

ANAIS

X SIMPÓSIO DE PESQUISAS EM
SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA URBANA

● 23/09 - 24/09/2024

ORGANIZAÇÃO



**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Simpósio de Pesquisas em Sistemas de
Infraestrutura Urbana (10. : 2024 : Campinas, SP)
Anais : X Simpósio de Pesquisas em Sistemas de
Infraestrutura Urbana [livro eletrônico] /
organização Ana Elisabete Jacinto, Luis Gustavo
Lucatelli, Érico Masiero. -- São Carlos, SP : Luis
Gustavo Lucatelli, 2024.

PDF

Vários autores.

Bibliografia.

ISBN 978-65-01-17737-3

1. Infraestrutura urbana I. Jacinto, Ana
Elisabete. II. Lucatelli, Luis Gustavo. III. Masiero,
Érico. IV. Título.

24-231198

CDD-620

Índices para catálogo sistemático:

1. Engenharia 620

Eliete Marques da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9380

FICHA TÉCNICA

DIAGRAMAÇÃO: LUIS GUSTAVO LUCATELLI

ARTE CAPA: LUIS GUSTAVO LUCATELLI

Coordenação Geral:

Profa. Dra. Ana Elisabete P. G. de A. Jacintho (PUC-Campinas)

Profa. Dra. Renata Kelly Mendes Valente (PUC-Campinas)

Prof. Dr. Hidelbrando José Farkat Diógenes (UFPB)

Prof. Dr. Gilvan Bezerra dos Santos Júnior(UFERSA)

Prof. Dr. Leandro Mouta Trautwein(UNICAMP)

Coordenação Científica:

Prof Dr Érico Masiero (UFSCar)

Prof. Dr. Ademar Takeo (PUC-Campinas)

Profa. Dra. Adriana Goulart dos Santos (UDESC)

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DAS CIDADES

O “X Simpósio de Pesquisa em Sistemas de Infraestrutura Urbana, promovido pela PUC-Campinas, em parceria com a UFSCar, UDESC, UFPB e UFERSA e UNICAMP, é um evento de destaque que visa ampliar o debate a respeito das pesquisas desenvolvidas no Brasil relacionadas à infraestrutura urbana e sua relação com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável em um contexto de Mudanças Climáticas. O simpósio contou também com o apoio da Fundação Agência da Bacia do Alto Tietê. Esta colaboração entre universidades e entidades de apoio reforça a relevância e o impacto social e científico das discussões realizadas durante o evento.

O fenômeno da urbanização, que se refere ao processo de crescimento e expansão das áreas urbanas em resposta à crescente concentração de populações em centros urbanos, está profundamente ligado ao aumento exponencial da população mundial. À medida que mais pessoas se deslocam para as cidades, buscando melhores oportunidades econômicas, educativas e de qualidade de vida, as cidades estão se expandindo para além de seus limites originais, acrescentando novos bairros e áreas metropolitanas.

Este crescimento populacional acelerado tem desafiado as infraestruturas urbanas existentes e exigido uma reavaliação constante das estratégias de planejamento e desenvolvimento urbano. Os desafios associados a esse crescimento incluem a pressão sobre os serviços públicos, como transporte,

saúde e educação, e a necessidade de integração de novos sistemas para garantir a qualidade de vida dos residentes.

A organização do evento procurou concentrar a produção científica nacional em seis eixos temáticos para discutir as principais questões que envolvem nossa sociedade, sobretudo com o intuito de contribuir com a gestão pública e o planejamento urbanos, ou seja:

Ação Contra A Mudança Global do Clima (Ods13)

Água Potável e Saneamento (Ods 6)

Cidades e Comunidades Sustentáveis (Ods11)

Consumo e Produção Responsáveis (Ods12)

Energia Limpa e Acessível (Ods 7)

Indústria, Inovações e Infraestrutura (Ods 9)

Dessa maneira, os desafios enfrentados são vastos e complexos. Assegurar que as cidades sejam seguras e acessíveis implica em garantir não apenas a segurança física dos cidadãos, mas também a inclusão de todos os grupos sociais nas oportunidades oferecidas pela infraestrutura urbana. Isso inclui desenvolver políticas e estratégias para reduzir a criminalidade, melhorar a infraestrutura de transporte, e assegurar que todos os cidadãos tenham acesso a serviços essenciais, sobretudo em ambientes seguros e climaticamente responsivos.

Universalizar o tratamento de esgoto é um objetivo crucial para a preservação da saúde pública e para a proteção dos recursos hídricos. O acesso a sistemas de saneamento adequados é fundamental para prevenir doenças e melhorar a

qualidade de vida nas áreas urbanas. Desenvolver sistemas de mobilidade multimodais é igualmente vital para garantir a eficiência do transporte urbano. À medida que as cidades se tornam cada vez mais densas e povoadas, é necessário implementar soluções que integrem diferentes modos de transporte – como ônibus, trens, bicicletas e pedestres – de forma a otimizar o fluxo e reduzir congestionamentos.

Propor soluções eficazes frente às mudanças climáticas envolve identificar e implementar estratégias que ajudem a mitigar os impactos adversos do aquecimento global. Isso pode incluir iniciativas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, promover o uso de energias renováveis, e adotar práticas de construção sustentável.

Esses desafios são questões que se manifestam no cotidiano das cidades e que exigem uma cooperação robusta entre administradores, que gerenciam e implementam políticas públicas, e instituições acadêmicas, que realizam pesquisas e oferecem conhecimentos técnicos e científicos. A integração entre gestores e pesquisadores é essencial para a busca de soluções sustentáveis que possam enfrentar os problemas urbanos de forma eficaz e perene.

Portanto, o X SPINFRA 2024 buscou examinar essas questões com o intuito de contribuir significativamente para este importante diálogo e para o desenvolvimento contínuo do conhecimento sobre infraestrutura urbana. O evento visa fomentar a troca de experiências, a discussão de novas abordagens e a formulação de estratégias que ajudem a enfrentar os desafios urbanos contemporâneos de forma inovadora e eficaz.

Cada um dos trabalhos apresentados nos tópicos refletem a complexidade das questões tratadas no simpósio, oferecendo uma visão abrangente dos desafios e das oportunidades na pesquisa sobre infraestrutura urbana. A troca de conhecimentos e a colaboração entre pesquisadores e profissionais são fundamentais para o avanço das soluções inovadoras e sustentáveis que contribuirão para o desenvolvimento de cidades mais adaptáveis e resilientes.

Prof. Dr. Érico Masiero

Profa. Dra. Ana Elisabete Jacintho

Setembro 2024.

Sumário

Comparação dos níveis de CO2 entre áreas no interior e na borda da mata de Santa Genebra – Campinas/SP	10
Estudo Paramétrico de Corpo de Prova Prismático em UHPC Submetido a Flexão ...	16
Energia Solar como Alternativa aos Combustíveis Fósseis em Áreas Urbanas: uma Análise Bibliométrica.....	24
Sensibilidade de parâmetros hidrológicos em estudos de manejo de águas pluviais em microbacias urbanas.....	30
Tecnologias e estratégias para redução de emissões CO2 utilizando concreto sustentável	37
Rua Completa: proposta de intervenção viária em Joinville/SC	45
As soluções baseadas na natureza com o enfoque na infraestrutura verde.....	52
Compósitos cimentícios com propriedades elétricas (CCPE) aplicados à infraestrutura urbana: uma breve revisão	58
Tendências e Perspectivas sobre Dengue: uma Análise Bibliométrica	66
Desenvolvimento de um sensor eletroquímico para detecção de antibióticos em águas naturais.....	73
Uma análise bibliométrica das dissertações do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana	80
Análise do comportamento mecânico e hidráulico de concreto permeável produzido com agregados reciclados	87
Sistema de controle de temperatura em biodigestor anaeróbio e analisador de gases de baixo custo.....	95
Argamassa autonivelante geopolimérica a partir da ativação alcalina do metacaulim	101
Estudo bibliométrico sobre utilização de termografia infravermelha para análise de patologia em revestimento cerâmico.....	105
Produção de concretos permeável utilizando agregados reciclados	112
Serviços ecossistêmicos e pagamentos por serviços ambientais: Uma análise bibliométrica entre 2002 e abril de 2024 na base de Dados Elsevier (Scopus).	118
Blocos de concreto produzidos com agregados reciclados	125
Microplásticos: Uma revisão do estado da arte.....	134
Influência de parâmetros termofísicos em climas quentes e úmidos.....	138
Sustentabilidade do uso do UHPC e a visibilidade da sua microestrutura.....	144
Barreiras de segurança viária	153



COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS DE CO₂ ENTRE ÁREAS NO INTERIOR E NA BORDA DA MATA DE SANTA GENEVRA – CAMPINAS/SP

Mauricio Solera Rodrigues da Silva¹, Regina Márcia Longo¹, Julia Ribeiro Gomes³, Gustavo Alcântara Silva Campana⁴, Gabriela Trídico Amaral⁵

