em cm)



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

O dimensionamento dessas barras seguiu as orientações da ACI 440.1R (2015) para vigas cujo critério de falha é dominado pela ruptura por tração da barra, ou seja, quando a taxa de armadura é inferior a taxa de armadura balanceada ( $\rho \leq \rho_{fb}$ ). A taxa de armadura balanceada é a taxa na qual ocorreriam, simultaneamente, a ruptura da barra e o esmagamento do concreto. A região até 1,4 vezes  $\rho_{fb}$  é descrita pela normatização como uma região de transição entre os modos de ruptura, dada a variabilidade de resistência à compressão média do concreto.

A taxa de armadura balanceada foi de 0,245% e a taxa de armadura utilizada

de 0,286%. A taxa de armadura foi aproximadamente igual a taxa balanceada, o que pode gerar uma falha dominada pelo esmagamento do concreto ou pela ruptura da barra. Não foi considerado qualquer fator de majoração ou minoração de carga e resistência e a deformação última do concreto utilizada foi igual a 0,30%. O dimensionamento da viga resultou em um momento resistente nominal de 10,58 kNm.

Após o dimensionamento, as vigas foram concretadas utilizando o traço 1:2,35:2,85:0,64 e curadas em câmara úmida durante 28 dias. Após a cura, as vigas foram ensaiadas à flexão de três pontos e foram realizadas análises de DIC.

O ensaio de flexão a três pontos foi realizado para uma viga biapoiada com vão livre de 1 metro e um transdutor de deslocamento (LVDT) de 50 mm posicionado no ponto médio da viga para medição da flecha. A Figura 4

mostra a configuração do ensaio realizado. O ensaio foi conduzido em prensa hidráulica, modelo MTS 204.63 com capacidade para 100 kN, a uma velocidade de 0,04 mm/s.

Figura 4 – Configuração do ensaio de flexão à três pontos



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

As imagens, para análises DIC, foram adquiridas a uma velocidade de 1 foto por segundo. O programa GOM Correlate (2022) foi utilizado para o processamento das imagens. O método de Correlação de Imagem Digital (DIC) foi utilizado para coleta de dados de abertura de fissuras. A configuração para coleta de imagens para análise DIC é feita a partir de um foco de iluminação e uma câmera (2D-DIC) direcionadas para uma região central pintada em branco fosco e pontos pretos. A Figura 5 mostra a configuração utilizada para coleta das imagens.

A técnica de correlação de imagem digital 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 de duas dimensões. A intensidade de cada pixel é definida com base em uma escala, por exemplo, numa escala monocromática representada por 8 bits existem 28 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.

Figura 5 – Configuração para coleta de imagens para análise DIC

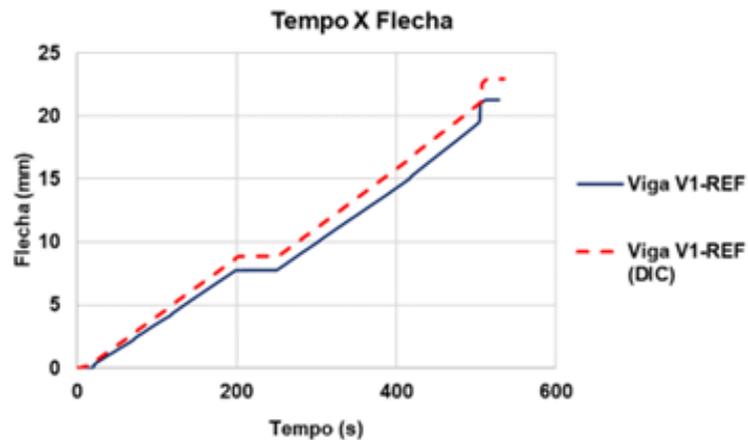


Fonte: elaborado pelo autor (2023).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

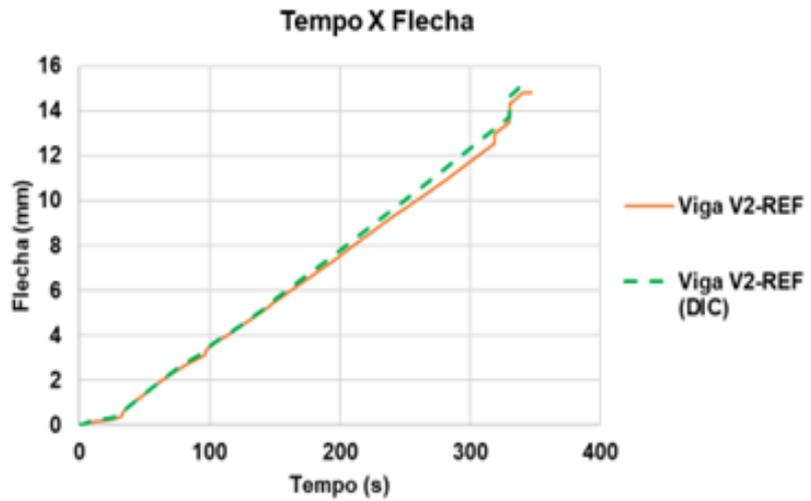
Para validação dos resultados obtidos na análise DIC, curvas de Flecha versus Tempo foram plotadas para dados do DIC e dados obtidos com o transdutor de deslocamento. Foi observada grande similaridade entre as duas curvas, o que permite a coleta e análise de outras informações dos resultados do DIC, como a abertura de fissuras. As Figuras 6 a 8 mostram as curvas, na qual o pontilhado representa as curvas com os dados do DIC e as curvas com linha contínua, os dados medidos com o transdutor.

Figura 6 – Curvas Flecha versus Tempo – Viga V1



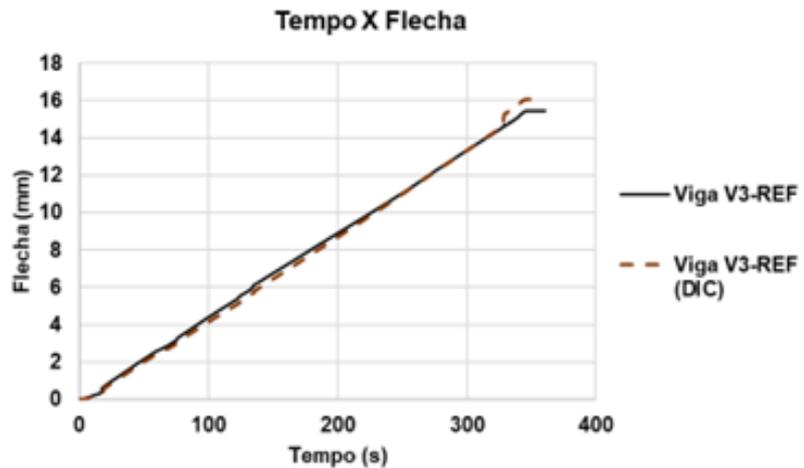
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 7 – Curvas Flecha versus Tempo – Viga V2



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

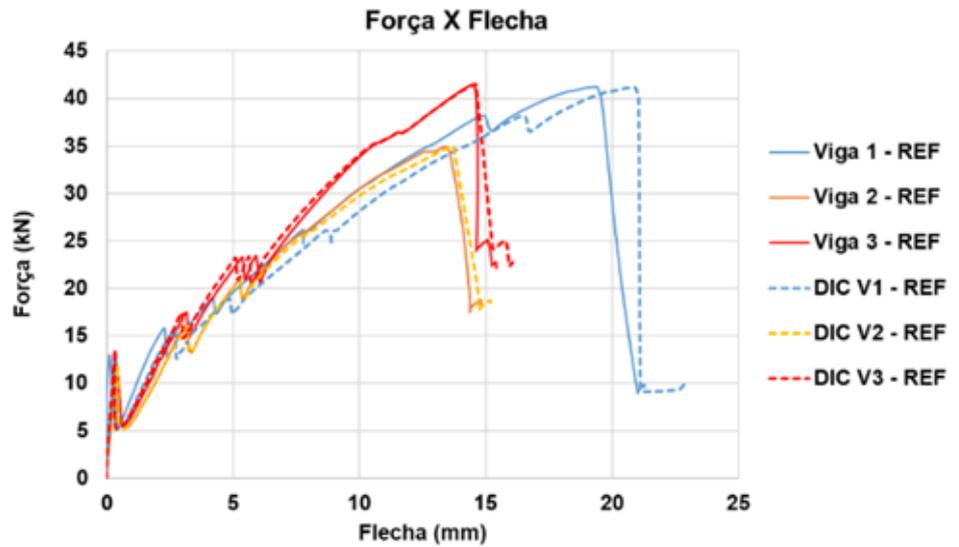
Figura 8 – Curvas Flecha versus Tempo – Viga V3



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

A boa correlação entre as curvas apresentadas possibilitou uma dupla análise do comportamento da curva Força versus Flecha. Como mostrado na Figura 9, foi observada uma boa convergência para as vigas V2 e V3. Entretanto, isso não foi observado para a viga V1, tendo sido obtidas flechas ligeiramente maiores com o DIC.

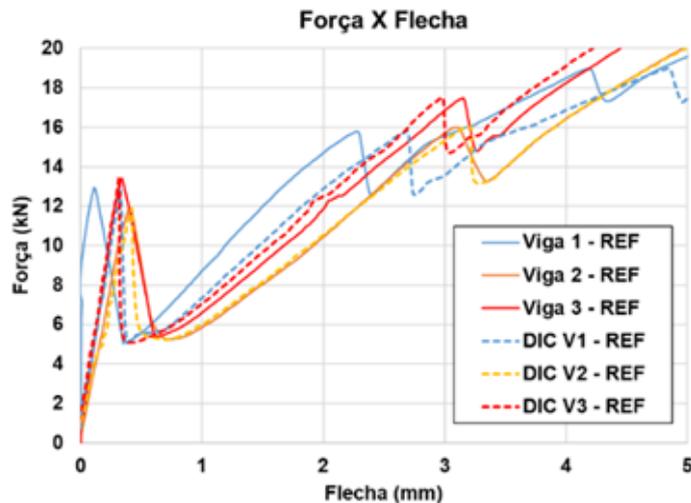
Figura 9 – Curvas Força versus Flecha – DIC e Experimental



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Onão ajustada da curva da viga V1 ocorre devido a uma pequena diferença no comportamento inicial, mostrada na Figura 10. Como pode ser observado, a medição experimental de flecha não foi realizada até aproximadamente 9 kN para a viga V1, o que permite concluir que isso ocorreu devido a leitura inicial do LVDT. Devido a boa correlação para as outras vigas, os dados de flecha obtidos com o DIC para a viga V1 foram utilizados nas análises.

Figura 10 – Ajuste inicial das curvas Força versus Flecha – DIC e Experimental



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Foi observado que todas as vigas falharam por tração na barra, conforme o dimensionamento realizado. Os ensaios de flexão a três pontos apresentaram resultados consistentes com os calculados analiticamente, em termos de momento último. A viga foi projetada para falhar com um momento e força máxima de aproximadamente 10,58 kN.m e 42,33 kN, respectivamente.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos, demonstrando a proximidade do cálculo analítico em comparação com os resultados experimentais, 7,31% para o valor médio e 17,42% para máxima diferença dentre as amostras. Em relação à flecha máxima (no pico de carga), as vigas V2 e V3 apresentaram valores semelhantes, contudo, a viga V1 apresentou maior capacidade de deformação, que será discutida posteriormente.

Tabela 3 – Resultados na ruptura dos ensaios de flexão a três pontos

<b>Parâmetros</b>	<b>Força</b>	<b>Momento</b>	<b>Flecha</b>
<b>Vigas / Unidades</b>	<b>(kN)</b>	<b>(kN.m)</b>	<b>(mm)</b>
<b>V1 - REF</b>	41,22	10,31	19,41
<b>V2 - REF</b>	34,96	8,74	13,45
<b>V3 - REF</b>	41,52	10,38	14,51
<b>Média</b>	39,24	9,81	15,79

Fonte: elaborada pelo autor (2023).

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 9. Os gráficos apresentam uma primeira fase linear (mais bem destacado na Figura 10), onde o concreto é o principal responsável por resistir as tensões de tração na qual o elemento está sendo exigido. No momento da fissuração, há uma grande queda na força resistida e, a partir deste ponto, a curva volta a ascender, mas com rigidez reduzida, como consequência da participação apenas da armadura na transferência de forças de tração.

A Tabela 4 exhibe os momentos de fissuração obtidos experimentalmente, sendo estes coletados por meio da análise DIC, ou seja, observando a primeira imagem em que a fissura começa a se formar. São comparados os momentos observados com o calculado por meio da ACI 440.1R (2015), na qual observam-se valores próximos, o que possibilita uma boa caracterização do instante em que a barra começa a contribuir na resistência aos esforços de tração. Além disso, a partir do momento de fissuração médio, calcula-se uma força de fissuração média de 12,64 kN, confirmando a afirmação anterior, visto que a força de fissuração média é, aproximadamente, o ponto onde as curvas apresentam o primeiro descarregamento.

Tabela 4 – Momentos de fissuração

<b>Vigas / Unidades</b>	<b>DIC</b>	<b>ACI 440.1R - 15</b>
	(kN.m)	(kN.m)
<b>V1 - REF</b>	3,18	2,69
<b>V2 - REF</b>	2,96	
<b>V3 - REF</b>	3,35	
<b>Média</b>	3,16	

Fonte: elaborada pelo autor (2023).