1. Mestrando em Sistema de Infraestrutura Urbana – PUC-Campinas, msolera@puc-campinas.edu.br
2. Profa. Dra. - Programa de pós-graduação em Sistema de Infraestrutura Urbana – PUC-Campinas, regina.longo@puc-campinas.edu.br
3. Graduanda em Ciências Biológicas – PUC-Campinas, julia.rg@puccampinas.edu.br
4. Graduando em Ciências Biológicas – PUC-Campinas, gustavo.asc@puccampinas.edu.br
5. Graduanda em Ciências Biológicas – PUC-Campinas, gabriela.ta2@puccampinas.edu.br

Resumo: Nos últimos 60 milhões de anos, houve períodos com concentrações de CO₂ mais altas que atuais, mas entre 1900 e 2019 o aumento de CO₂ foi dez vezes mais rápido que em qualquer outro momento atingindo níveis superiores a 409,9 ppm. A queima de combustíveis fósseis representa entre 81% e 91% das emissões de CO₂ de origem antropogênica. Em áreas urbanas há elevada emissões de CO₂, a atividade humana, como o desmatamento e processos industriais, intensificam essas emissões de CO₂ que aumentam o efeito estufa e o aquecimento global. No Brasil no ano de 2021 houve um aumento de 12,2% nas emissões de CO₂ devido principalmente ao desmatamento. Áreas verdes densas em grandes centros urbanos ajudam a absorver grande parte dessas emissões de CO₂. Realizou-se um estudo nas ARIE Mata de Santa Genevra em Campinas – SP, onde sensores foram instalados para efetuar a leitura de CO₂ na estação de verão com o objetivo de analisar os teores de CO₂ no interior e na borda da mata, os valores máximos foram de 767,25 e 668,43 ppm na borda da mata e no interior da mata respectivamente. As análises dos resultados mostram a importância das áreas verdes para a absorção de CO₂ auxiliando para a mitigação das mudanças climáticas locais.

Palavras-chave: áreas verdes, concentrações de CO₂, mudanças climáticas

1. Introdução

Nos últimos 60 milhões de anos, ocorreram períodos em que as concentrações de CO₂ foram significativamente mais altas que as atuais, porém diversas evidências indicam que a taxa de aumento de CO₂ na atmosfera entre 1900 e 2019 foi pelo menos dez vezes mais rápida que em qualquer outro momento nos últimos 800 mil anos com o CO₂ atingindo 409,9 ppm. Das emissões de CO₂ causadas pelo homem, a queima de combustíveis fósseis representa entre 81% e 91% (Ganadell et al., 2023).

Segundo as definições e conceitos, o clima da terra é controlado pela corrente de energia solar que atravessa a atmosfera em forma de luz visível e raios ultravioletas, (parte dessa energia é devolvida em forma de radiação

infravermelha). Os Gases de Efeito Estufa (GEE) estão naturalmente presentes na atmosfera como é o caso do CO₂, CH₄, N₂O e o O₃ (Ozônio) são capazes de absorver uma parte dessa radiação infravermelha e são responsáveis pela manutenção da vida terrestre, sem eles, a temperatura média da terra seria em torno de 30° mais baixa (Assad et al., 2019).

Em áreas urbanas é comum a emissão elevada de Dióxido de Carbono (CO₂), contudo pesquisas que analisaram a flutuação temporal e espacial das concentrações e fluxos de CO₂ na atmosfera indicaram que áreas verdes densas desempenham um papel de sumidouros desde gás dentro dos centros urbanos (Hong et al., 2024; Weissert et al., 2014). Cabe destacar que diversos fatores vêm alterando as concentrações de CO₂ na atmosfera, aumentando sua concentração e assim, alterando o processo natural do efeito estufa, intensificando, diversas consequências como por exemplo o aquecimento global (Castellano et al., 2017).

A emissão do dióxido de carbono é intensificada por fatores que estão relacionados as atividades humanas, como por exemplo: o desmatamento, as atividades indústrias, a produção e disposição de resíduos, a geração e consumo de energia, as atividades agropecuárias, dentre outras. No ano de 2021 ocorreu um aumento de 12,2% nas emissões de CO₂ no Brasil, sendo o uso e ocupação do solo foi o setor que mais contribuiu (18,5%) para esse aumento devido ao desmatamento (Potenza et al., 2023).

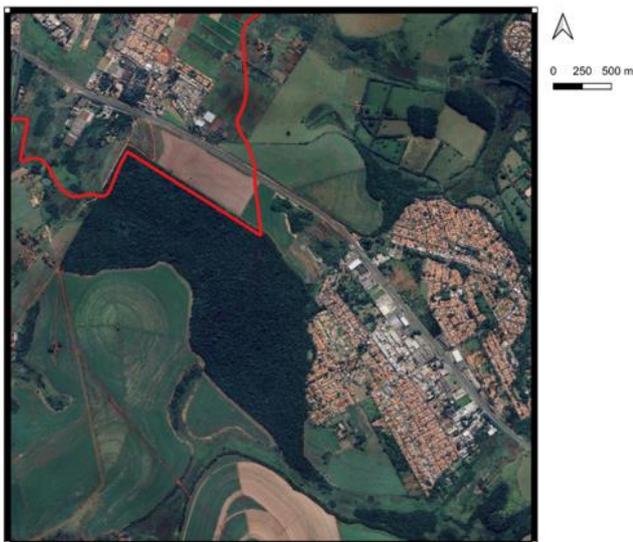
As mudanças climáticas estão alterando os padrões de precipitações bem como a intensidade, quantidade e frequência de eventos climáticos extremos (X. Huang et al., 2020). Essas mudanças na precipitação podem afetar diretamente a capacidade de armazenamento de carbono nas florestas, o que terá implicações globais, uma vez que as florestas desempenham um papel fundamental na absorção do CO₂ de origem antropogênica (Xu et al., 2024).

No caminho contrário, entre 2000 e 2018, a Mata Atlântica colaborou com 14% das remoções totais desses gases, incluindo o CO₂. Esse processo foi influenciado, principalmente, pela regeneração da vegetação secundária que contribui com o aumento da fixação de CO₂ (Pinto et al., 2021). Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi analisar os teores de CO₂ em área de mata no interior e na borda em horários diferentes ao longo do dia.

2. Metodologia

A ARIE Mata de Santa Genebra (**figura 1**) e o maior fragmento florestal de Campinas/SP com 251,7 há, com 85% de floresta estacional semidecídua e 15% de floresta hidrófila ou floresta do brejo, como clima Cwa pela classificação de Köppen com verão quente e inverno seco (Brasil, 2021).

Figura 1 - ARIE Mata de Santa Genebra - Campinas/SP



Para permitir um conhecimento dos eventos naturais e antropogênicos que afetam o ambiente, uma metodologia correta e essencial para garantir a confiabilidades dos resultados. Desta forma, para o presente estudo, foram instalados sensores de CO₂, em dois locais distintos na Mata de Santa Genebra: (ponto1) Interior da mata localizado a 10 metros para dentro (**figura 2A**), com uma vegetação densa e diversificada, solo coberto com serrapilheira e sombras fornecidas pelo dossel da mata e (ponto 2) borda da mata (**figura 2B**), área de interação entre a mata e atividades de plantio da fazenda ao redor.

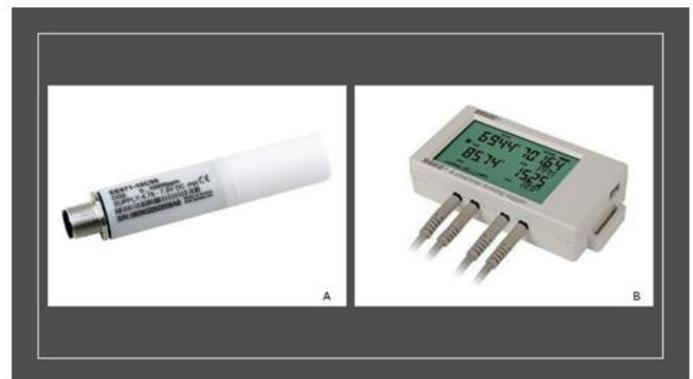
Para os dois pontos foram instalados dois sensores de CO₂ (**Figura 3**) em conjunto com um DataLogger para registro

Figura 2 - Localização dos pontos de leitura dos dados, (A) interior da mata e (B) borda da mata



dos dados coletas a uma altura de 2 metros em relação ao solo com período de exposição no verão de 15 dias entre os dias 09/03/2024 a 24/03/2024 e tempo de leitura a cada 30 minutos para capturar as variações ao longo dos dias.

Figure 3 - Sonda de CO₂ (A) e DataLogger (B) para armazenamento



A coleta de dados estatísticos tem aumentado significativamente em diversas áreas de pesquisa. Contudo, uma extensa lista de dados coletados não permite conclusões claras, especialmente grandes conjuntos de dados. A análise descritiva é a fase inicial do estudo desses dados. Ela utiliza métodos de estatísticas descritiva para organizar, resumir e descrever aspectos importantes de um conjunto de características observadas ou para comparar essas características entre diferentes conjuntos, incluindo gráficos, tabelas, medidas de tendência central (média, mediana e moda), medidas de dispersão (desvio padrão, variância, amplitude interquartil), máximos e mínimos e diferenças entre elas (Reis & Reis, 2002).