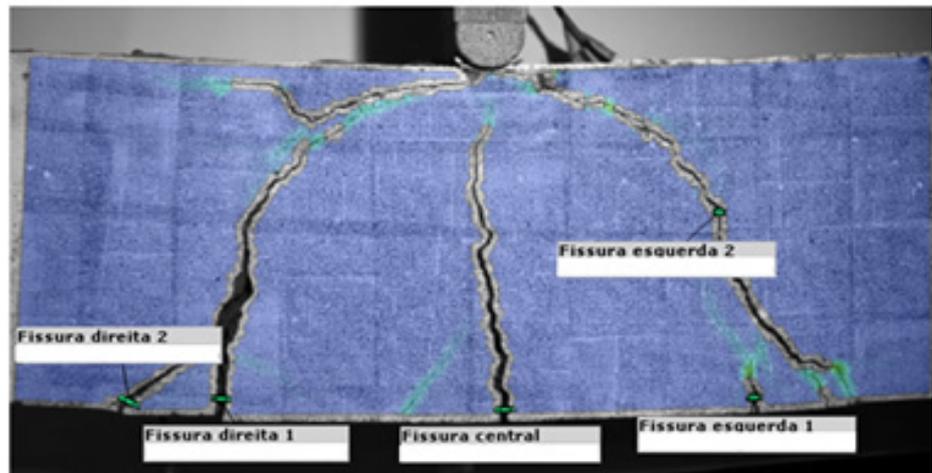
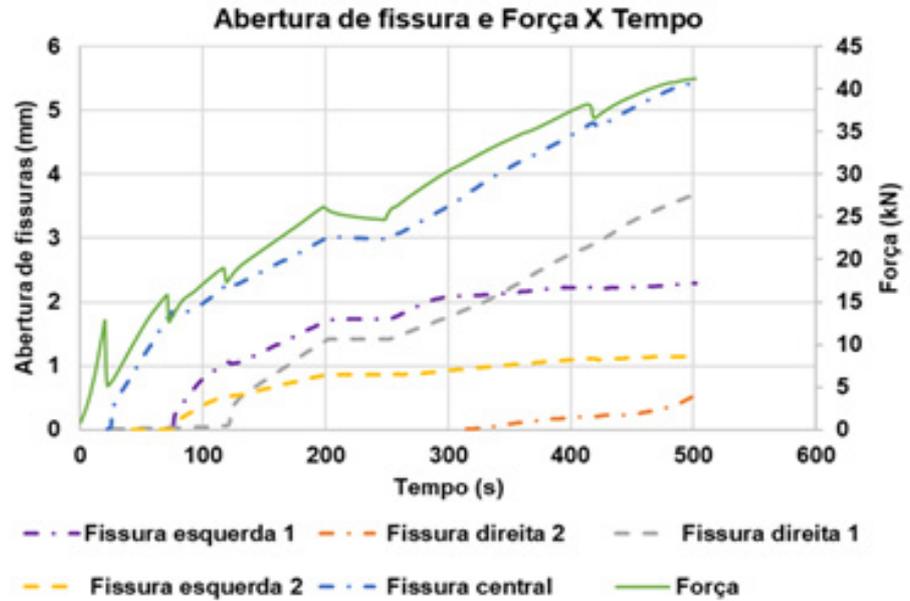
Fugiyama (2022) e Alsayed (1998) realizaram ensaios de flexão à quatro pontos em vigas armadas com barras de polímero reforçado com fibras de basalto (BFRP) e com barras de GFRP, respectivamente, e dimensionadas para falhar por esmagamento da região comprimida do concreto, não observando queda de carga na curva Força versus Flecha. Alsayed (1998) estudou, também, o comportamento a flexão de vigas com relação taxa de armadura por taxa de armadura balanceada iguais à 0,64 e 0,90 e com vigas armadas com aço com relação de 0,68. O autor observou o mesmo comportamento, onde as curvas de Força versus Flecha das vigas armadas com GFRP apresentaram uma queda logo após a carga de fissuração. Isso não foi observado para a viga armada com aço. Desta forma, a queda de carga observada em seu estudo foi atribuída ao baixo módulo de elasticidade das barras de GFRP.

A diferença observada no comportamento a flexão, dentre os métodos de dimensionamento, pode

ser justificada pela taxa de armadura utilizada. Em taxas maiores, para rompimento por esmagamento do concreto, a maior relação  $\rho/\rho_{fb}$  compensa fatores que influenciam na queda de carga observada, como a aderência barra-concreto e/ou o baixo módulo de elasticidade da armadura, a partir do melhor controle de fissuração e deflexão.

Por meio da análise DIC foi possível observar a relação entre o surgimento ou evolução de uma fissura com o comportamento a flexão obtido. O surgimento e/ou evolução de uma fissura caracteriza o comportamento a flexão, visto que, no momento da fissuração, a viga reduz sua rigidez e diminui, momentaneamente, a carga resistida. Como pode ser observado na Figura 11, o início da evolução da fissura central coincide com a primeira queda de carga observada na curva de Força versus Tempo, e o mesmo comportamento é observado no início da evolução das fissuras seguintes. O mesmo comportamento foi observado para as outras vigas apresentadas neste estudo.

Figura 11 – Comparação da fissuração e força resistida (Viga V1) e identificação das fissuras



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Com o uso do DIC, curvas de Força versus Abertura de Fissura foram plotadas, conforme a Figura 12. As curvas representam a abertura da fissura central de cada viga (que primeiro se desenvolveu), como mostrado na Figura 13. As regiões onde

é observado um “nó” representam a queda de carga observada na curva Força versus Deslocamento. As vigas apresentaram valores semelhantes de abertura de fissura, conforme o esperado.

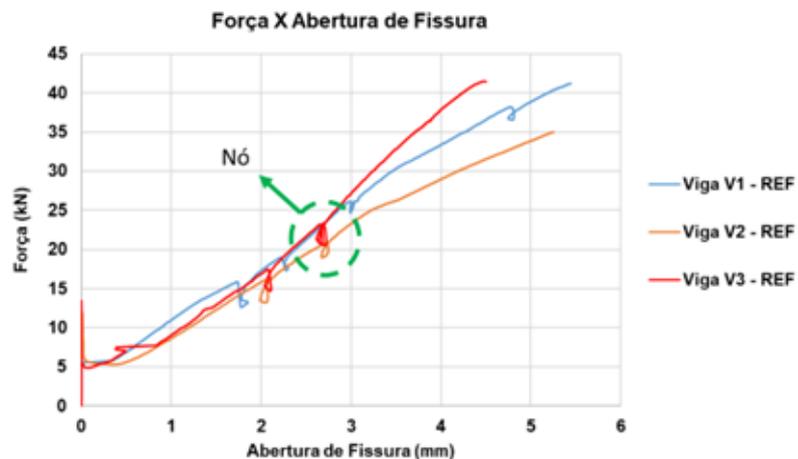
Integrando cada uma das curvas mostradas na Figura 12 observamos um indicativo da quantidade de trabalho realizado antes da ruptura da viga. Os valores obtidos para as Vigas V1, V2 e V3 foram, respectivamente, 127 N.m, 104 N.m e 94 N.m, aproximadamente. A Viga V1 apresentou maior valor, o que justifica a maior flecha observada para um mesmo nível de força máxima em comparação com a Viga V3, além disso, ela apresenta fissuração mais destacada, como pode ser visualizado na Figura 13.

A ACI 440.1R (2015) descreve que, devido à rigidez variável e ao comportamento elástico e frágil das barras de FRP, as flechas apresentadas por elementos

reforçados com esses materiais são mais sensíveis a variáveis, como a resistência à compressão média do concreto e a aderência barra-concreto, quando comparadas com elementos reforçados com aço. Essa explicação justifica os resultados semelhantes de flecha para as vigas V2 e V3, mesmo em níveis de força diferentes.

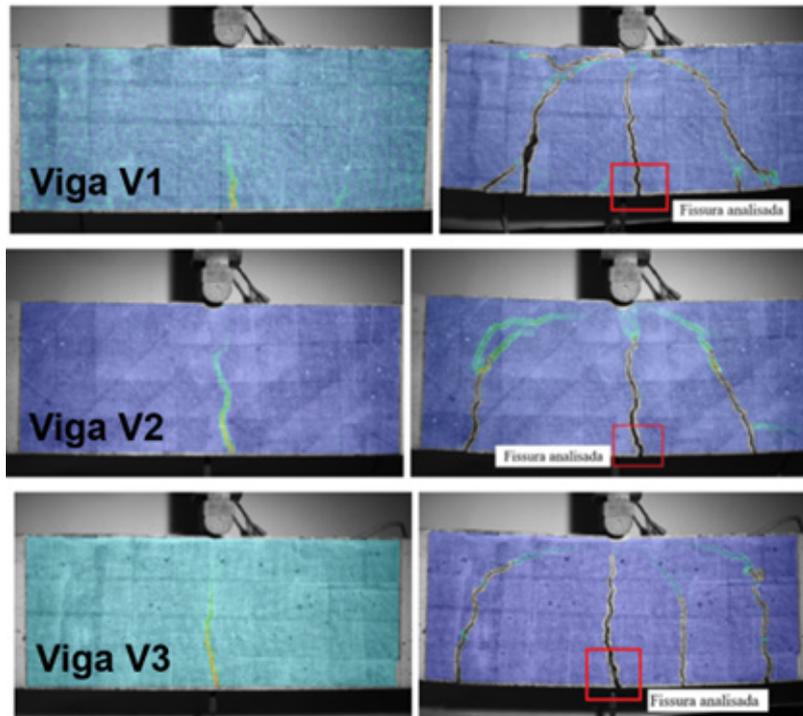
Como somente a fissura central foi analisada neste estudo, um cálculo considerando todas as fissuras, possivelmente, mostraria maiores valores para a viga V3 em relação a viga V2, que pode ser observado pela Figura 13, onde as vigas V2 e V3 apresentam fissuração semelhante, contudo a viga V3 mostra quatro fissuras verticais e a viga V2, três.

Figura 12 – Curvas Força máxima versus Abertura de Fissura



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 13 – Fissuras analisadas para cálculo da energia de fratura (Vigas V1, V2 e V3)



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

## 5 CONCLUSÕES

Algumas conclusões podem ser feitas a partir dos resultados e análises apresentadas:

- O dimensionamento das vigas utilizando a ACI 440.1R (2015) apresentou valores condizentes, em termos de momento nominal, com os resultados experimentais analisados.
- 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. Foi possível correlacionar a fissuração da viga com o comportamento a flexão observado.
- As vigas, dimensionadas pelo critério de ruptura por tração na

barra, apresentaram comportamento Força versus Flecha não constante, demonstrando quedas de carga conforme o surgimento ou evolução das fissuras. Sendo condizente com o observado por outros autores. Esse comportamento é influenciado por diferentes fatores, como o baixo módulo de elasticidade das barras de GFRP e a aderência barra-concreto.

- 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. O que possibilita estabelecer níveis de trabalhabilidade para elementos de concreto cujo modo de ruptura é dominado pela barra.

- O dimensionamento para ruptura dominada por tração da barra mostra altos valores de flecha e abertura de fissura, o que dificulta o atendimento a critérios de estados limites de serviço. Além disso, apesar da falha apresentar avisos, com a formação de fissuras, ela se mostra frágil, o que reforça a recomendação de normatizações para o dimensionamento de estruturas cuja falha é dominada pela compressão do concreto.

Como sugestão para trabalhos futuros, um estudo comparativo utilizando vigas dimensionadas pelos dois métodos e utilizando diferentes configurações de amadura é de grande contribuição. Além disso, para complementar as análises realizadas, comparar as flechas obtidas com os cálculos analíticos é de grande importância para o aprimoramento das equações atuais.

## AGRADECIMENTOS

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

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELKARIM, O. I.; AHMED, E. A.; MOHAMED, H. M.; BENMOKRANE, B. *Flexural strength and serviceability evaluation of concrete beams reinforced with deformed GFRP bars*. 2019. 282–296 f. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.02.024>.

ALSAYED, S. H. *Flexural behaviour of concrete beams reinforced with GFRP bars*. 1998. 1–11 f. 1998. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(97\)00061-9](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(97)00061-9).

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. *ACI 440.1R - Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with FRP bars*. 2015a. Farmington Hills, 2015.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. *ACI 440.9R - Guide to accelerated conditioning protocols for durability assessment of internal and external fiber-reinforce polymers (FRP) reinforcement*. 2015b. Farmington Hills, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM D3171 - Standard Test Methods for Constituent Content of Composite Materials*. 2022. West Conshohocken, 2022. <https://doi.org/10.1520/D3171-22>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. 2018. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7211: Agregados para concreto - Requisitos*. 2022a. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8522-1: Concreto endurecido - Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação - Parte 1: Módulos estáticos à compressão*. 2021. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12142: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos*. 2010. Rio de Janeiro, 2010.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 17054: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio*. 2022b. Rio de Janeiro, 2022.
- BASTIDAS-ARTEAGA, E.; CHATEAUNEUF, A.; SÁNCHEZ-SILVA, M.; BRESSOLETTE, Ph.; SCHOEFS, F. *A comprehensive probabilistic model of chloride ingress in unsaturated concrete*. 2011. 720–730 f. 2011. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.11.008>.
- BELEZA, S. C. A. *Medição de deformações através da técnica de Correlação Digital de Imagem*. 2017. 1–101 f. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10362/27685>.
- BENMOKRANE, B.; ELGABBAS, F.; AHMED, E. A.; COUSIN, P.; M.ASCE. *Characterization and Comparative Durability Study of Glass/Vinylester, Basalt/Vinylester, and Basalt/Epoxy FRP Bars*. 2015. 2015. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cc.1943-5614.0000564](https://doi.org/10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000564).
- CAI, J.; PAN, J.; ZHOU, X. *Flexural behavior of basalt FRP reinforced ECC and concrete beams*. 2017. 423–430 f. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.087>.
- FUGIYAMA, M. M. *ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO COM BARRAS POLIMÉRICAS REFORÇADAS COM FIBRA DE BASALTO E FIBRAS DESCONTÍNUAS*. 2022. PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS, Campinas, 2022. Disponível em: <http://repositorio.sis.puc-campinas.edu.br/handle/123456789/16487>. Acessado em: 10 dez. 2023.
- IBRACON. *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)*. 2021. Brasil, 2021.
- OU, Y.; ZHU, D.; ZHANG, H.; HUANG, L.; YAO, Y.; LI, G.; MOBASHER, B. *Mechanical characterization of the tensile properties of glass fiber and its reinforced polymer (GFRP) composite under varying strain rates and temperatures*. 2016. 196 f. 2016. <https://doi.org/10.3390/polym8050196>.