Utilizou-se o método de análise de variância, conhecido como ANOVA (**AN**alysis **Of** **V**ariance), para comparar três ou mais médias. O teste anova trabalha com a hipótese nula (H_0) ou seja não existe variação entre as médias, neste caso aplicamos outros testes para a comparação com uma significância de 5% a hipótese alternativa (H_a), ou seja, existe variação entre as médias (G. Huang & Paes, 2009).

Após a análise de variância foi aplicado o Teste de Tukey que serve como complemento do teste de variância, que é um teste de comparação das médias, sendo uns dos testes mais utilizados, por ser bem rigoroso e de fácil aplicação é utilizado com a análise de variâncias for significativo (H_a), foi adotado um grau de significância (α) de 0,05. O teste é baseado na DMS (Diferença Mínima Significativa) (Oliveira, 2008).

Para os cálculos das médias diurnas e noturnas ficou estabelecido os seguintes horários diurnos entre 6:00 e 18:00h e noturno das 18:00 às 6:00h.

Para análise de correlações foi usado o coeficiente de Pearson que é uma correlação linear entre duas variáveis quantitativas. O Coeficiente de Pearson (r) pode assumir valores entre -1 e +1. O coeficiente quantifica a intensidade e a direção linear a intensidade reflete o grau de associação entre as variáveis, quanto mais próximas dos extremos (-1 e +1) mais forte e a correlação, valores próximos ao zero indica que a correlação é fraca. Já a direção refere-se ao tipo de correlação, uma correlação positiva ($r > 0$) indica que valores altos de uma variável corresponde a valores altos para a outra variável, por outro lado a correlação negativa ($r < 0$) indica que valores altos para uma variável implica em valores baixos para a outra (Filho et al., 2014).

3. Resultados

Na **tabela 1** foi apresentado um resumo da análise descritiva como média, mediana, desvio padrão, máximos e mínimos para os dois pontos de coleta na Mata de Santa Genebra analisados durante o período de 08/03 a 25/03/2024.

Em relação ao dióxido de carbono (CO_2) foram realizadas as leituras dentro e na borda da mata. As médias entre as duas áreas apresentaram variância significativa. Nos dados registrados durante o período noturno a máxima e a mínima concentração foram na borda mata com $718,70 \pm 51,35$ ppm e $446,73 \pm 51,35$ ppm respectivamente, o mesmo

aconteceu com os dados registrados no período diurno com máximas e mínimos na borda da mata com $767,24 \pm 54,96$ ppm e $424,67 \pm 54,96$ ppm respectivamente. Observa-se que a borda da mata foi área que teve a maior diferença entre o máximo e o mínimo em todos os períodos com $342,57$ ppm no período diurno.

Outro fator que merece ser destacado foram os horários que ocorreram as máximas nos dois pontos de coleta, ambas ocorreram nas primeiras horas da manhã, corroborando com trabalho de realizado na cidade de São Paulo por Stoco (2022) realizadas em dois pontos bem distintos.

Os valores de temperaturas e umidade adequadas e uma boa condições de vento facilitam a entrada de gases nas folhas das plantas e assim aumentando seu metabolismo, sendo o CO_2 a matéria-prima para a fotossíntese vegetal. Ao melhorar o clima de espaços locais verdes isso acelera a absorção e reciclagem de carbono dentro desses espaços e liberando oxigênio (Jiang et al., 2023).

Em um estudo realizado na área do Ruio Iguaju na região Sul do Brasil, mas precisamente no Estado do Paraná entre os anos de 2000 e 2015 foi observado um aumento de 14,96% em carbono, sugerindo assim que essa região está contribuindo de maneira positiva para a remoção de dióxido de carbono na atmosfera, isso se deve ao fato a exigência que o governo fez para o cumprimento de um decreto para preservação e aumento das áreas de florestas nativas (Machado et al., 2019).

Arévalo Gómez; Alcántara Boza (2021) em um trabalho com parques urbanos de Lima Norte - Peru, mostrou que áreas com maior porcentagem de árvores como o caso dos Parques Pachacútec e Los Incas que tem respectivamente 70% e 62% da área total coberta por árvores foram áreas onde obtiveram os maiores valores de concentração de CO_2 , $0,774Kg CO_2/m^2$ -ano e $0,671Kg CO_2/m^2$ -ano respectivamente.

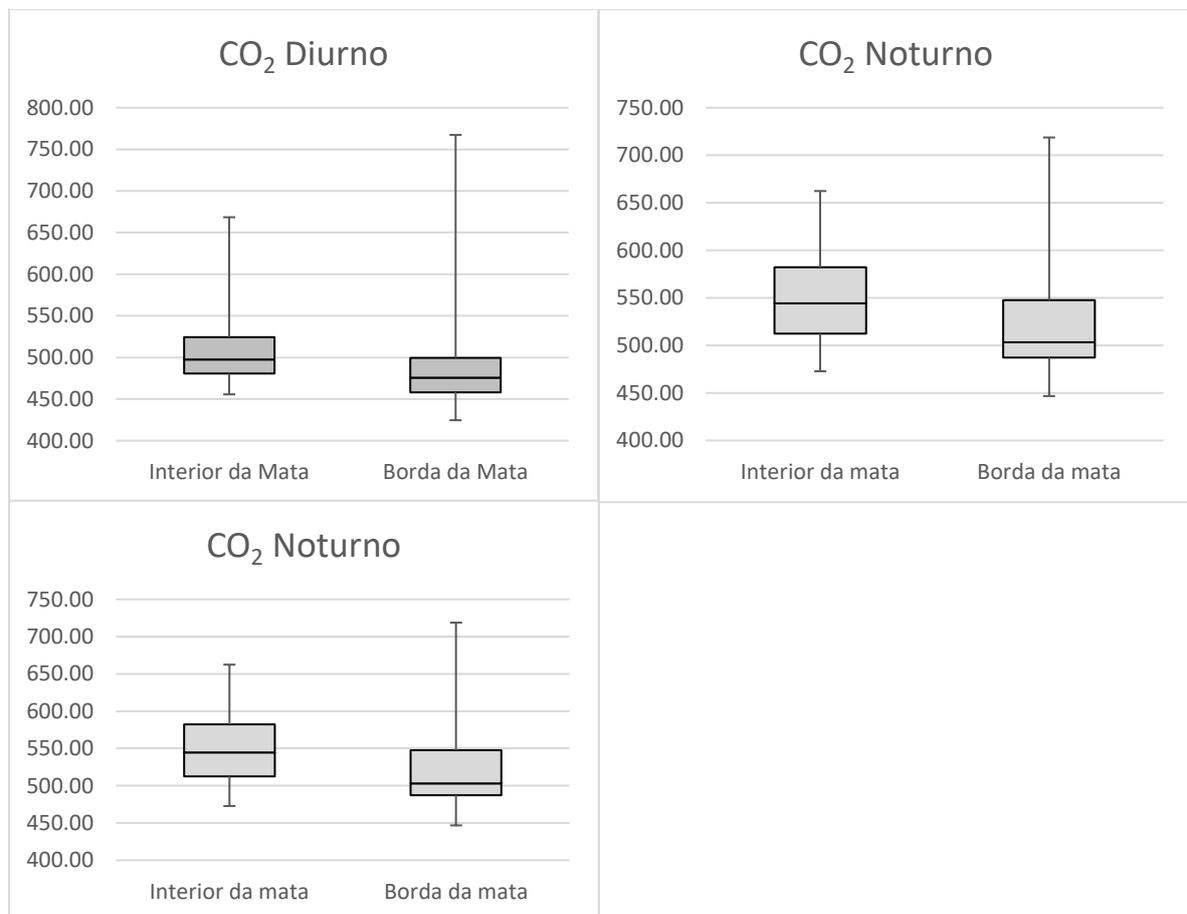
A **figura 4** apresenta os gráficos com a médias de CO_2 em diferentes períodos, com destaque para o gráfico A que apresenta as variações do período da manhã e com destaque que a borda da mata teve a sua maior concentração.



Tabela 1 - Estatística descritiva CO₂ (PPM) dos dados de verão da Mata de Santa Genebra

	Local	N	Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Horário	Mínimo	Horário	
CO ₂ (PPM)	NOTURNO	Interior da mata	385	550,01	44,61	544,43	662,34	02:00	472,78	19:30
		Borda da mata	385	552,49	51,35	503,15	718,70	03:04	446,73	18:04
	DIURNO	Interior da mata	384	512,70	47,32	497,76	668,43	07:30	455,71	14:00
		Borda da mata	384	488,27	53,09	475,84	767,27	06:34	424,67	13:04
	DIÁRIO	Interior da mata	768	531,36	49,63	517,73	668,43	07:30	455,71	14:00
		Borda da mata	768	505,40	54,96	491,03	767,24	06:34	424,67	13:04

Figure 1 - BoxPlot da variação das médias Dióxido de carbono (CO₂) no verão (08/03/20024 a 25/03/2024) nos diferentes períodos





4. Considerações Finais

A análise dos resultados obtidos permitiu destacar a importância das áreas verdes nas cidades, refletindo a importância desses ambientes na absorção do CO₂ atmosférico, auxiliando na mitigação os efeitos climáticos causado pelo CO₂ e assim melhorando as condições climáticas locais.