# ARBORIZAÇÃO NO SEMIÁRIDO: ESTUDO DE ESPAÇOS PÚBLICOS DE LAZER NA CIDADE DE PAU DOS FERROS/RN

*Afforestation in the semi-arid region: Study of public leisure spaces in the city of Pau dos Ferros/RN*

*Forestación en la región semiárida: Estudio de espacios públicos de ocio en la ciudad de Pau dos Ferros/RN*

**SOUZA, E. P. N.<sup>1</sup>; SANTOS, D. O.<sup>2</sup>; NETO, A. A. M.<sup>3</sup>**

## 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.

<sup>1</sup>Profa. Dra. da Universidade Federal Rural do Semi-Árido Ufersa.  orcid: [0000-0002-5590-6585](https://orcid.org/0000-0002-5590-6585) ellen.souza@ufersa.edu.br

<sup>2</sup>Graduado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido Ufersa. [daniel.sanos17355@alunos.ufersa.edu.br](mailto:daniel.sanos17355@alunos.ufersa.edu.br)

<sup>3</sup>Graduado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido Ufersa. [austidio.neto@alunos.ufersa.edu.br](mailto:austidio.neto@alunos.ufersa.edu.br)

Data da Submissão:

21novembro2023

Data da Aprovação:

10dezembro2023

Data da Publicação:

19fevereiro2024

COMO CITAR:

SOUZA, E.P.N.; SANTOS, D.O.; NETO, A.A.M.. ARBORIZAÇÃO NO SEMIÁRIDO: ESTUDO DE ESPAÇOS PÚBLICOS DE LAZER NA CIDADE DE PAU DOS FERROS/RN. Engenharia Urbana em Debate. São Carlos, V4, n2, 2023. <https://doi.org/10.14244/engurbdebate.v4i2.114>



## Abstract

Climate crises, which have been warned about for decades, have met with resistance in city management in their fight to mitigate environmental damage. Due to unbridled growth, many Brazilian cities have their fauna and flora destroyed in the name of economic advancement, forgetting the need for environmentally balanced spaces. The scenario becomes worrying when cities located in extreme climatic conditions do not consider the use of green infrastructure in their urban planning and projects as a way to reduce environmental and climate damage. This article aimed to analyze a public space intended for leisure in a city located in the semi-arid climate, caatinga biome from the perspective of urban green infrastructure – afforestation of squares –, and bioclimatic adaptation. Materials and methods relating to observational and cross-sectional analytical research were used, seeking to understand the cause and effect of projects of this type in the aforementioned climate, taking into account their environmental responsibility in a hot and dry region. The results show the discrepancy between the current environmentalist discourse and what is delivered to the population for enjoyment, in addition to divergences with the urban social functions established by the Statute of Cities and the SDGs of the 2030 Agenda.

**Keywords:** Urban afforestation; semi-arid climate; public leisure spaces.

## Resumen

Las crisis climáticas, sobre las que se ha advertido durante décadas, han encontrado resistencia en la gestión de las ciudades en su lucha por mitigar el daño ambiental. Debido al crecimiento desenfrenado, muchas ciudades brasileñas ven destruida su fauna y su flora en nombre del avance económico, olvidando la necesidad de espacios ambientalmente equilibrados. El escenario se torna preocupante cuando ciudades ubicadas en condiciones climáticas extremas no consideran el uso de infraestructura verde en su planificación y proyectos urbanos como una forma de reducir los daños ambientales y climáticos. Este artículo tuvo como objetivo analizar un espacio público destinado al ocio en una ciudad ubicada en el clima semiárido, bioma caatinga, desde la perspectiva de la infraestructura verde urbana –forestación de plazas– y la adaptación bioclimática. Se utilizaron materiales y métodos propios de la investigación analítica observacional y transversal, buscando comprender la causa y efecto de proyectos de este tipo en el clima antes mencionado, teniendo en cuenta su responsabilidad ambiental en una región cálida y seca. Los resultados muestran la discrepancia entre el discurso ambientalista actual y lo que se entrega a la población para su disfrute, además de divergencias con las funciones sociales urbanas establecidas por el Estatuto de las Ciudades y los ODS de la Agenda 2030.

**Palabras clave:** Forestación urbana; clima semiárido; espacios públicos de ocio.

## 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 sombreamentes. 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 possuísem 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.

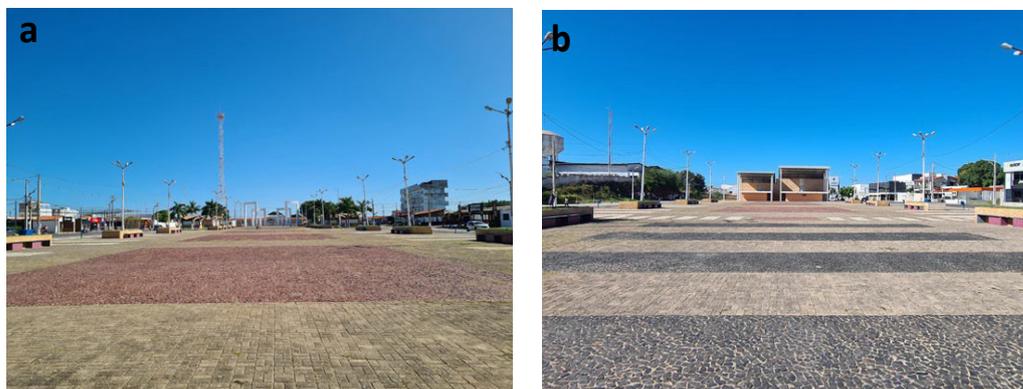
d. Diagnose: os dados foram analisados seja debatendo-os com estudos de caso, seja com o estado-da-arte (bibliográfico e/ou legislativo). A avaliação estatística se deu através de estudos de médias, medianas e percentagens.

### 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.



Fonte: autoria própria

Figura 02 - Zoneamento da praça de estudo.



Fonte: Prefeitura Municipal de Pau dos Ferros/RN (PMPDF)

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 ( $A_{Total\mín}=2.182m^2$ ). 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 03 - Zoneamento das superfícies da praça.



Fonte: Prefeitura Municipal de Pau dos Ferros/RN (PMPdF)

Figura 04 - Superfícies da praça: áreas com piso intertravado cinza, pedras portuguesas (vermelho, preto e branco), grama, pedras naturais e asfalto.



Fonte: autoria própria

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.



Fonte: autoria própria

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). *Figuras. 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. *S u p o r t e*. 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.

# ESTRATÉGIA PARA ARBORIZAÇÃO UTILIZANDO TECNOLOGIA DE CICLO DE LUZ CONTROLADO E LEDS FULL SPECTRUM

*Strategy for Afforestation using Controlled Light Cycle Technology and  
Full Spectrum LEDs*

*Estrategia de forestación mediante tecnología de ciclo de luz controlado  
y LED de espectro completo*

**FLACH, G. H.<sup>1</sup>; PELLEGRINI, L. C.<sup>2</sup>**

## 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.

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Elétrica na Universidade Federal do Paraná. [gustavo.flach@ufpr.br](mailto:gustavo.flach@ufpr.br)

<sup>2</sup>Graduanda em Arquitetura e Urbanismo na Universidade Federal do Paraná. [laura.pellegrini@ufpr.br](mailto:laura.pellegrini@ufpr.br)

Data da Submissão:

21novembro2023

Data da Aprovação:

10dezembro2023

Data da Publicação:

19fevereiro2024

COMO CITAR:

FLACH, G.H.; PELLEGRINI, L.C.. ESTRATÉGIA PARA ARBORIZAÇÃO UTILIZANDO TECNOLOGIA DE CICLO DE LUZ CONTROLADO E LEDES FULL SPECTRUM. Engenharia Urbana em Debate. São Carlos, V4, n2, 2023. <https://doi.org/10.14244/engurbdebate.v4i2.115>



## Abstract

The proposed project aims to enhance the growth of plants that, due to their location in areas with low solar irradiation, face hindered development. This is achieved through a light cycle management system utilizing the Arduino microcontroller and full-spectrum light-emitting diodes light bars, with the purpose of boosting plant growth in indoor environments, intended for future implementation in urban settings. The methodology involves programming the microcontroller to simulate a solar light cycle, aiming to provide the ideal light spectrum for plant development. Furthermore, the efficacy of the Full Spectrum LED bar in emulating solar radiation was evaluated through practical plant growth tests. The results demonstrate that the controlled system promotes optimized and healthy plant growth, highlighting the effectiveness of Full Spectrum LED technology in indoor cultivation. This approach represents a significant advancement for urban green infrastructure and controlled cultivation systems, offering a sustainable solution for promoting plant growth in indoor environments.

**Keywords:** Full Spectrum LEDs; Urban Afforestation; Indoor Cultivation.

## Resumen

El proyecto propuesto tiene como objetivo mejorar el crecimiento de plantas que, debido a su ubicación en áreas de baja radiación solar, ven perjudicado su desarrollo. Esto se logra a través de un sistema de gestión de ciclo de luz que utiliza el microcontrolador Arduino y barras de diodos emisores de luz de espectro completo, con el propósito de potenciar el crecimiento de plantas en entornos interiores, destinado para implementación futura en entornos urbanos. La metodología abarca la programación del microcontrolador para simular un ciclo de luz solar, con el objetivo de proporcionar el espectro de luz ideal para el desarrollo de las plantas. Además, la eficacia de la barra de LEDs Full Spectrum en emular la radiación solar fue evaluada mediante pruebas prácticas de crecimiento de plantas. Los resultados demuestran que el sistema controlado promueve un crecimiento optimizado y saludable en las plantas, destacando la eficacia de la tecnología de LEDs Full Spectrum en el cultivo interior. Esta aproximación representa un avance significativo para la infraestructura verde urbana y los sistemas de cultivo controlado, ofreciendo una solución sostenible para fomentar el crecimiento de plantas en entornos interiores.

**Palabras clave:** LEDs Full Spectrum; Arborización Urbana; Cultivo Interior.

## 1. INTRODUÇÃO

Acrescente 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 cidadão.

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

Fonte: autoria própria

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 nutraceuticas.

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.

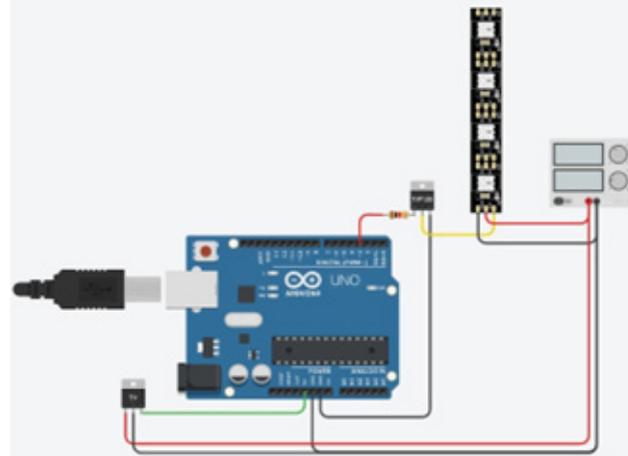
## **2. METODOLOGIA**

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.



Fonte: Arduino Uno

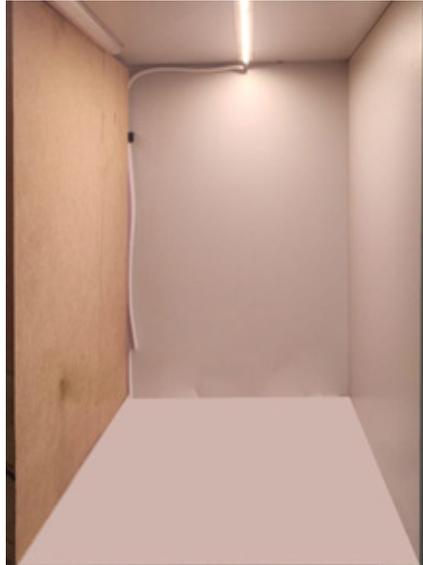
Para a programação do Arduino, foi desenvolvido um código que controla o ciclo de luz da barra de LED. O código foi elaborado para gradualmente aumentar a intensidade da luz pela manhã, manter a intensidade máxima durante o dia e, posteriormente, reduzir a intensidade gradualmente à noite, até que a 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), consequentemente 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.



Fonte: autoria própria

### 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.

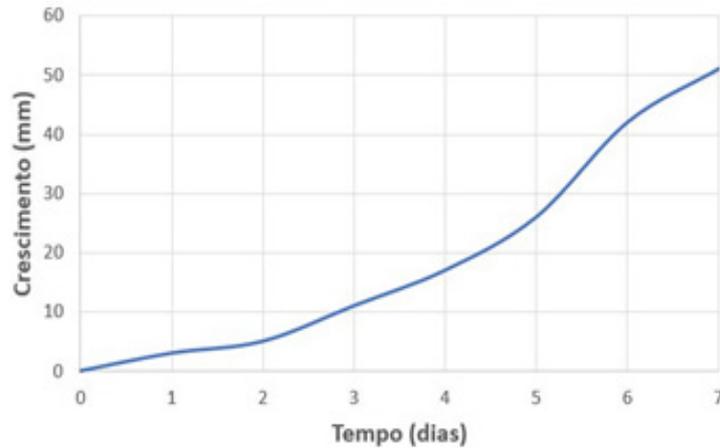


Fonte: autoria própria

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.



Fonte: autoria própria

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 Acselrad, “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

idades 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. *Arduin 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-reportagem/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.

# ANÁLISE MULTICRITÉRIO E GEOPROCESSAMENTO NO PLANEJAMENTO DO SISTEMA DE ESPAÇOS LIVRES URBANO

*Multicriteria Analysis and Geoprocessing in Urban Open Space System Planning*

*Análisis multicriterio y geoprosesamiento en la planificación de sistemas de espacios abiertos urbanos*

**COCCO, R. M.<sup>1</sup>; WEISS, R.<sup>2</sup>; PIPPI, L. G. A.<sup>3</sup>**

## 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.

<sup>1</sup>Doutoranda no Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.  orcid: [0000-0002-5422-8479](https://orcid.org/0000-0002-5422-8479) renatamcocco@gmail.com

<sup>2</sup>Profa. Dra. na Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul.  orcid: [0000-0001-7169-8803](https://orcid.org/0000-0001-7169-8803) raquel.weiss@ufsm.br

<sup>3</sup>Prof. Dr. na Universidade Federal de Santa Maria.  orcid: [0000-0002-4714-4138](https://orcid.org/0000-0002-4714-4138) luis.g.pippi@ufsm.br

Data da Submissão:  
21novembro2023  
Data da Aprovação:  
10dezembro2023  
Data da Publicação:  
19fevereiro2024

COMO CITAR:

COCCO, R.M.; WEISS, R.; PIPPI, L.G.A.. ANÁLISE MULTICRITÉRIO E GEOPROCESSAMENTO NO PLANEJAMENTO DO SISTEMA DE ESPAÇOS LIVRES URBANOS. Engenharia Urbana em Debate. São Carlos, V4, n2, 2023. <https://doi.org/10.14244/engurbdebate.v4i2.116>



## Abstract

This work aims to present the planning of the Open Spaces System in the medium-sized city of Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil with a focus on the city's potential open spaces for leisure and recreation through the application of the Multicriteria Analysis methodology and the Process of Analytical Hierarchy (AHP). Multicriteria Analysis and the AHP method allow the attribution of values or statistical weights to research variables, aiming to bring together unique evaluation attributes in a single analysis, such as environmental preservation areas with cultural heritage areas, urban voids or even important mobility axes for the city. In the current investigation, seven fundamental research criteria were listed for the delimitation of future squares and parks, based on the Geographic Information System (GIS) database, incorporating an analysis of the biophysical and constructed constraints of Santa Maria. This encompassed natural, built, sociocultural, and socioeconomic infrastructures. Based on the mappings, it is concluded that qualitative-quantitative analyses, such as the multi-criteria method, are of fundamental relevance for the study of urban landscapes. This is particularly crucial for the preparation and revision of urban plans, which should be grounded in sustainable soil management.

**Keywords:** potential open spaces; multi-criteria decision analysis; Geographic Information System.

## Resumen

El trabajo tiene como objetivo presentar la planificación del Sistema de Espacios Libres perteneciente la ciudad de tamaño intermedio Santa María", Rio Grande do Sul, Brasil con enfoque en los potenciales espacios libres de la ciudad dedicados para la recreación y entretenimiento a través de la aplicación del Metodología de Análisis Multicriterio y el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP). El Análisis Multicriterio y el método AHP permiten atribuir valores o pesos estadísticos a las variables de investigación, con el objetivo de reunir en un solo análisis distintos atributos de evaluación, como áreas de preservación ambiental con áreas de patrimonio cultural, vacíos urbanos o incluso importantes ejes de movilidad para la ciudad. En el presente estudio se enumeraron siete criterios de investigación fundamentales para la delimitación de futuras plazas y parques, a partir de la base de datos del Sistema de Información Geográfica (SIG), la lectura de las las infraestructuras naturales, construido, sociocultural y socioeconómico de Santa María. Basados en los mapeos, se concluye que los análisis cualitativos-cuantitativos como el método multicriterio son de fundamental relevancia para el estudio de los paisajes urbanos, principalmente para la elaboración y revisión de planes urbanos, los cuales deben basarse en el manejo sustentable del suelo.

**Palabras clave:** espacios abiertos potenciales; análisis de decisión multicriterio; Sistema de Información 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

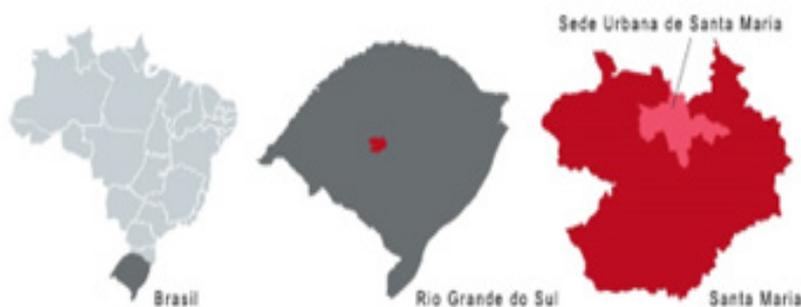
é necessário identificar prioridades de forma transparente e coletiva a partir da apresentação de diferentes alternativas (GOMES, GOMES, 2014; LANG, BLASCHKE, 2009).

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



Fonte: autoria própria

## 2. METODOLOGIA

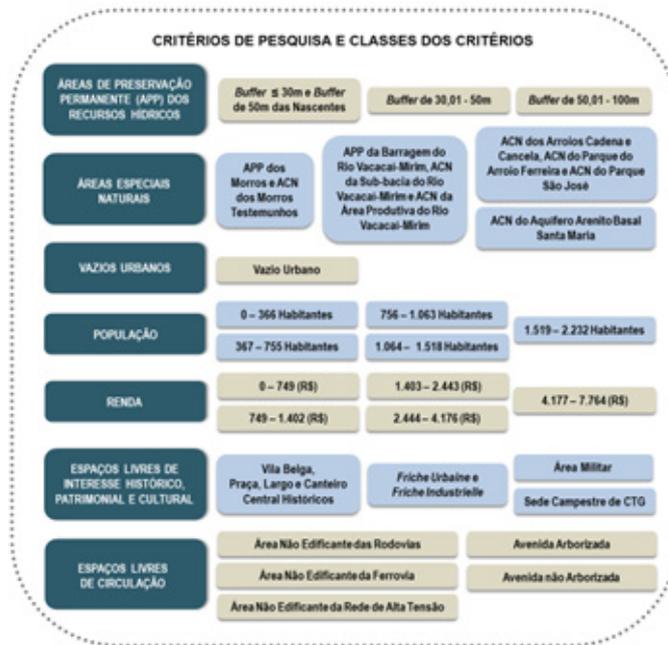
Nesse sentido, o presente trabalho tem como premissa o apontamento dos espaços livres públicos potenciais destinados ao lazer e recreação da população, como praças, parques, largos, ciclovias, canteiros centrais de avenidas, entre outros. A partir do diagnóstico atual dessas áreas e da escolha de sete 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.

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



Fonte: autoria própria

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.

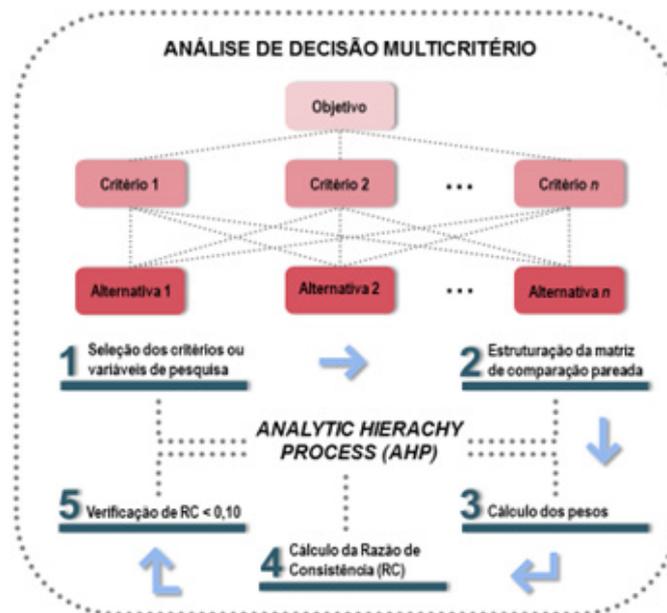
O método AHP é necessário para a verificação da consistência de avaliação da análise, isto é, da coerência dos pesos através do

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



Fonte: autoria própria

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

### 3. RESULTADOS

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.

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

<b>CRITÉRIOS DE CARÁTER NATURAL</b>		<b>PESOS</b>	<b>(%)</b>
<b>APP</b>	Áreas de Preservação Permanente (APP) dos Recursos Hídricos	0,29	29%
<b>AEN</b>	Áreas Especiais Naturais	0,29	29%
<b>VU</b>	Vazios Urbanos	0,18	18%
<b>CRITÉRIOS DE CARÁTER SOCIOECONÔMICO</b>		<b>PESOS</b>	<b>(%)</b>
<b>POP</b>	População	0,08	8%
<b>REN</b>	Renda	0,08	8%
<b>CRITÉRIOS DE CARÁTER PATRIMONIAL E DA MOBILIDADE</b>		<b>PESOS</b>	<b>(%)</b>
<b>ELIHPC</b>	Espaços Livres de Interesse Histórico, Patrimonial e Cultural	0,05	5%
<b>ELC</b>	Espaços Livres de Circulação	0,03	3%

Fonte: autoria própria

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.

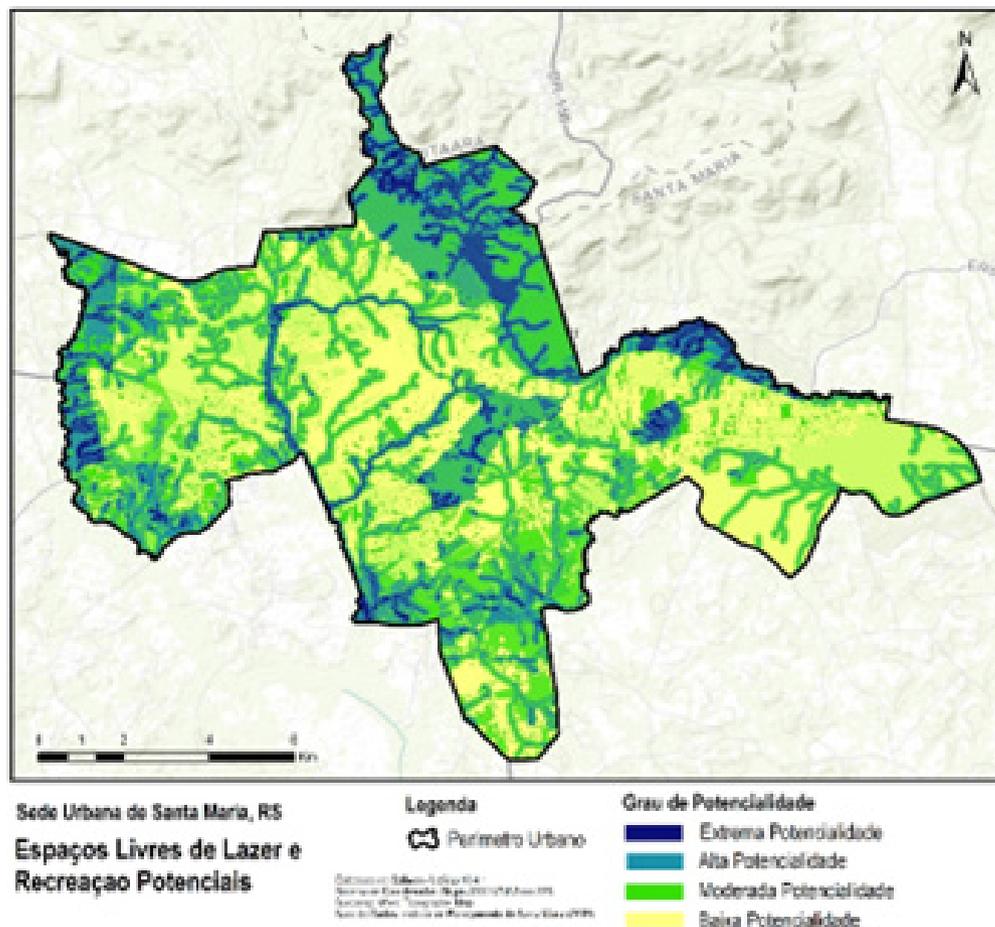
Os resultados demonstram que as áreas com alta potencialidade constituem atualmente grandes estoques de floresta urbana por se localizarem ao longo de Áreas de Preservação Permanente (APP) de rios e áreas de morros com Mata Atlântica preservada, mas que já possuem bordas recortadas pela ocupação humana. 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.

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.

Figura 4 – Espaços Livres de Lazer e Recreação Potenciais para a cidade de Santa Maria, RS, Brasil



Fonte: autoria própria

#### 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*. Urbanização, produção e 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=cidades+m%C3%A9dias+brasileiras+SPOSITO&ots=pgk26rocnr&sig=hKitu1dTxuaChjJsU5D\\_RHBTc#v=onepage&q=cidades%20](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=yy72CQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=cidades+m%C3%A9dias+brasileiras+SPOSITO&ots=pgk26rocnr&sig=hKitu1dTxuaChjJsU5D_RHBTc#v=onepage&q=cidades%20)

[m%C3%A9dias%20brasileiras%20SPOSITO&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=yy72CQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=cidades+m%C3%A9dias+brasileiras+SPOSITO&ots=pgk26rocnr&sig=hKitu1dTxuaChjJsU5D_RHBTc#v=onepage&q=cidades%20)>. 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/1/15110>>. 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.