5. Agradecimentos

A CAPES pelo bolsa de Mestrado (modalidade 2) que proporcionou este estudo, a FAPESP pelo apoio Financeiro, a Fundação José Pedro de Oliveira e a PUC-Campinas pela infraestrutura e apoio logístico.

6. Referências

- Arévalo Gómez, W. A., & Alcántara Boza, F. A. (2021). Cobertura arbórea y captura de dióxido de carbono en los parques urbanos. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 24(47), 13–18. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i47.20638>
- Assad, E. D., Martins, S.C., Cordeiro, L. A. M., & Evangelista, B. A. (2019). Sequesters de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados. In D. J. Bungenstab, R. G. Almeida, V. A. Laura, L. C. Balbino, & A. D. Ferreira (Eds.), *ILPF - Inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta* (pp. 1–840). EMBRAPA.
- Brasil. (2021). *Plano de Manejo ARIE Mata de Santa Genebra* (pp. 1–181). https://www.fjposantagenebra.sp.gov.br/uploads/files/2021/pm/Plano_de_Manejo_8884948_arie_mata_de_santa_genebra_maio_2021.pdf
- Filho, D. B. F., Rocha, E. C., Silva Júnior, J. A., Paranhos, R., Neves, J. A. B., & Silva, M. B. (2014). Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson: O retorno. *Leviathan - Cadernos de Pesquisa Política*, 8, 66–95.
- Ganadell, J. G., Monteiro, P. M. S., Costa, M. H., Cunha, L. C., Cox, P. M., Eliseev, A. V., Henson, S., Ishii, M., Jaccard, S., Koven, C., Lohila, A., Patra, P. K., Piao, S., Rogelj, J., Syampungani, S., Zaehle, S., & Zickfeld, K. (2023). Global Carbon and Other Biogeochemical Cycles and Feedbacks. In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, J. B. R. Matthews, S. Berger, M. Huang, O. Yelekçi, R. Yu, B. Zhou, E. Lonnoy, T. K. Maycock, T. Waterfield, K. Leitzell, & N. Caud (Eds.), *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis* (pp. 673–816). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.007>
- Hong, W., Ren, Z., Guo, Y., Wang, C., Cao, F., Zhang, P., Hong, S., & Ma, Z. (2024). Spatiotemporal changes in urban forest carbon sequestration capacity and its potential drivers in an urban agglomeration: Implications for urban CO₂ emission mitigation under China's rapid urbanization. *Ecological Indicators*, 159, 111601. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111601>
- Huang, G., & Paes, A. G. (2009). Posso usar o teste t de Student quando preciso comparar três ou mais grupos? *Por Dentro Da Estatística. Einstein: Educ.Cont. Saude*, 7, 107–108.
- Huang, X., Swain, D. L., & Hall, A. D. (2020). Future precipitation increase from very high resolution ensemble downscaling of extreme atmospheric river storms in California. *Science Advances*, 6(29). <https://doi.org/10.1126/sciadv.aba1323>
- Jiang, Y., Sun, Y., Liu, Y., & Li, X. (2023). Exploring the correlation between waterbodies, green space morphology, and carbon dioxide concentration distributions in an urban waterfront green space: A simulation study based on the carbon cycle. *Sustainable Cities and Society*, 98, 104831. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104831>
- Machado, A., Martins, A. P. M., Sanquetta, C. R., Dalla Corte, A. P., Wojciechowski, J., Machado, S. D. A., Santos, R., & Landim, I. A. de M. (2019). DINÂMICA DO VOLUME, BIOMASSA E CARBONO NA MATA ATLÂNTICA POR FERRAMENTA DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS. *Nativa*, 7(4), 437. <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i4.6935>
- Oliveira, A. F. G. (2008). TESTES ESTATÍSTICOS PARA COMPARAÇÃO DE MÉDIAS. *Revista Eletrônica Nutritime*, 5(6), 777–788.
- Pinto, L. F. G., Marina Piatto, R. P., & Azevedo, T. (2021). Contribuição da Mata Atlântica para a NDC brasileira: análise histórica das emissões de GEE e potencial de mitigação até 2050. In *Fundação SOS Mata Atlântica* (pp. 1–26). <https://www.imaflora.org/public/media/biblioteca/emissoes-mata-atlantica-seeg2021-v2.pdf>
- Potenza, R. G., Quintana, G. de O., Cardoso, A. M., Tsai, D. S., Cremer, M. dos S., Silva, F. B., Graces, I., Carvelho, K., Coluna, I., Shimbo, J., Silva, C., Zimbres, B., Alencar, A., Angelo, C., & Azevedo, T. (2023). ANÁLISE DAS EMISSÕES DE E SUAS IMPLICAÇÕES PARA AS METAS CLIMÁTICAS DO BRASIL 1970-2021. In *Observatório Climático* (pp. 1–54). <https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2023/03/SEEG-10-anos-v4.pdf>
- Reis, E. A., & Reis, I. A. (2002). *Análise Descritiva de Dados* (pp. 1–64). Universidade Federal de Minas Gerais. <https://www.est.ufmg.br/porta/wp-content/uploads/2023/01/RTE-02-2002.pdf>



Stoco, M. A. (2022). *Dióxido de carbono na cidade de São Paulo: medidas em superfície e análises sazonais*. Universidade de São Paulo .

Weissert, L. F., Salmond, J. A., & Schwendenmann, L. (2014). A review of the current progress in quantifying the potential of urban forests to mitigate urban CO2 emissions. *Urban Climate*, 8, 100–125. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.01.002>

Xu, S., Wang, J., Sayer, E. J., Lam, S. K., & Lai, D. Y. F. (2024). Precipitation change affects forest soil carbon inputs and pools: A global meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 908, 168171. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168171>



Estudo Paramétrico de Corpo de Prova Prismático em UHPC Submetido a Flexão

BARBANTE, Grazielle Gomes¹; JACINTHO, Ana Elisabete P. G. A.²; FORTI, Nádia C. S.³

1. Mestranda, graziellegomesbarbante@gmail.com, Pontifícia Universidade Católica de Campinas
2. Professora Doutora, anajacinto@puc-campinas.edu.br, Pontifícia Universidade Católica de Campinas
3. Professora Doutora, nádia.cazarim@puc-campinas.edu.br, Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Resumo: Atualmente, o meio científico está direcionado para a investigação do Concreto de Ultra Alto Desempenho (UHPC), um material aplicado principalmente em obras de infraestrutura, construção e manutenção de pontes. Patenteado como Ductal pela Lafarge-Holcim na França, o UHPC oferece propriedades mecânicas superiores, incluindo alta resistência à tração, compressão e módulo de elasticidade. Sua relevância é destacada em projetos de grande porte, como a reabilitação da Ponte Pulaski Skyway nos Estados Unidos, mostrando seu potencial na preservação e reforço de estruturas existentes. No Brasil, ainda não há uma regulamentação nacional para a utilização do UHPC, fazendo com que as execuções se baseiem em normas internacionais e dados provenientes de testes experimentais. Esta pesquisa tem como objetivo modelar corpo de prova prismático em elementos finitos no ABAQUS de UHPC e comparar os resultados com o ensaio experimental de resistência a flexão de 3 pontos. Este trabalho, faz parte de uma pesquisa mais ampla de mestrado pode servir como embasamento científico e técnico para a elaboração de uma norma brasileira específica para o dimensionamento de elementos estruturais em UHPC. A adoção de norma nacional baseada em dados permitirá seu uso mais seguro e eficiente, incentivando a inovação e o avanço tecnológico no setor da construção civil.

Palavras-chave: UHPC, Flexão, Vigas, Resistência a Compressão, Resistência a Tração.

1. Introdução

O concreto é amplamente utilizado na construção civil, equivalente a uma tonelada por pessoa. Sua taxa de utilização aumentou significativamente nas últimas décadas, chegando a cerca de 33 bilhões de toneladas métricas anualmente. Embora não seja tão resistente quanto o aço, o concreto é amplamente utilizado devido a três razões principais. Primeiramente, sua excelente impermeabilidade o torna ideal para estruturas de controle, armazenamento e transporte de água, sendo utilizado pelos romanos em aquedutos e paredes de contenção. Atualmente, é comum encontrá-lo em barragens, canais e pavimentos. Além disso, o concreto é versátil e pode ser moldado em diferentes formas e tamanhos, possibilitando diversas aplicações na construção. Por fim, as matérias primas que compõe o concreto são abundantes e acessíveis, o que o torna viável economicamente para a maioria dos projetos. Com todas essas características, é

compreensível porque o concreto continua sendo o material preferido na construção civil em todo o mundo. (Mehta e Monteiro, 2014).

Devido à ampla utilização do concreto, diversas modificações são desenvolvidas para que atenda a diferentes padrões de uso.