# 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

*Study of high-performance concrete (HPC) dosage using rice husk silica and optimization of Portland cement consumption for application in pillars*

*Estudio de la dosificación de concreto de alto rendimiento (CAD) utilizando sílice de cáscara de arroz y optimización del consumo de cemento Portland para su aplicación en pilares*

**MERCÊS, C.B.<sup>1</sup>; NEVES, R.D.<sup>2</sup>; GANASINI, D.<sup>3</sup>; EFFTING, C. <sup>4</sup>; SCHACKOW, A.<sup>5</sup>**

## 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.

<sup>1</sup> Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEU, da Universidade do Estado de Santa Catarina. [clovismerces.engengariacivil@gmail.com](mailto:clovismerces.engengariacivil@gmail.com)

<sup>2</sup> Engenheiro Civil Universidade do Estado de Santa Catarina. [nevesruann@gmail.com](mailto:nevesruann@gmail.com)

<sup>3</sup> Mestra em Engenharia Civil pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEU, da Universidade do Estado de Santa Catarina [orcid: 0000-0003-3433-8926](https://orcid.org/0000-0003-3433-8926) [debiganasini@gmail.com](mailto:debiganasini@gmail.com)

<sup>4</sup> Professora Doutora no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEU, da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC [orcid: 0000-0001-5457-5457](https://orcid.org/0000-0001-5457-5457) [carneane.effting@udesc.br](mailto:carneane.effting@udesc.br)

<sup>5</sup> Doutor no Departamento de Engenharia Civil, da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. [orcid: 0000-0003-2561-5231](https://orcid.org/0000-0003-2561-5231) [adilson.schackow@udesc.br](mailto:adilson.schackow@udesc.br)

Data da Submissão:  
21dezembro2023  
Data da Aprovação:  
10fevereiro2024  
Data da Publicação:  
20março2024

## COMO CITAR:

MERCÊS, C.B.; NEVES, R.D.; GANASINI, D.; EFFTING, C.; SCHACKOW, A.. 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. Engenharia Urbana em Debate. São Carlos, V4, n2, 2023. <https://doi.org/10.14244/engurbdebate.v4i2.118>



## Abstract

The present study aims to investigate the dosage of high-performance concrete using rice husk silica. Two types of superplasticizer additives were evaluated: additive A and additive B. The rice husk silica used was characterized through its chemical composition by X-ray fluorescence and determination of performance index with Portland cement. The consistency of the concrete was verified through slump test. In the hardened state, tests were conducted for compressive strength, water absorption, voids index, and specific mass. With the obtained results, a statistical analysis was developed including Bootstrap confidence interval and multivariate analysis of variance (MANOVA). Comparative structural calculations were performed between the high-performance concrete with higher strength and a conventional concrete of 30 MPa, proving the viability of the produced material. Furthermore, a reduction in Portland cement consumption was observed when comparing the studied concrete categories.

**Keywords:** CAD; optimized consumption; Portland cement.

## Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un estudio sobre la dosificación de concretos de alto rendimiento utilizando sílice de la cáscara de arroz. Se evaluaron dos tipos de aditivos superplastificantes: el aditivo A y el aditivo B. La sílice de la cáscara de arroz utilizada fue caracterizada mediante su composición química por fluorescencia de rayos X y la determinación del índice de rendimiento con cemento Portland. La consistencia de los concretos se verificó mediante el ensayo de asentamiento del cono. En el estado endurecido, se realizaron ensayos de resistencia a la compresión, absorción de agua, índice de vacíos y masa específica. Con los resultados obtenidos, se desarrolló un análisis estadístico que incluyó intervalo de confianza Bootstrap y análisis de varianza multivariado (MANOVA). Se realizaron cálculos estructurales comparativos entre el concreto de alto rendimiento con mayor resistencia y un concreto convencional de 30 MPa, lo que demostró la viabilidad del material producido. Además, se observó una reducción en el consumo de cemento Portland al comparar las categorías de concreto estudiadas.

**Palabras clave:** CAD; optimización del consumo; cemento 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

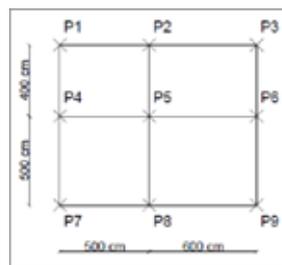
apresentou a maior resistência à compressão e um concreto convencional, com  $f_{ck}$  igual a 30 MPa.

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  $10 \text{ KN/m}^2$ , pé direto igual a 3 metros, vigas com dimensões de  $50 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$  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 locação de pilares.



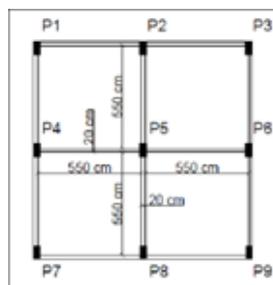
Fonte: autoria própria

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.



Fonte: autoria própria

### 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

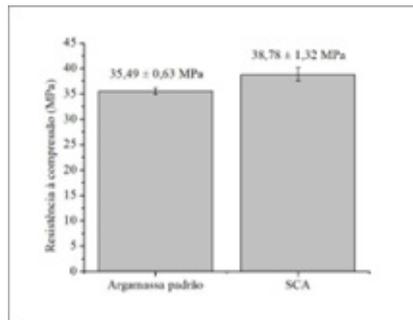
Propriedades	NBR 12653	ASTM C618-17 <sup>a</sup>	Sílica da casca de arroz
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	≥70%	≥70%	93,22%
SO <sub>3</sub>	≤4%	≤4%	1,29%
Teor de umidade	≤3%	≤3%	-
Perda ao fogo	≤10%	≤10%	Realizar ensaio

Fonte: autoria própria

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.

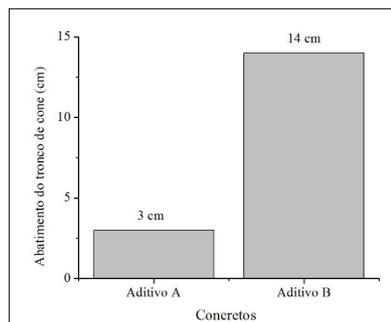


Fonte: autoria própria

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.



Fonte: autoria própria

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

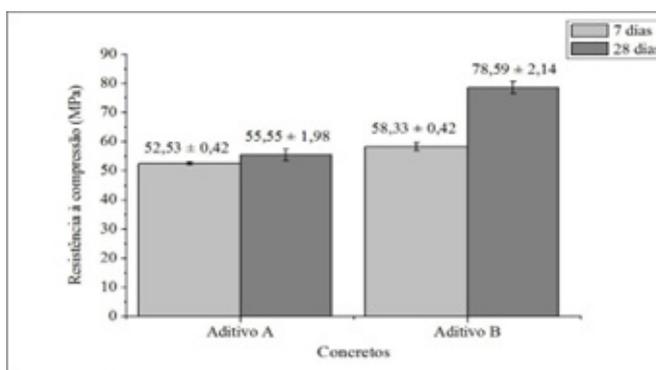
Kg	Concreto A	Concreto B
<b>Cimento Portland CP-V</b>	10,227	<b>10,227</b>
<b>Sílica da casca do arroz</b>	0,987	<b>0,987</b>
<b>Agregado Graúdo (dm máx: 9,5 mm)</b>	22,428	<b>22,582</b>
<b>Agregado Miúdo</b>	14,196	<b>14,118</b>
<b>Água Total</b>	3,955	<b>3,177</b>
<b>Relação água/ materiais cimentícios</b>	<b>0,35</b>	<b>0,29</b>

Fonte: autoria própria

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.



Fonte: autoria própria

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.	A.A. (%)	I.V. (%)	M.E.
	(%)	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )			(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 ±	3,94 ±	9,36 ±	2,38 ±	2,49 ±	6,02 ±	2,43 ±
Erro padrão	0,21	0,48	0,00	0,21	0,48	0,01

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

Fonte: autoria própria

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 (Aitcin, 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.

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.

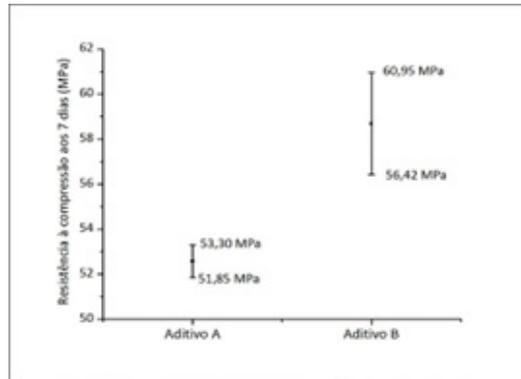
Os intervalos de confiança Bootstrap de 95% para as resistências aos 7 dias e 28 dias estão apresentados nas Figura 6 e 7.

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			0,1791
Resíduos	2	-	-	-	-	-

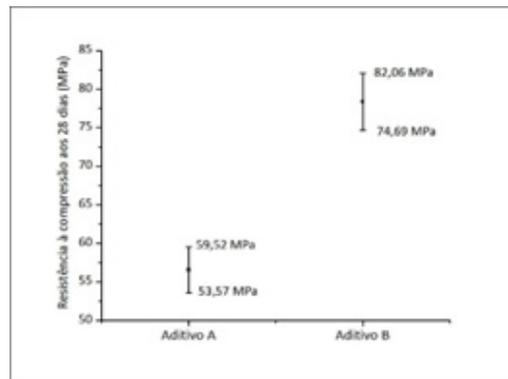
Fonte: autoria própria

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



Fonte: autoria própria

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



Fonte: autoria própria

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 a 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

Fonte: autoria própria

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

Fonte: autoria própria

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.

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.

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

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  $f_{ck}$ , tem-se uma diminuição na mesma ordem para a área de concreto. Ou seja, o  $f_{ck}$  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 cimento 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.
- 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 Véras. *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.
- SEFFF, 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.

# PROJETO DE BIODIGESTOR E FOTOBIORREATOR PARA PRODUÇÃO E PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA CODIGESTÃO ANAERÓBIA

*Design of a biodigester and photobioreactor for the production and purification of biogas from anaerobic co-digestion*

*Diseño de un biodigester y un fotobiorreactor para producir y purificar biogás procedente de la codigestión anaerobia*

**BOAS, A. P. V.<sup>1</sup>; LUNELLI, B. H.<sup>2</sup>**

## 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 os biorreatores em escala de bancada para geração e purificação de biogás, rico em metano. Para o projeto dos biorreatores foi utilizado o software Inventor da Autodesk®. Após a construção dos biorreatores em escala de bancada, será realizada a produção de biogás a partir da codigestão anaeróbia de resíduos orgânicos urbanos e agroindustriais. O biogás gerado será purificado através da captura fotossintética do carbono por meio da utilização de microalgas.

**Palavras-chave:** Microalgas; processos biológicos; resíduos orgânicos; biorreatores.

<sup>1</sup> Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas - PUC Campinas  orcid: [0009-0008-3360-4616](https://orcid.org/0009-0008-3360-4616) leandro.zq@puccampinas.edu.br

<sup>2</sup> Profa. Dra. na Pontifícia Universidade Católica de Campinas - PUC Campinas  orcid: [0000-0002-1320-7890](https://orcid.org/0000-0002-1320-7890) betania.lunelli@puc-campinas.edu.br

Data da Submissão:  
21dezembro2023  
Data da Aprovação:  
10fevereiro2024  
Data da Publicação:  
20março2024

COMO CITAR:

BOAS, A. P. V.; LUNELLI, B; H.. PROJETO DE BIODIGESTOR E FOTOBIORREATOR PARA PRODUÇÃO E PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA CODIGESTÃO ANAERÓBIA. Engenharia Urbana em Debate. São Carlos, V4, n2, 2023. <https://doi.org/10.14244/engurbdebate.v4i2.119>



## Abstract

Global carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions have steadily risen since the industrial revolution. In recent decades, the emissions scenario has only worsened, rising from 9.34 million tons in 1960 to 36.44 million tons in 2019. The growing concentration of atmospheric CO<sub>2</sub> is mainly attributed to the consumption and burning of fossil fuels, which account for more than 80% of the world's primary energy demand. To help mitigate greenhouse gas emissions, biogas production in Brazil has advanced in recent years and has received incentives from the public and private sectors. The use of unconventional sources for energy generation, such as urban organic waste and residual biomass from agro-industry and agricultural processes, are exciting alternatives. With this in mind, this work aims to develop bench-scale bioreactors for generating and purifying methane-rich biogas. Autodesk® Inventor software was used to design the bioreactors. Once the bench-scale bioreactors have been built, biogas will be produced from the anaerobic co-digestion of urban and agro-industry organic waste. The biogas generated will be purified by photosynthetic carbon capture using microalgae.

**Keywords:** Microalgae; biological processes; organic waste; bioreactors.

## Resumen

Las emisiones mundiales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no han dejado de aumentar desde la revolución industrial. En las últimas décadas, el escenario de emisiones no ha hecho más que empeorar, pasando de 9,34 millones de toneladas en 1960 a 36,44 millones de toneladas en 2019. La creciente concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico se atribuye principalmente al consumo y quema de combustibles fósiles, que representan más del 80% de la demanda mundial de energía primaria. En un esfuerzo por ayudar a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, la producción de biogás en Brasil ha avanzado en los últimos años y ha recibido incentivos de los sectores público y privado. El uso de fuentes no convencionales para la generación de energía, como los residuos orgánicos urbanos y la biomasa residual de procesos agroindustriales y/o agrícolas, se perfilan como alternativas interesantes. El objetivo de este trabajo es desarrollar biorreactores a escala de banco para la generación y purificación de biogás rico en metano. Para el diseño de los biorreactores se ha utilizado el software Autodesk® Inventor. Una vez construidos los biorreactores, se producirá biogás a partir de la codigestión anaerobia de residuos orgánicos urbanos y agroindustriales. El biogás generado se purificará mediante captura fotosintética de carbono utilizando microalgas.

**Palabras clave:** Microalgas; procesos biológicos; residuos orgánicos; biorreactores.

## 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 alimento 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.

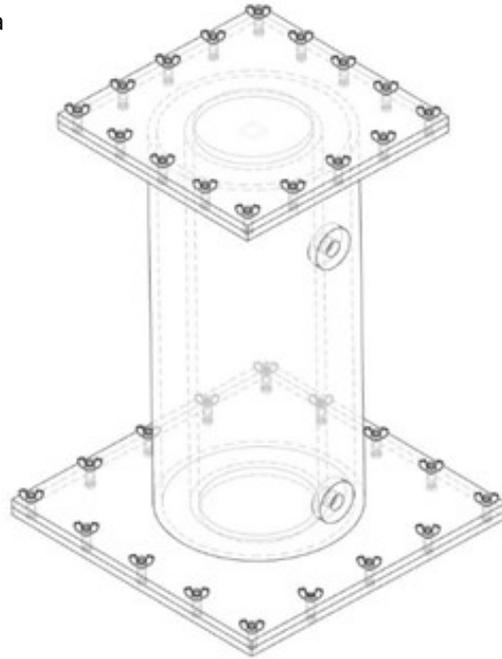
### **3. RESULTADOS**

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.

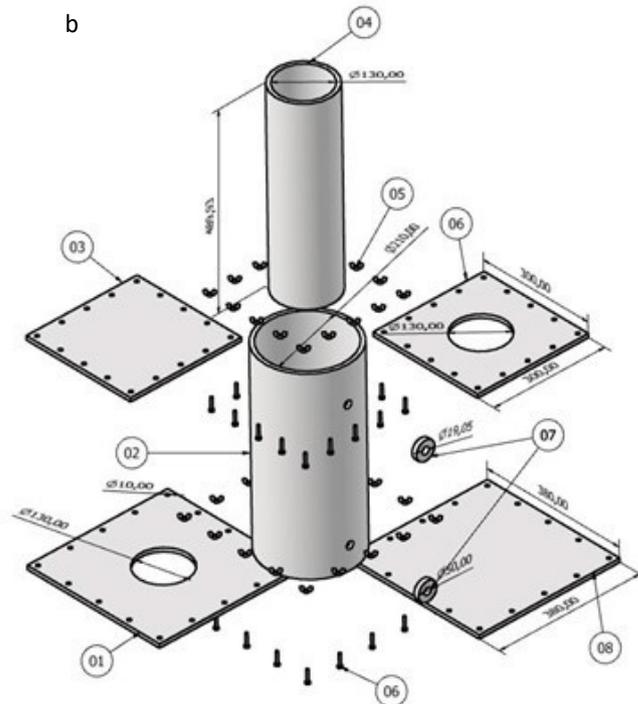
O fotobiorreator e o biodigestor construídos são representados pelas Figuras 3 e 4 (a-b), respectivamente.

Figura 1- Desenho do projeto do biodigestor.

a

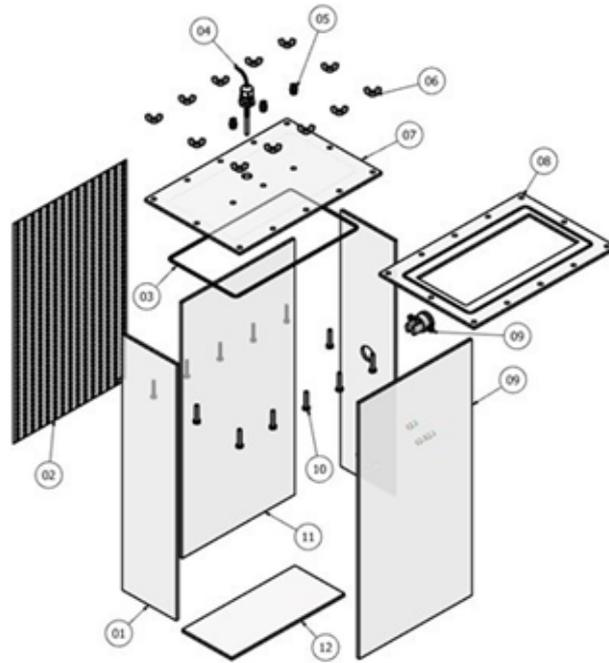


b



Fonte: autoria própria

Figura 2- Desenho do projeto do fotobiorreator.



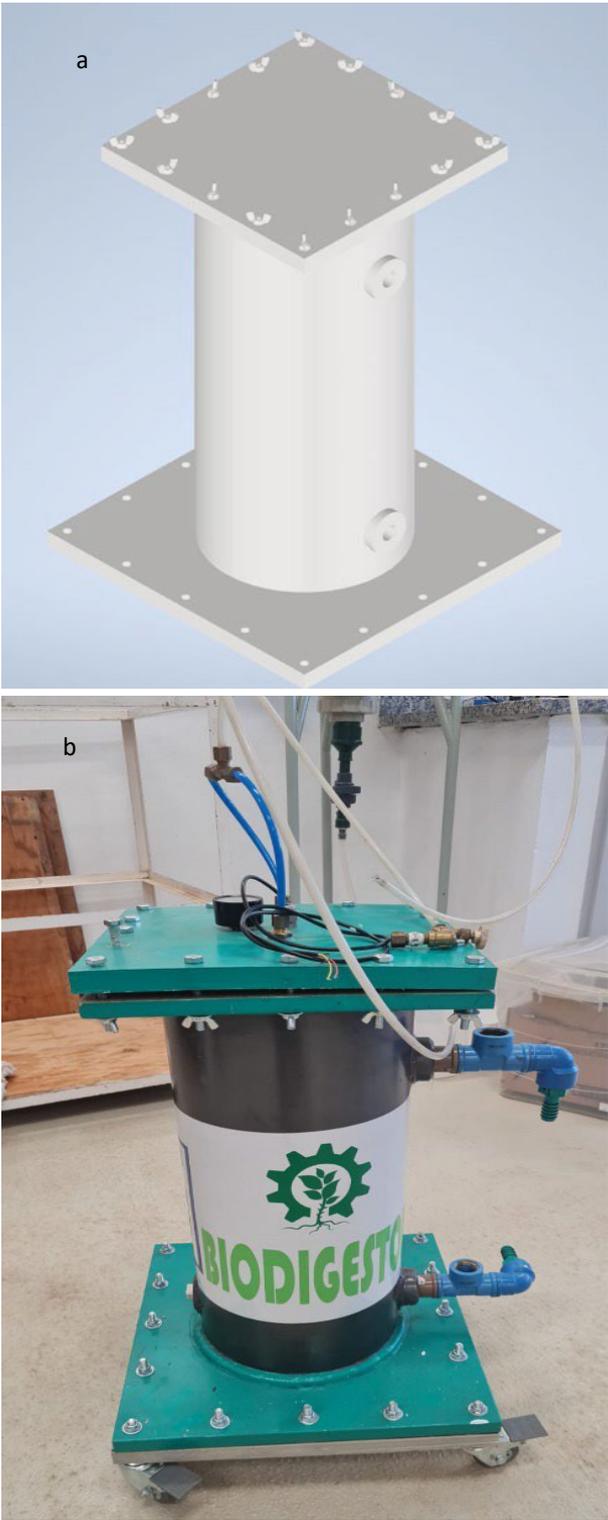
Fonte: autoria própria

Figura 3 - Representação da construção do fotobiorreator.



Fonte: autoria própria

Figura 4 - Representação da construção do biodigestor



Fonte: autoria própria

#### 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

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

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

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

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.ccst.2021.100007

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

## PARTICIPAÇÃO EM PROGRAMA DE MOBILIDADE INTERNACIONAL: UM RELATO DE EXPERIÊNCIA NO CONTEXTO DA ENGENHARIA URBANA

*Participation in an international mobility program: an experience report in the context of Urban Engineering*

*Participación en un programa de movilidad internacional: un informe de experiencia en el contexto de la Ingeniería Urbana*

**OLIVATTO, T. F.; LOLLO, J. A.; MASIERO, E.**

### Tatiane Ferreira Olivatto

Doutorado em andamento em Engenharia Urbana pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, da Universidade Federal de São Carlos \_ PPGEU/UFSCar

orcid: [0000-0002-5770-7088](https://orcid.org/0000-0002-5770-7088)

tatianeolivatto@yahoo.com.br

### José Augusto Di Lollo

Prof.Dr.Titular da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP

orcid: [0000-0002-6703-5377](https://orcid.org/0000-0002-6703-5377)

jose.lollo@unesp.br

### Érico Masiero

Prof. Dr. do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana Universidade Federal de São Carlos \_ PPGEU/UFSCar

orcid: [0000-0001-8665-335X](https://orcid.org/0000-0001-8665-335X)

erico@ufscar.br

### Resumo

Reconhecendo a importância da internacionalização no desenvolvimento do ensino e pesquisa no Brasil, o objetivo deste relato é descrever a experiência de mobilidade acadêmica internacional de estudante de doutorado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, da Universidade Federal de São Carlos (São Carlos, SP, Brasil), na *Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas*, da *Universidad Nacional del Litoral* (Santa Fe, SF, Argentina), no âmbito do Programa ESCALA de Estudantes de Pós-graduação da AUGM, entre março de 2023 e maio de 2023. A atividade principal da mobilidade tratou de um projeto de pesquisa envolvendo a temática da tese em andamento da estudante - erosões lineares em áreas urbanas - a partir da aplicação de metodologia estudada pelos investigadores do grupo de pesquisa da universidade de destino - modelagem de fluxo e transporte de sedimentos. Essa vivência possibilitou o desenvolvimento pessoal, cultural e acadêmico da estudante, consolidando o intercâmbio entre os pesquisadores envolvidos no projeto e enriquecendo a rede de cooperação internacional da pós-graduação em Engenharia Urbana.

**Palavras-chave:** Internacionalização; Intercâmbio; Mobilidade; Pós-graduação; Engenharia Urbana.

### ABSTRACT

Recognizing the importance of internationalization in the development of teaching and research in Brazil, the objective of this report is to describe the experience of international academic mobility of a doctoral student of the Graduate Program in Urban Engineering, of the Federal University of São Carlos (São Carlos, SP, Brazil), at the Faculty of Engineering and Water Sciences, of the National University of the Litoral (Santa Fe, SF, Argentina), under AUGM's ESCALA Graduate Students Program, between March 2023 and May 2023. The main activity of the mobility dealt with a research project involving the theme of the student's ongoing thesis - linear erosions in urban areas - from the application of methodology studied by the researchers of the research group of the destination university - flow and sediment transport modelling. This experience enabled the personal, cultural and academic development of the student, consolidating the exchange between the researchers involved in the project and enriching the international cooperation network of the graduate program in Urban Engineering.

**Keywords:** Internationalization; Exchange; Mobility; Graduate; Urban Engineering.

### RESUMEN

Reconociendo la importancia de la internacionalización en el desarrollo de la enseñanza y la investigación en Brasil, el objetivo de este informe es describir la experiencia de movilidad académica internacional de un estudiante de doctorado del Programa de Posgrado en Ingeniería Urbana, de la Universidad Federal de São Carlos (São Carlos, SP, Brasil), en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, de la Universidad Nacional del Litoral (Santa Fe, SF, Argentina), bajo el Programa de Estudiantes de Posgrado ESCALA de AUGM, entre marzo de 2023 y mayo de 2023. La actividad principal de la movilidad se centró en un proyecto de investigación que involucra el tema de la tesis en curso del estudiante - erosiones lineales en áreas urbanas - a partir de la aplicación de la metodología estudiada por los investigadores del grupo de

Data da Publicação:  
19fevereiro2024



investigación de la universidad objetivo - modelado de flujo y transporte de sedimentos. Esta experiencia permitió el desarrollo personal, cultural y académico del estudiante, consolidando el intercambio entre los investigadores involucrados en el proyecto y enriqueciendo la red de cooperación internacional del programa de posgrado en Ingeniería Urbana.

**Palabras-clave:** Internacionalización; Intercambio; Movilidad; Postgrado; Ingeniería Urbana.

## 1 INTRODUÇÃO

Nos anos recentes, como parte do processo de globalização e inovação científica, houve um crescimento na demanda pela internacionalização no ensino superior norteado pelas diretrizes educacionais nacionais e latino-americanas (CORREIA-LIMA; RIEGEL, 2015). Além do incentivo à programas de apoio à eventos no exterior, cooperação e convênios internacionais, professor-visitante, graduação e pós-graduação sanduíche; os programas de mobilidade complementam a gama de possibilidades de internacionalização, apresentando-se como uma valiosa oportunidade de aprendizado acadêmico, desenvolvimento de habilidades, aprimoramento de idiomas, intercâmbio cultural (GAUTHIER; FREITAS, 2020).

No âmbito da pós-graduação, as mobilidades estudantis contribuem para ampliar os horizontes no cenário exterior, por meio do contato com outros grupos de pesquisa e diversidades culturais. A internacionalização aproxima estudantes e orientadores de diferentes países, podendo resultar em parcerias que beneficiam as universidades envolvidas e seus respectivos países (SOUZA JUNIOR, 2010; NOGUEIRA; AGUIAR; RAMOS, 2008).