A tecnologia dos materiais, mais especificamente do concreto, avançou nos últimos tempos, especialmente com o desenvolvimento do UHPC. Segundo Da e Barbosa (2021) o UHPC, é um tipo de concreto de alta resistência, alta durabilidade e alta ductilidade, obtido pela combinação de diversos materiais como cimento, água, areia, aditivos e fibras de aço. Devido à sua baixa relação água/cimento, o UHPC possui características superiores em relação aos concretos convencionais.

1.1 – Definição e Composição do UHPC

O Concreto de Ultra Alto Desempenho (UHPC) se destaca por uma elevada concentração de cimento, excedendo os 600 kg, por empacotamento de partículas (Buttignol, Souza e Bittencourt, 2017).

Inicialmente, reconhecido como uma mistura de pós reativos, o UHPC foi desenvolvido por Richard e Cheyrezy (1995), com o objetivo de produzir concretos extremamente resistentes e flexíveis, alcançando resistências que variam entre 200 MPa e 800 MPa, e uma energia de fratura de até 40 KJ/mm².

Rompa e Gidrão (2020) citam que a importância da segurança e a durabilidade de estruturas civis, como pontes, viadutos e edifícios, requer a utilização de materiais de construção com resistências mecânicas elevadas e o UHPC tem se destacado como opção.

A **Tabela 1** apresenta as características recomendadas pela norma francesa NF P18 710 (AFNOR, 2016) para projetos estruturais utilizando o UHPC, na falta de resultados experimentais.

O UHPC possui propriedades que o tornam capaz de substituir metais em algumas aplicações específicas, proporcionando uma opção mais leve e resistente (El-Helou, Haber e Graybeal, 2022).

Ele é constituído de cimento, areia de quartzo, materiais finos de preenchimento (pó de quartzo, sílica ativa, fillers, pozolanas etc.), aditivos químicos, pequena quantidade de água e fibras metálicas (principalmente quando aplicado à elementos estruturais).

Na **Tabela 2** é mostrado constituições UHPCs encontradas na literatura com relação aos seus materiais.

O UHPC demonstra um potencial significativo em diversas aplicações na construção civil, incluindo ligações estruturais, reparos, retrofits e suporte para cargas elevadas. Seu uso na modernização e reparo de elementos estruturais, como lajes, vigas e pilares, tem mostrado eficácia ao melhorar o desempenho estrutural e simplificar projetos ao reduzir a necessidade de armaduras de aço (Hung, El-Tawil e Chao, 2021).

Tabela 1. Valores indicativos para característica do UHPC.

E_{cm} módulo de deformação longitudinal	45 – 65 GPa
f_{ck} Resistência característica a compressão	150 – 200 MPa
f_{cm} Resistência média à compressão	160 – 230 MPa
$f_{ctk,el}$ Resistência característica à tração no limite de elasticidade	7,0 – 10,0 MPa
$f_{ctn,el}$ Resistência média à tração no limite de elasticidade	8,0 – 12,0 MPa
$f_{ctf,k}$ Resistência característica à tração pós fissuração	6,0 – 10,0 MPa
$f_{ctm,k}$ Resistência média à tração pós fissuração	7,0 – 12,0 MPa
K_{global} Fator de orientação global das fibras	1,25
K_{local} Fator de orientação local das fibras	1,75
Coefficiente de dilatação linear térmica	$1,1 \times 10^{-5} m/°C$
L_f Comprimento	12 – 20 mm

Fonte: adaptado do anexo T, NF P 18 710 (AFNOR, 2016).

Tabela 2. Traços de UHPC e seus materiais constituintes mais comuns.

UHPC	200MPa		800MPa
	Sem Fibras	Com fibras	Com fibras
Cimento Portland	1	1	1
Sílica Ativa	0,23 – 0,25	0,23 – 0,25	0,23
Areia (150-600µm)	1,1	1,1	0,5
Quartzo (d50 = 10µm)	0 – 0,39	0 – 0,39	0,39
Aditivo Super	0,016 – 0,019	0,016 – 0,019	0,019
Fibra Metálica (L=12mm)	-	0,175	-
Fibra Metálica (L=3mm)	-	-	0,630
Água	0,15 – 0,17	0,17 – 0,19	0,19
Pressão de Compactação			50MPa

Temp. Tratamento Térmico	20°C – 90°C	20°C – 90°C	250°C – 400°C
--------------------------	-------------	-------------	---------------

Fonte: Adaptado de ISAIA, 2011 (Cap. 36 pg.1318).

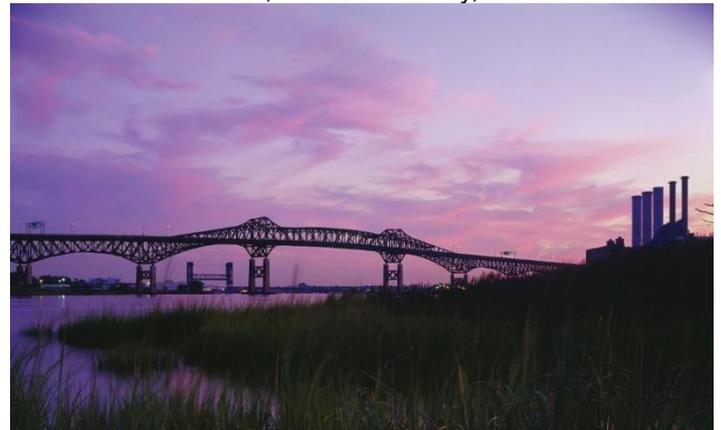
1.2 – Algumas Construções em UHPC no Mundo e no Brasil

O UHPC, patenteado como Ductal pela Lafarge-Holcim na França, é um material que oferece propriedades mecânicas superiores, tais como altas resistências à tração e compressão e alto módulo de elasticidade. Sua relevância é destacada em projetos de grande porte.

Pode-se citar como exemplo a Ponte Pulaski Skyway, vista na **Figura 1**, conhecida por ser destaque na série "The Sopranos", é uma estrutura icônica de quatro pistas que conecta Jersey City e Newark, em Nova Jersey. Com mais de 5,5 km de extensão, a ponte, construída na década de 1930, passou por uma reabilitação significativa, a maior de sua história.

Foi utilizado o material Ductal ao longo da ponte de 5,5 km, do aeroporto de Newark a cidade de Nova Jersey. Essa reabilitação é de extrema importância nos Estados Unidos, considerando que mais de 70.000 pontes são consideradas estruturalmente obsoletas (Ductal, 2023).

Figura 1. Ponte Pulaski Skyway, conectando Jersey City e Newark, em Nova Jersey, EUA.



Fonte: DUCTAL (2023).

O projeto dos viadutos Chillon (**Figura 2**) é um dos maiores do mundo em relação ao revestimento estrutural. Com o propósito de fortalecer um viaduto rodoviário com extensão de 2,1 km e uma área total do tabuleiro correspondente a 53.000 m².

Figura 1. Viadutos Chillon.



Fonte: DUCTAL (2023).

Ponte Suspensa de Honghe, **Figura 3**, localizada na província de Yunnan, China, foi concluída em apenas 35 dias. Essa ponte suspensa por cabo é um projeto crucial para fortalecer a infraestrutura de transporte e impulsionar o desenvolvimento econômico no sul da província. Com 700m de comprimento e 30m de largura, foi uma das maiores pontes suspensas por cabo com plataforma de aço feita de UHPC no mundo. A solução escolhida foi o Ductal devido à sua capacidade de aumentar a durabilidade e segurança, reduzir os custos de manutenção ao longo da vida útil da ponte e permitir uma implementação rápida para cumprir o cronograma apertado (Ductal, 2023).

Figura 2. Ponte Suspensa de Honghe.



Fonte: DUCTAL (2023).

O edifício do Banco Central do Iraque, mostrado na **Figura 4**, projetado por Zaha Hadid Architects, é um dos maiores projetos de UHPC do mundo. Com uma altura de 170 metros, o exoesqueleto em UHPC oferece força e proteção, mantendo a leveza e a penetração de luz. A fachada única, composta por 61.000 m² e 12.000 painéis complexos (Ductal, 2023).

Figura 3. Banco Central do Iraque.



Fonte: DUCTAL (2023).

No Brasil ainda não há muitos registros do UHPC em aplicações arquitetônicas, entretanto, um exemplo a ser citado é a Casa Japão, na cidade de São Paulo, que foi construída com o objetivo de se tornar o centro cultural da cultura nipônica no país (**Figura 5**). Um dos grandes destaques da casa é o painel arquitetônico feito com Ductal Branco, que é visível logo na entrada do prédio. Toda a sua estrutura foi pensada com o que há de mais moderno em acabamento e design (Muller, 2017).

Figura 5. Casa Japão, em São Paulo.



Fonte: Muller (2017).

1.3 – Normas e Instruções Técnicas sobre UHPC

Algumas normas, instruções técnicas e artigos já foram publicadas e estão em vigência para o uso e aplicação estrutural do UHPC, e tratam de vários aspectos e propriedades do material, assim como procedimentos de projeto. A **Tabela 3** mostra algumas dessas publicações.

Tabela 3. Normas sobre o UHPC.