A avaliação do impacto das atividades de internacionalização já foi abordada em diversos estudos com

foco nos cursos de graduação em Enfermagem, Agronomia, Medicina e Engenharias (BUBADUÉ et al., 2013; DALMOLIN et al., 2013; PEREIRA, 2015; CUTTI et al., 2017; FERREIRA et al., 2017). Contudo, ainda não foi amplamente explorado o impacto de uma mobilidade acadêmica em cursos de pós-graduação, principalmente, no contexto da Engenharia Urbana. Por esta razão, o objetivo deste trabalho é apresentar um relato de experiência de estudante de doutorado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana (PPGEU), da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), na *Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas* (FICH), da *Universidad Nacional del Litoral* (UNL), em Santa Fe, Argentina.

## 2 CONTEXTO

A universidade de origem, UFSCar, é uma instituição pública brasileira de ensino superior presente em quatro campi: São Carlos (sede), Araras, Sorocaba e Lagoa do Sino. Fundada em 1968, atualmente é reconhecida entre as 12 melhores universidades do Brasil no Ranking Universitário Folha (RUF) de 2019 (FOLHA DE S. PAULO, 2019) e recebeu nota máxima na avaliação do Ministério da Educação (MEC) de 2021 (Índice Geral de Cursos = 5) (MEC, 2023).

A UFSCar oferece 64 cursos de graduação presencial, 12 cursos de mestrado profissional, 44 de mestrado

acadêmico, 31 de doutorado e 96 cursos de especialização (UFSCAR, 2018). Dentre seus 52 programas de pós-graduação está o PPGEU, fundado em 1994 e situado na cidade de São Carlos, estado de São Paulo. Atualmente o curso de Engenharia Urbana é e vinculado ao Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia (CCET) e foi classificado com nota 4 no Conceito CAPES referente ao quadriênio 2017-2020 (CAPES, 2022). Os eixos de pesquisa estruturantes do PPGEU são urbanismo, transportes, saneamento e geotecnia (PPGEU, 2023).

A universidade de destino, UNL, é uma instituição pública argentina de ensino superior presente nas cidades de Santa Fe, Esperanza, Gálvez, Reconquista, Avellaneda, Rafaela y Sunchales. Fundada em 1919, atualmente conta com 10 Faculdades, 2 Centros Universitários, 1 Sede Universitária, 1 Instituto Superior e 14 Institutos de Investigação (UNL, 2023).

A UNL oferece 147 cursos de graduação (115 presenciais e 32 à distância), 31 especializações (30 presenciais e 1 à distância), 28 mestrados e 19 doutorados (ambos presenciais) (UNL, 2023). A FICH, constituída em 1985, é parte do *Departamento de Hidrología General y Aplicada* e se dedica à pesquisas nas áreas temáticas de recursos hídricos, informática, ambiente e cartografia (FICH, 2023a).

No que tange os departamentos responsáveis pelo suporte à internacionalização, na universidade de origem trata-se da Secretaria Geral de Relações Internacionais (SRInter) e na universidade de destino trata-se da *Secretaría*

*de Planeamiento Institucional e Internacionalización*. Ambos os departamentos são responsáveis por estabelecer as parcerias de cooperação internacionais, inclusive das mobilidades acadêmicas, conduzindo e implementando, dentre outros, o Programa ESCALA de Estudantes de Pós-graduação da Associação de Universidades Grupo Montevideú (AUGM).

Este programa visa promover a cooperação e integração das universidades que integram a AUGM, bem como a internacionalização do ensino superior na região, por meio da promoção da mobilidade de mestrados e doutorandos regularmente matriculados, para frequentarem um período letivo em uma universidade de outro país membro da associação (SRINTER, 2023).

A AUGM engloba universidades de seis países - Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Paraguai e Uruguai - e semestralmente estabelece parcerias para custeio de bolsas de mobilidade para estudantes de graduação e pós-graduação, sendo previstas atividades de estadias de pesquisa, práticas de laboratório, assistir a disciplinas, cursos e seminários, etc (SRINTER, 2023).

No âmbito do Programa ESCALA de Estudantes de Pós-graduação da AUGM, de forma geral, as universidades de origem se responsabilizam pelo financiamento de despesas relacionadas ao deslocamento e seguro-saúde dos estudantes e as universidades de destino se responsabilizam por despesas relacionadas à hospedagem e/ou alimentação.

### 3 PREPARAÇÃO

A experiência de mobilidade acadêmica teve início antes do período no exterior em si, começando pela divulgação do edital de seleção interno da UFSCar, que ocorreu em setembro de 2022. A partir daí, foram providenciados os documentos exigidos, no início de outubro do mesmo ano, para posterior análise. A documentação pode ser considerada relativamente simples, contemplando documentos pessoais e acadêmicos, currículo Lattes e carta do orientador da universidade de origem em concordância com a experiência. Esta análise se deu em cerca de duas semanas, sendo o resultado final divulgado no final de outubro.

Na ocasião da inscrição no processo seletivo, foram indicadas três universidades estrangeiras de interesse – dentre uma lista de instituições disponibilizadas no site da AUGM. Por esta razão, a etapa de inscrição também envolveu uma investigação acerca dos cursos e programas de pós-graduação oferecidos em cada instituição, objetivando encontrar linhas de pesquisas promissoras para a cooperação internacional. Cabe mencionar que algumas destas universidades exigiam documentos complementares, como uma proposta de trabalho e carta convite do provável tutor no exterior, sendo toda esta documentação providenciada ainda na etapa de seleção interna da UFSCar.

Esta pode ser considerada uma das etapas mais críticas do processo, uma vez que exigiu o contato com os professores de interesse nas instituições e elaboração de um plano de trabalho em um prazo de três semanas. Por uma questão de afinidade temática com o projeto

de tese, todas as universidades selecionadas foram Argentinas, a saber, juntamente com as respectivas áreas de pesquisa indicadas foram: (i) Universidad Nacional de San Luis, Doutorado em Ciências Geológicas (Geologia); (ii) Universidad Nacional de Córdoba, Doutorado em Ciências da Engenharia (Engenharia Hidráulica); e (iii) Universidad Nacional del Litoral, Doutorado em Engenharia (Recursos Hídricos). Finalizado o processo de seleção interno da UFSCar, a SRInter encaminhou a documentação às universidades indicadas pelo candidato no formulário de inscrição.

Em dezembro de 2022 às universidades estrangeiras divulgaram os candidatos selecionados, optando-se pela UNL. Após a consolidação da bolsa de estudos, iniciaram-se os trâmites da viagem propriamente dita, incluindo cumprimento dos requisitos sanitários de ingresso ao país, planejamento do deslocamento terrestre e aéreo, aquisição de seguro-saúde e organização da estadia na acomodação universitária providenciada pela universidade de destino. Por fim, em 29 março de 2023 as atividades da mobilidade foram iniciadas.

### 4 RELATO DA EXPERIÊNCIA

O cenário das atividades desenvolvidas na Argentina foi o Laboratório de pesquisa *Centro de Estudios Hidro-Ambientales* (CENEHA), sob a orientação do professor adjunto Dr. Pablo Augusto Cello. O Grupo de *Estudios Hidro-Ambientales* (GEHA), pertencente à este laboratório, é integrado por docentes-investigadores e estudantes de graduação e pós-graduação da FICH-UNL em parceria com o *Consejo Nacional*

*de Investigaciones Científicas y Técnicas* (CONICET), que é um ente autárquico dependente do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação Produtiva da Argentina destinado a promover o desenvolvimento da ciência e a tecnologia no país (FICH, 2023b).

Logo, por se tratar de um grupo de pesquisa já estruturado, além do contato com os pesquisadores da própria universidade, foi estabelecido o intercâmbio com outros pesquisadores. Este *networking* inicial foi viabilizado por uma roda de conversa organizada pelo Prof. Dr. Pablo Augusto Cello, no qual foi apresentado o plano de trabalho detalhado para todos os pesquisadores do grupo e, posteriormente, foi proposta uma discussão acerca do mesmo. Ao fim do período de mobilidade, antes do retorno ao Brasil, foi realizado um outro evento com a apresentação dos resultados obtidos.

O plano de trabalho elaborado, intitulado "*Modelación de flujo y transporte de sedimentos*", tratou da elaboração de um modelo hidrológico-hidráulico, acoplado ao transporte de sedimentos, utilizando o software HydroBID Flood. O projeto beneficiou ambos os grupos de pesquisa, uma vez que propiciou à estudante - durante os dois meses de mobilidade internacional - o aprendizado da técnica de modelagem através da aplicação em uma área de interesse dos pesquisadores do GEHA, localizada em Neuquén - Argentina, para posterior aplicação em sua respectiva área de estudo no Brasil, que compõe sua pesquisa principal de doutorado no PPGEU. Sendo assim, a cooperação internacional ficou estabelecida para além do período de mobilidade, contemplando

a continuação dos trabalhos em parceria no período posterior.

As atividades da mobilidade contou com a participação: (i) da estudante de doutorado Tatiane Ferreira Olivatto e de seu orientador Dr. José Augusto Di Lollo, ambos vinculados ao PPGEU-UFSCar, Brasil; (ii) do Dr. Pablo Augusto Cello e da Dra. Mariana Morell, ambos na FICH-UNL, Argentina; (iii) de Reinaldo García, Jacinto Artigas e José R. Córdova, pertencentes à empresa Hydronia LCC, desenvolvedora do software utilizado; e (iv) Mauro Nalesso, especialista líder na *Water and Sanitation Division (Inter-American Development Bank)*, Estados Unidos.

A dinâmica de trabalho se deu por meio de reuniões quinzenais em formato híbrido com os membros do grupo, uma vez que parte dos integrantes se encontrava na Argentina, Brasil e Estados Unidos. Nestas reuniões foram debatidas as diretrizes de planejamento das atividades, delimitados os procedimentos metodológicos e de aquisição de materiais (dados e software), e discutidos os resultados obtidos.

Além destas reuniões, a pesquisa foi desenvolvida diariamente - e presencialmente - no já mencionado Laboratório de pesquisa CENEHA, o qual dispunha de toda a infraestrutura necessária para a condução dos trabalhos (computadores, internet, salas para bolsistas pesquisadores, sala de reuniões e videoconferências, etc). Estas ocasiões foram de extrema importância durante o período de mobilidade, uma vez que representaram oportunidades efetivas de intercâmbio cultural e de conhecimento entre estudantes; incluindo a oportunidade de

compartilhar um pouco da experiência das pesquisas de Engenharia Urbana desenvolvidas na UFSCar, as quais, assim como as pesquisas desenvolvidas na FICH-UNL, possuem natureza interdisciplinar no contexto das Engenharias.

Ficaram estabelecidos como produtos principais da cooperação internacional (i) a elaboração de um relatório técnico-científico - para documentar a metodologia aplicada ao estudo de caso - e (ii) a participação em um evento científico internacional - para divulgar os resultados.

Durante o período de 2 meses da mobilidade foi possível submeter o resumo intitulado "*Modelación de flujo y transporte de sedimentos: evaluación del impacto de la erosión hídrica por lluvias en un asentamiento informal urbano en zona de pendiente (Neuquén - Argentina)*" à 30ª Jornada de Jóvenes Investigadores de la Asociación de Universidades Grupo Montevideo: *Investigación científica y tecnológica para un desarrollo sostenible*. Dois meses após o retorno da estudante o trabalho foi aceito e será apresentado no evento em outubro de 2023, sendo que o artigo completo está em fase de desenvolvimento desde então. O relatório técnico-científico mencionado também está em fase de desenvolvimento, com previsão de finalização para 2024.

Além das experiências de pesquisa descritas, a universidade anfitriã organizou diversas atividades com o objetivo de integrar os intercambistas da graduação e pós-graduação, como: (i) uma atividade intercultural de recepção, na qual os estudantes de casa país prepararam e compartilharam comidas típicas, além de apresentar canções e

danças representativas de seus países; (ii) uma visita guiada ao Museu Nacional da Constituição; (iii) um passeio guiado à um parque, onde foram apresentadas especiais da flora típicas nacional; (iv) uma atividade em kayak para conhecer os principais rios e afluentes da região; (v) uma visita guiada ao centro histórico da cidade com o objetivo de conhecer um pouco da história da cidade na qual estávamos vivendo; e (vi) além de passeios onde nos foram apresentadas comidas, músicas e danças típicas da região.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O compartilhamento dessa experiência por meio deste trabalho tem o objetivo principal de incentivar outros estudantes da pós-graduação da Engenharia Urbana e de outras áreas a participarem de projetos de internacionalização.

Convergente com os objetivos da mobilidade, as atividades desenvolvidas contribuíram no aumento da visibilidade internacional da pesquisa brasileira. Isso devido à elaboração de produtos voltados à divulgação dos resultados (evento científico e relatório). Além disso, viabilizou-se o aprendizado de um novo software a ser incorporado à tese atualmente em desenvolvimento no PPGEU, contribuindo para o avanço das técnicas de modelagem empregadas no âmbito da Engenharia Urbana.

Ressalta-se que foram essenciais para a realização da experiência o incentivo e apoio do PPGEU, do orientador no Brasil, da Secretaria Geral de Relações Internacionais, do orientador no exterior e da *Secretaría de Planeamiento Institucional e Internacionalización*.

De forma geral, a imersão cultural, científica e idiomática propiciada por meio da experiência descrita vem ao encontro dos desafios a serem superados no que tange o avanço do conhecimento e a formação de pesquisadores mais preparados pra contribuir com o progresso científico, tecnológico, econômico e social do Brasil.

### AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e da *Universidad Nacional del Litoral*, vinculada à Associação de Universidades Grupo Montevideu. Agradecimentos também à empresa Hydronia LCC, que contribuiu com as licenças do software HydroBID Flood, e à municipalidade de Neuquén (Argentina), pelo fornecimento dos dados utilizados na pesquisa.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUBADUÉ, R. de M.; CARNEVALE, F.; PAULA, C. C. de; PADOIN, S. M. de M.; NEVES, E. T. Participação em programa de intercâmbio internacional: contribuições da experiência de graduação-sanduíche em enfermagem. *Revista de Enfermagem da UFSM*, [S. l.], v. 3, n. 3, p. 555–562, 2013. DOI: 10.5902/217976927922

DALMOLIN, I. S. et al. Intercâmbio acadêmico cultural internacional: uma experiência de crescimento pessoal e científico. *Rev. Bras. Enferm.*, Brasília, v. 66, n.33, p. 442-447, 2013. DOI: 10.1590/S0034-71672013000300021

SOUZA JUNIOR, J. M. A internacionalização e a mobilidade na Educação Superior: o debate na América Latina. *Revista de Iniciação Científica da FFC*, v. 10, n.2, 2010. DOI: 10.36311/1415-8612.2010.v10n2.345

NOGUEIRA, M. A.; AGUIAR, A. M. S.; RAMOS, V. C. C. Fronteiras desafiadas: a internacionalização das experiências escolares. *Educação & Sociedade*, v.29, n. 103, p. 355-76, 2008. DOI: 10.1590/S0101-73302008000200004

PEREIRA, V. Relatos de uma viagem: uma análise feita pelos bolsistas sobre o Programa Ciência sem Fronteiras. *Revista Perspectivas do Desenvolvimento*, [S. l.], v. 3, n. 4, 2015. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/perspectivasdodesenvolvimento/article/view/14332>. Acesso em: 20 jul. 2023.

CUTTI, L.; RIGON, C. A. G.; DAMIAN, J. M.; TROMBETA, H. W.; FIGUEREDO, O. A. T. Programa Ciência sem Fronteiras: Relato de experiências. *Revista Eletrônica de Educação*, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 1020–1033, 2017. DOI: 10.14244/198271991897

FERREIRA, I.G.; CARREIRA, L. B.; BOTELHO, N. M. Mobilidade internacional na graduação em medicina: relato de experiência. *ABCS Health Sci.*, v. 42, n. 2, p. 115-119, 2017. DOI: 10.7322/abcshs.v42i2.1013

FOLHA DE S. PAULO. RUF 2019: *Ranking Universitário Folha*. 2019. Disponível em: <https://ruf.folha.uol.com.br/2019/ranking-de-universidades/principal/>. Acesso em: 20 jul. 2023.

- PPGEU. *Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana*. 2023. Disponível em: <https://www.ppgeu.ufscar.br/pt-br>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- MEC (Brasil). *Indicadores de Qualidade da Educação Superior: IGC 2021*. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/acesso-a-informacao/dados-abertos/indicadores-educacionais/indicadores-de-qualidade-da-educacao-superior>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- UFSCAR. *Universidade Federal de São Carlos: Apresentação*. 2018. Disponível em: <https://www.ufscar.br/a-ufscar/apresentacao>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- CAPES (Brasil). Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior: Plataforma Sucupira: PPGEU. 2022. Disponível em: [https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/programa/viewPrograma.jsf?popup=true&cd\\_programa=33001014015P0](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/programa/viewPrograma.jsf?popup=true&cd_programa=33001014015P0). Acesso em: 20 jul. 2023.
- UNL. *Universidad Nacional del Litoral: Institucional*. 2023. Disponível em: <https://www.unl.edu.ar/institucional/historia-de-la-universidad-nacional-del-litoral/#1636035570601-30730f7c-4a8b>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- FICH. *Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas: Posgrado*. 2023a. Disponível em: <https://www.fich.unl.edu.ar/estudios/categorias/posgrado-carreras-unl/>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- FICH. *Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas: Centros y grupos*. 2023b. Disponível em: <https://www.fich.unl.edu.ar/investigacion/categorias/centros-y-grupos/>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- SRINTER. *Secretaria Geral de Relações Internacionais: Mobilidade Outgoing AUGM*. 2023. Disponível em: <https://www.srinter.ufscar.br/pt-br/mobilidade-academica/outgoing/augm>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- GAUTHIER, N. B.; FREITAS, M. C. de. Programa Ciência sem Fronteiras: um relato de experiência por estudantes de Engenharia de Pesca. *Revista Eletrônica de Educação*, [S. l.], v. 14, p. e3633105, 2020. DOI: 10.14244/198271993633.
- CORREIA-LIMA, M.; RIEGEL, V. Mobilidade acadêmica made in SOUTH: refletindo sobre as motivações de estudantes brasileiros e colombianos. *Magis, Revista Internacional de Investigación en Educación*, [S. l.], v. 8, n. 16, p. 109-132, 2015. DOI: 10.11144/Javeriana.m8-16.mams

# GEODIVERSIDADE FUNCIONAL E OS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEOS DE MERIDIANO – SP

*Functional geodiversity and surface and subsurface water resources in Meridiano – SP*

**XAVIER, R. L.; MENEZES, D. B.**

## Renata Lucon Xavier

Mestre em Engenharia Urbana pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, da Universidade Federal de São Carlos – PPGEU/UFSCar  
[orcid: 0000-0001-8846-8772](https://orcid.org/0000-0001-8846-8772)  
[renataluconxavier@gmail.com](mailto:renataluconxavier@gmail.com)

## Orientadora

### Denise Balestrero

### Menezes

Profa. Dra. do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, da Universidade Federal de São Carlos – PPGEU/UFSCar  
[orcid: 0000-0003-2962-3028](https://orcid.org/0000-0003-2962-3028)  
[denisebm@ufscar.br](mailto:denisebm@ufscar.br)

## Resumo

Com a crescente demanda por abastecimento de água e saneamento, é crucial adotar planos de gerenciamento para conservar a qualidade e quantidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo mapear e quantificar a geodiversidade funcional do município de Meridiano, identificando fragilidades ambientais, como processos erosivos, nascentes secas e cursos d'água degradados, e potencialidades, como áreas propícias à recarga de aquíferos, a fim de subsidiar a gestão local dos recursos hídricos. Foram utilizadas diversas fontes de informações, complementadas por visitas de campo e integradas por meio do software QGis. O índice de geodiversidade (IG) foi calculado a partir da sobreposição de uma grade de 500 m x 500 m nos mapas temáticos (densidade de drenagem, geologia, pedologia e geomorfologia), contabilizando os elementos em cada célula. O IG variou de 3 a 11, sendo as áreas de alta classificação e os hotspots mais concentrados na Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados, devido à maior diversidade de rochas, solos, relevos e cursos d'água principais. Por sua vez, a Bacia Hidrográfica Turvo/Grande, com menor densidade de drenagem, apresentou maior capacidade de infiltração, favorecendo a recarga de aquíferos e a disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos. As formações geológicas locais são predominantemente compostas por arenitos altamente permeáveis e porosos, contribuindo para a formação de solos com textura arenosa, também permeáveis, que auxiliam na manutenção dos aquíferos, bem como na sobrevivência dos rios e córregos durante períodos de estiagem. A sobreposição do mapa de uso e ocupação do solo com o mapa de geodiversidade revelou que áreas de cultivo de citrus e cana-de-açúcar estão próximas de muitas nascentes, indicando que práticas agrícolas não sustentáveis podem contaminar e reduzir a disponibilidade dessas águas superficiais, devido ao manejo inadequado do solo e ao uso de produtos químicos, representando um risco também para as águas subterrâneas. A metodologia adotada nesta pesquisa foi eficiente para identificar as fragilidades e potencialidades da geodiversidade funcional em relação aos recursos hídricos, e o mapeamento integrado das informações revelou-se crucial para uma análise abrangente. Os resultados deste estudo têm potencial contribuição para a temática da geodiversidade, especialmente no contexto da geodiversidade funcional, que é menos explorada em pesquisas. A classificação dos IGs oferece subsídios para a implementação de medidas de manejo ecossistêmico, sobretudo para os recursos hídricos.

**Palavras-chave:** Planejamento; Conservação; Características Geoambientais.

## ABSTRACT

With the growing demand for water supply and sanitation, it is crucial to adopt management plans to conserve the quality and quantity of surface and groundwater resources. In this context, this study aimed to map and quantify the functional geodiversity of Meridiano municipality, identifying environmental vulnerabilities such as erosive processes, dry springs, and degraded watercourses, as well as potential areas for aquifer recharge, to support local water resource management. Multiple sources of information were used, supplemented with field visits and integrated using QGis software. The geodiversity index (GI) was calculated by overlaying a 500 m x 500 m grid on thematic maps (drainage density, geology, pedology, and geomorphology) and tallying the elements in each cell. The GI ranged from 3 to 11, with high ranking areas and hotspots concentrated in the São José dos Dourados River Basin due to greater diversity in rocks, soils, landforms, and major watercourses. Conversely, the Turvo/Grande River Basin,

Data da Defesa:  
27abril2023

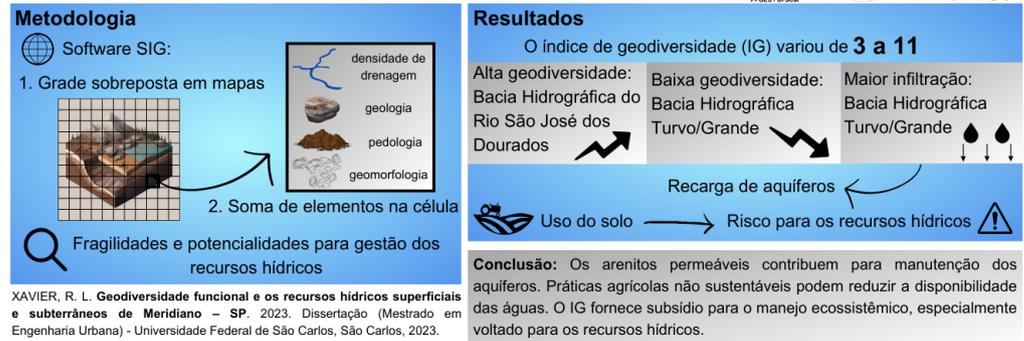
Data da Publicação:  
19fevereiro2024



with lower drainage density, exhibited higher infiltration capacity, favoring aquifer recharge and availability of groundwater resources. Local geological formations consist predominantly of highly permeable and porous sandstones, contributing to the formation of permeable sandy soils, which help maintain aquifers and sustain rivers and streams during dry periods. Overlaying the land use and occupancy map with the geodiversity map revealed that citrus and sugarcane cultivation areas are in close proximity to numerous springs, indicating that unsustainable agricultural practices can contaminate and reduce the availability of these surface waters due to improper soil management and chemical use, posing a risk to groundwater as well. The methodology employed in this research proved effective in identifying the vulnerabilities and potentials of functional geodiversity concerning water resources, while the integrated mapping of information proved crucial for a comprehensive analysis. The results of this study have the potential to contribute to the field of geodiversity, particularly within the context of functional geodiversity, which is less explored in research. The classification of GIS provides valuable insights for the implementation of ecosystem management measures, especially in relation to water resources. Keywords: planning; conservation; GIS; geoenvironmental features; mapping.

**Keywords:** Planning, Conservation, Geoenvironmental Features.

## GEODIVERSIDADE FUNCIONAL E OS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEOS DE MERIDIANO – SP



### COMO CITAR:

XAVIER, Renata Lucon. Geodiversidade funcional e os recursos hídricos superficiais e subterrâneos de Meridiano – SP. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/18070>.

## **Avaliadores**

Prof. Dr. Anderson Manzoli  
Profª Drª Denise Balestrero Menezes  
Prof. Dr. Edson Salerno Junior  
Profª Drª Elza Luli Miyasaka  
Profª Drª Geovanna Geloni Parra  
Profª Drª Juliana Cardoso Esteves  
Profª Drª Katia Sakihama Ventura  
Profª Drª Regina Marcia Longo  
Prof. Dr. Romel Dias Vanderlei  
Profª Drª Rose Elaine Borges de Melo  
Profª Drª Thais Guerreiro

## Comissão Editorial

### **Saneamento:**

Prof. Dr. Ademir Paceli Barbassa  
Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira  
Profª Drª Cali Laguna Achon  
Prof. Dr. Daniel Jadyr Leite Costa  
Prof. Dr. Erich Kellner  
Profª Drª Katia Sakihama Ventura

### **Urbanismo:**

Profª Drª Carolina Maria Pozzi de Castro  
Profª Drª Cristiane Bueno  
Profª Dra Elza Luli Miyasaka  
Prof. Dr. Érico Masiero  
Profª Drª Luciana Márcia Gonçalves  
Prof. Dr. Luiz Antonio Nigro Falcoski  
Prof. Dr. Ricardo Augusto Souza Fernandes

### **Geotecnia e Geoprocessamento:**

Profª Drª Denise Balestrero Menezes  
Prof. Dr. Edson Augusto Melanda  
Prof. Dr. Fábio Noel Stanganini  
Prof. Dr. José Augusto de Lollo  
Profª Drª Marcilene Dantas Ferreira

### **Transportes:**

Prof. Dr. Archimedes Azevedo Raia Junior  
Prof. Dr. Marcos Antonio Garcia Ferreira  
Profª Drª Rochele Amorim Ribeiro  
Profª Drª Suely da Penha Sanches  
Profª Drª Thais de Cassia Martinelli Guerreiro