Ano	Norma	Assunto	País
2006	FHWA-HRT 06-103	Caracterização das propriedades	E.U.A
2008	Recommendations for Design and Construction of High Performance Fiber Reinforced Cement Composites with Multiple Fine Cracks (HPFRCC)	Geral	Japão
2010	FHWA-HRT-10-079	Modelo Computacional	E.U.A
2011	FHWA-HRT-11-038	Geral	E.U.A
2013	FHWA-HRT 13-060	Estado da Arte	E.U.A
2013	FHWA-HRT 13-100	Traço	E.U.A
2014	Design Guidelines for K-UHPC	Geral	Korea do Sul
2016	NF P 18 470	Geral	França
2016	NF P 18 710	Geral	França
2017	FHWA-HRT 17-096	Preservação de Pontes	E.U.A
2018	FHWA-HRT 17-097	Preservação de Pontes	E.U.A
2018	FHWA-HRT-18-036	Propriedades e comportamentos	E.U.A
2018	ACI PRC-239-18: Ultra-High Performance Concrete: An Emerging Technology Report	Propriedades e comportamentos	E.U.A.
2019	FHWA-HIF-19-011	Corpos de prova para ensaio de módulo de pontes	E.U.A
2022	<u>FHWA-HRT-21-095</u>	Propriedades e comportamentos	E.U.A
2022	Prática Recomendada Concreto De Ultra Alto Desempenho Reforçado Com Fibras (UHPC)	Geral	Brasil

Fonte: Jacintho et al., 2022

1.4 – Objetivo

O objetivo deste artigo é mostrar a modelagem de um corpo de prova prismático feita em elementos finitos no programa ABAQUS para o UHPC e comparar o resultado da modelagem com resultado de ensaio experimental de resistência à flexão, em ensaio de 3 pontos.

Para a modelagem em elementos finitos desse prisma foi utilizado o software ABAQUS, com base nos resultados experimentais obtidos em Santos e Jacintho (2023).

2. Metodologia

2.1 – Trabalho Experimental de Apoio para Análise Numérico

Para esta pesquisa, foram considerados os resultados de ensaios realizados em um trabalho de iniciação científica (Santos e Jacintho, 2023), no qual foi caracterizado um traço de UHPC com relação a resistência à compressão, módulo de elasticidade e resistência à tração.

Para os ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade foram utilizados corpos de prova cilíndricos de 7,5 cm x 15 cm e para os ensaios de resistência à tração na flexão foram utilizados corpos de prova prismáticos de 10 cm x 10 cm x 40 cm.

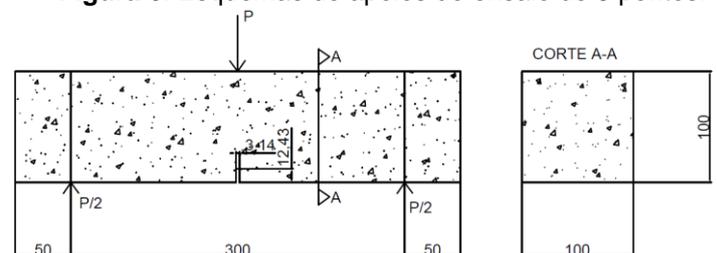
O traço utilizado para composição do UHPC foi, na seguinte proporção 1 : 1,1 : 0,1 : 0,194 : 0,19 : 0,04 para os respectivos materiais: cimento, areia, pó de quartzo, sílica, relação a/c e aditivo. Para as fibras de aço foi utilizado o teor de 1,86% e para as fibras de PVA foi utilizado o teor de 0,14%. Este traço foi encontrado após uma otimização feita na análise do Delineamento Composto Central Rotacional de 2², aplicado em Santos e Jacintho(2023).

Como resultado dos ensaios de resistência à compressão axial, foi obtida a média de 132,01 MPa, módulo de elasticidade de média de 45,22 GPa.

Para se obter a resistência à tração, foram realizados dois tipos de ensaios de flexão, ensaio de três pontos e ensaio de quatro pontos. Esses ensaios foram realizados conforme a NF P18 470 (AFNOR, 2016) e a prática recomendada em Jacintho, et.al. (2022). Nesses ensaios obteve-se as resistências $f_{ct,el}$ no ensaio de quatro pontos com o valor de 9,32MPa e $f_{ct,fl}$ no ensaio de três pontos com aplicação de uma análise inversa proposta na norma francesa NF P18 470 (AFGC, 2016) e a prática recomendada Jacintho, et.al. (2022).

Para o ensaio de resistência a tração na flexão, foi realizado o ensaio de flexão em 3 pontos, conforme demonstrado na **Figura 6**. O prisma é apoiado em 2 pontos e uma força é aplicada no ponto central superior do prisma.

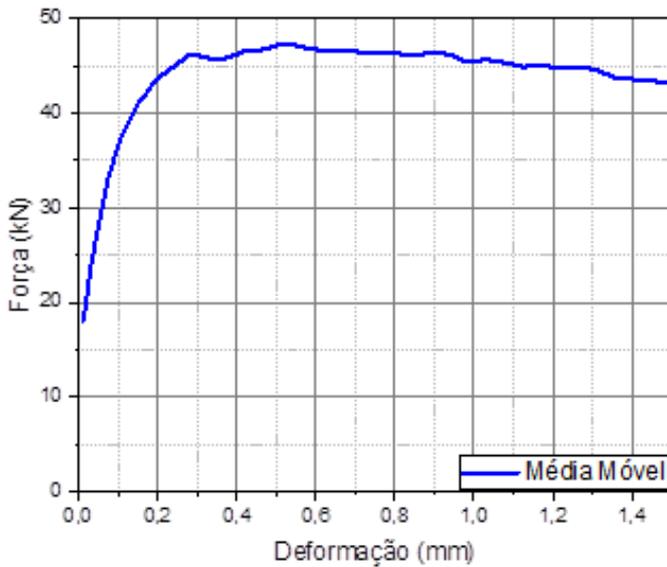
Figura 6. Esquemas de apoios do ensaio de 3 pontos.



Fonte: Autoria própria.

Neste ensaio foi obtido pelo artigo o seguinte gráfico representado na **Figura 7** através da média obtida dos 3 corpos de prova, em que o eixo horizontal (eixo x) demonstra a abertura de fissura medida durante o ensaio.

Figura 7. Ensaio de resistência a tração.



Fonte: Jacintho et. al. (2022).

Como dados para este trabalho foram obtidas uma força média de 45,02515kN e uma deformação de 0,2471mm (Santos e Jacintho, 2023).

2.2 – Descrição da Análise Numérica

Foi utilizado o software ABAQUS para esta etapa do trabalho. A calibração do software foi realizada com a simulação do ensaio de resistência à tração na flexão de 3 pontos com entalhe, utilizando os dados fornecidos pela parte experimental, conforme descrito no item 2.1.

As dimensões do prisma utilizado para o dimensionamento foram 100mm x 100mm x 400mm, com um entalhe central calculado como a média das medidas dos três prismas moldados, resultando em 3,4mm x 12,43mm. O vão do ensaio entre os apoios foi estabelecido experimentalmente em 300mm, conforme mostrado na **Figura 6**.

O modelo empregado para representar o comportamento foi o modelo elástico-plástico, considerando que todos os parâmetros de entrada foram obtidos por meio de experimentos, os seguintes parâmetros foram inseridos para caracterizar o comportamento plástico do concreto:

E_c - módulo de elasticidade de 45,22GPa

ν - coeficiente de Poisson de 0,2

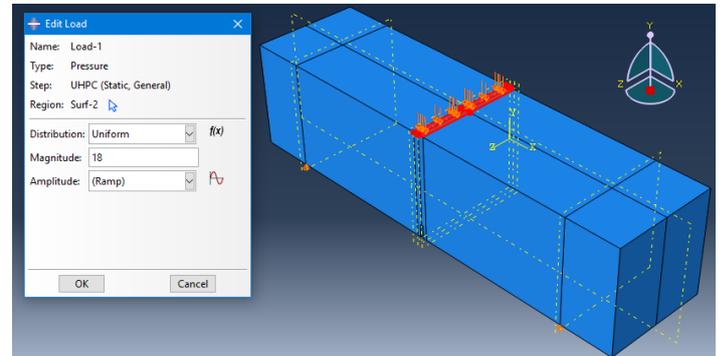
Depois da parametrização do material foram definidas as condições de contorno. A face superior do modelo ficou com o deslocamento impedido no centro pelas coordenadas x e z para que o prisma não sofresse movimento de corpo rígido.

Na face inferior, o deslocamento ficou impedido nos apoios na coordenada y.

Para malha foi definida a dimensão de aproximadamente 5mm.

Foi definida uma pressão de 18N/mm² em uma área 1.000mm², tendo como resposta a de 18.000N aplicadas no prisma, como mostrado na **Figura 8**.

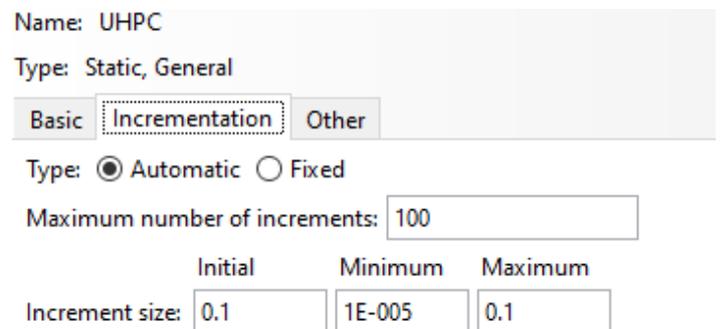
Figura 8: Pressão aplicada no prisma.



Fonte: Autoria Própria.

Foram definidos os passos (steps) com incremento inicial de 0,01 e máxima de 1, sendo o incremento máximo de 100, para que pudesse ser analisada a reação de apoio em cada incremento. A definição do incremento é mostrada na **Figura 9**.

Figura 9: Incremento inserido no programa ABAQUS



Fonte: Autoria Própria.

O modelo CDP foi o modelo de comportamento plástico utilizado no programa ABAQUS e é constituído pelos parâmetros de ângulo de dilatação (Ψ), excentricidade (e), razão entre a resistência à compressão sob carga biaxial e a resistência à compressão uniaxial ($\frac{f_{b0}}{f_{c0}}$), razão da segunda tensão invariante de tração compressiva (K), e o de viscosidade (μ).

2.3 – Resistência à Compressão

Para determinação da compressão, foi estimado o processo identificado pela NF P18 470 (AFNOR, 2016), através das equações abaixo:

$$f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{132,01}{1,5} = 74,81 \quad (1)$$

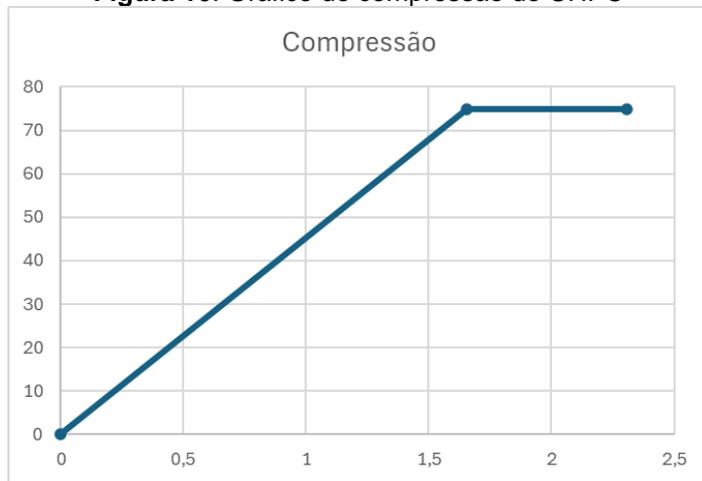
$$\varepsilon_{cod} = \frac{74,81}{45,22} = 1,65 \quad (2)$$

$$f_{cd} = 74,81 \quad (3)$$

$$\varepsilon_{cud} = \left(1 + 14 \cdot \frac{9,32}{1,25 \cdot 132,01}\right) \cdot 1,65 = 2,95 \quad (4)$$

A **Figura 10** mostra o gráfico do comportamento de compressão do UHPC para este trabalho.

Figura 10: Gráfico de compressão do UHPC



Fonte: Autoria Própria.

3. Resultados

Até o momento foi realizado um estudo paramétrico no programa ABAQUS para fins de calibração do modelo de elementos finitos utilizado no programa, para análise de elementos em UHPC, apenas na fase elástica do comportamento tensão x deformação à tração.

Foi modelado um corpo de prova usado no ensaio de flexão em 3 pontos, pois tem-se o resultado experimental, para calibrar o elemento finito escolhido para se trabalhar no programa.

O modelo numérico pode ser validado comparando os resultados do modelo numérico com os dados experimentais.

Os resultados do ensaio numérico em relação a força de reação, em relação ao eixo x, não foi obtido reação a não ser no ponto de aplicação da força, no eixo y só houve reação nos pontos de apoio do prisma e no eixo z só houve reação no ponto de aplicação da força. Todos resultados em relação aos pontos de reação se comportaram como esperado.

A comparação dos resultados foi analisada através das

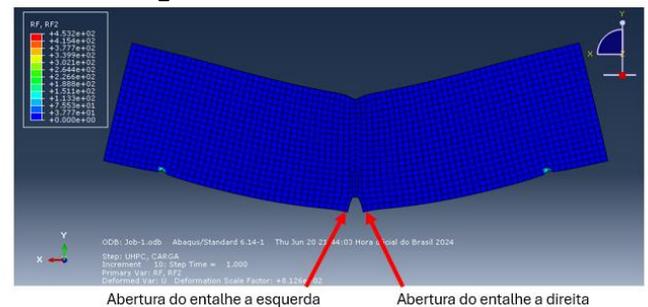
respostas de reação de apoio do eixo y, geradas nos apoios definidos pelas condições de contorno, conforme mostrado na **Figura 11**, em que foram extraídas os resultados da **Tabela 4**. Para cada step é definida uma reação de apoio na base direita e na base esquerda, que, ao serem somadas, resulta na reação aplicada através da pressão aplicada. Aplicando-se a pressão retorna a abertura do entalhe que igualmente a reação deve ser somada à esquerda e a direita para definição total da abertura para cada força aplicada conforme **Figura 11 e 12**.

Figura 11: Força de Reação da base considerando o eixo y.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 12: Abertura do entalhe.



Fonte: Autoria Própria.

Tabela 4: Resultados Parciais das Forças de Reações do eixo y.

Step	Reação - Esquerda	Reação - Direita	Abertura Esquerda	Abertura Direita
0	0	0	0	0
0,1	900	900	-0,000650691	0,000563416
0,2	1800	1800	-0,00130137	0,00112684
0,3	2700	2700	-0,00195191	0,00169041
0,4	3600	3600	-0,00260225	0,00225418
0,5	4500	4500	-0,00325238	0,00281816
0,6	5400	5400	-0,00390218	0,00338247
0,7	6300	6300	-0,00455156	0,00394719
0,8	7200	7200	-0,0052006	0,00451226
0,9	8100	8100	-0,00584915	0,00507782
1	9000	9000	-0,00649757	0,0056435

Fonte: Autoria Própria.

A soma dos resultados da simulação numérica é mostrada na **Tabela 5**.

Tabela 5. Resultado Totais de Reações do eixo y

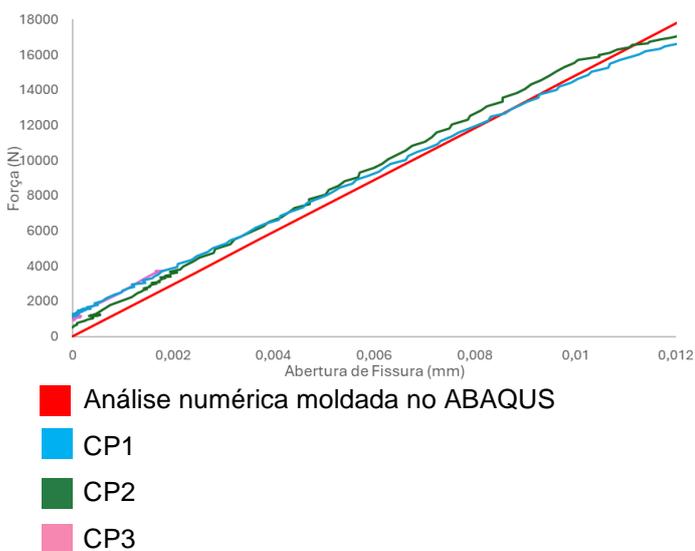
Força (N)	Abertura de Fissura (mm)
0	0
1800	0,001214107
3600	0,00242821
5400	0,00364232
7200	0,00485643
9000	0,00607054
10800	0,00728465
12600	0,00849875
14400	0,00971286
16200	0,01092697
18000	0,01214107

Fonte: Autoria Própria.

A análise dos dados apresentados no gráfico a seguir demonstra a concordância entre a simulação e os três resultados experimentais obtidos para CP1, CP2 e CP3 durante a fase elástica do UHPC. Os resultados estão representados na **Figura 13**, indicando que o modelo de simulação é capaz de reproduzir de maneira satisfatória o comportamento elástico do UHPC, conforme evidenciado pelos resultados experimentais.

A linha rosa representa o CP1, a linha azul representa o CP2, a linha verde representa o CP3 e a linha vermelha representa a viga ensaiada no ABAQUS.

Figura 4: Gráfico de comparação dos resultados dos CP1, CP2 e CP3 e análise numérica moldada no ABAQUS.



Fonte: Autoria Própria.

4. Considerações Finais

O estudo do UHPC destaca-se como material promissor da construção civil devido as suas características mecânicas elevadas, durabilidade e versatilidade, oferecendo soluções mais seguras e duráveis, sendo uma alternativa eficiente.

Embora existam normas internacionais que regulamentam o uso do UHPC, como NF P 18-710, ainda há ausência de uma regulamentação nacional específica no Brasil. Esta pesquisa visa contribuir com seus resultados para o desenvolvimento de uma futura norma brasileira para dimensionamento de elementos estruturais em UHPC.

A análise paramétrica aqui desenvolvida foi bem sucedida, visando a comparação da análise numérica em elementos finitos com os resultados experimentais de Santos e Jacintho(2023).

O estudo vai ampliar a análise paramétrica para simulação em elementos finitos de vigas feitas de UHPC no software ABAQUS, com e sem a presença de armadura passiva. O projeto será feito seguindo as orientações da norma NF P 18-710 e as recomendações da prática recomendada em Jacintho et al., 2022.

Esta pesquisa pretende também contribuir para o incentivo de mais estudos numéricos acerca do UHPC com modelagem numérica detalhada e a comparação com análises experimentais, afim de facilitar a adoção do UHPC em projetos estruturais no Brasil.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referências

Association Française De Normalisation (AFNOR). NF P18-470 – Concrete – Ultra-high performance fibre-reinforced concrete – Specifications, performance, production and conformity. 2016.

Association Française De Normalisation (AFNOR). NF P18-710 – Design of concrete structures: specific rules for Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete (UHPRFC). 2016.

Buttignol, T. E. T.; Sousa, J. L. A. O.; Bittencourt, T. N. (2017). Ultra High-Performance Fiber-Reinforced Concrete (UHPRFC): a review of material properties and design procedures. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 10(4), 957–971. <https://doi.org/10.1590/s1983-41952017000400011>.

Da, J.; Barbosa, S. (2021). Aplicação do concreto de ultra alto desempenho em viga pré-moldada protendida para pontes. Universidade Federal De São Carlos (PRECISA VER SE É DISSERTAÇÃO DE MESTRADO OU TESE DE DOUTORADO)

De la Varga, I.; Graybeal, B.; Montanari, L.; Spragg, R.; Saladi, N. (2022). TechBrief: Teste de resistividade elétrica para avaliar rapidamente a durabilidade de materiais da classe UHPC. FHWA-HRT-21-095, Federal Highway Administration, McLean, VA.

Ductal. (2023). Archistruture. Disponível em: <https://www.ductal.com/en/archistruture>.



- Dubey, A.; Graybeal, B.; Green, B.; Roursgaard, B.; Brix, C.; Roberts, C.; Corvez, D.; Buhler, E.; Meyer, F.; Miligan, J.; Myers, J.; Wille, K.; Habel, K. (2018). Ultra-High-Performance Concrete: An Emerging Technology Report (ACI Committee 239R18, Ed.).
- El-Helou, R. G.; Haber, Z. B.; Graybeal, B. A. (2022). Mechanical Behavior and Design Properties of Ultra-High- Performance Concrete. *ACI Materials Journal*, 119(1), 181–194. <https://doi.org/10.14359/51734194>
- European Committee For Standardization (Cen). Eurocode 2. (2005). En 1992-2. Design Of Concrete Structures – Concrete Bridges – Design And Detailing Rules.
- Graybeal, B. (2006). Material Property Characterization of Ultra-High Performance Concrete, Report No. FHWA-HRT-06-103, Federal Highway Administration, McLean, VA.
- Graybeal, B. (2006). Material Property Characterization of Ultra-High Performance Concrete, Report No. FHWA-HRT-06-103, Federal Highway Administration, McLean, VA.
- Graybeal, B. (2010). Finite Element Analysis of UHPC:Structural Performance of an AASHTO Type II Girder. FHWA-HRT-10-079, Federal Highway Administration, McLean, VA.
- Graybeal, B. (2011). Ultra-High Performance Concrete. FHWA-HRT-11-038, Federal Highway Administration, McLean, VA.
- Graybeal, B.; Russel, H. (2013). Ultra-High Performance Concrete: A State-of-the-Art Report for the Bridge Community. FHWA-HRT-13-060, Federal Highway Administration, McLean, VA.
- Graybeal, B. (2013). Development Of Non-Proprietary Ultra-High Performance Concrete For Use In The Highway Bridge Sector. FHWA-HRT-13-100, Federal Highway Administration, McLean, VA.
- Graybeal, B.; Jose F.; Zachary B., (2017). Field Testing of an Ultra-High Performance Concrete Overlay. FHWA-HRT-17-096, Federal Highway Administration, McLean, VA.
- Graybeal, B. (2019). Precast Concrete Pavement Implementation By U.S. Highway Agencies. FHWA-HRT-19-011, Federal Highway Administration, McLean, VA.
- Haber Z.; Graybeal, B. (2018). Ultra-High Performance Concrete for Bridge Deck Overlays. FHWA-HRT-17-097, Federal Highway Administration, McLean, VA.
- Haber, Z.; De la Varga, I.; Graybeal, B.; Olá, R.; Nakashoju, B. (2018). Properties and Behavior of UHPC-Class Materials. FHWA-HRT-18-036, Federal Highway Administration, McLean, VA.
- Hung, Chung-Chan; El-Tawil, Sherif; Chao, Shih-Ho. (2021). A Review of Developments and Challenges for UHPC in Structural Engineering: Behavior, Analysis, and Design. *Journal of Structural Engineering*. 147. 03121001. 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0003073.
- Richard, P.; Cheyreyzy, M. (1995). Composition Of Reactive Powder Concretes. In *Cement and Concrete Research* (Vol. 25, Issue 7).
- Isaia, G. C. *Concreto: Ciência e Tecnologia*. IBRACON. Vol. II, Cap. 36. 2011.
- Jacintho, Ana Elisabete P. G. A.; Araújo, Daniel L.; Pimentel, Lia L.; Carnio, Marco A.; Monte, Renata; Christ, Roberto (2022). *Estruturas de Concreto de Ultra Alto Desempenho (UHPC). Prática Recomendada*. Comitê Técnico 303 – IBRACON/ABECE. GT5. 1ª Edição.
- Japan Society of Civil Engineering – JSCE – Recommendations for Design and Construction of High Performance Fiber Reinforced Cement Composites with Multiple Fine Cracks (HPFRCC). 2008.
- Korea Institute Of Construction Technology (Kict). (2014). *Design Guidelines For K-Uhpc*. Korea.
- Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and materials*. 4ª edition. Mc Graw Hill Education.
- Muller, R.M. (2017). Mais uma obra de Ductal® entregue no Brasil. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/mais-uma-obra-de-ductal-entregue-brasil-rodrigo-menegaz-muller/>
- Rompa, D. D., Gidrão, G. de M. S. (2020). Caracterização mecânica da rigidez e resistência do concreto de ultra-alto desempenho reforçado por fibras (UHPRFC). *Ambiente Construído*, 20(2), 73–88. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000200388>
- Santos, André M., Jacintho, Ana Elisabete P. G. A.. Características Mecânicas do UHPC: Resistência à Compressão e Resistência à Tração na Flexão. In: *Anais do XXVIII Encontro de Iniciação Científica da Pontifícia Universidade Católica de Campinas*, 28., 2023.



Energia Solar como Alternativa aos Combustíveis Fósseis em Áreas Urbanas: uma Análise Bibliométrica

Isabella Campagnol de Souza¹, Lia Toledo Moreira Mota², Cláudia Cotrim Pezzuto³, Denise Helena Lombardo Ferreira⁴

1. Mestranda, Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Sistemas de Infraestrutura Urbana, isabella.cs5@puccampinas.edu.br
2. Doutora, Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Sistemas de Infraestrutura Urbana, lia.mota@puc-campinas.edu.br
3. Doutora, Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Sistemas de Infraestrutura Urbana, claudiapezzuto@puc-campinas.edu.br
4. Doutora, Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Sistemas de Infraestrutura Urbana, lombardo@puc-campinas.edu.br

Resumo: À medida que as mudanças climáticas se intensificam, a demanda por sistemas de climatização tem crescido acentuadamente, resultando em um aumento significativo no consumo de energia. Diante dessa realidade, torna-se fundamental a adoção de fontes de energia renováveis como resposta à conscientização sobre os impactos ambientais. Na literatura, há diversos estudos sobre técnicas de energia solar em edificações, no entanto, são escassas as pesquisas que abordam estudos de revisão bibliométrica sobre o tema. Nesse sentido, esse artigo visa verificar as principais pesquisas, descobertas e tendências sobre técnicas de energia solar em edificações. Para a realização deste estudo, foi feita a caracterização das técnicas de geração de energia solar em edificações encontradas na literatura, assim como os impactos ambientais causados pela utilização de combustíveis fósseis para geração de energia. Foram encontrados 194 artigos sobre eficiência energética e sistemas fotovoltaicos em edifícios na base de dados da Scopus, publicados de 2008 até 12 de maio de 2024. Destaca-se o ápice das publicações em 2023, e “eficiência energética” e “geração de energia solar” foram os tópicos com mais destaque nas palavras-chave. Sobre a produção científica de cada país, a China se destaca com o maior volume de publicações durante o período analisado.

Palavras-chave: energia solar em edificações, energia fotovoltaica, consumo de energia.

1. Introdução

A busca por técnicas de energia solar eficientes é fundamental em um mundo em rápida evolução, onde a adoção de fontes de energia renováveis desempenha um papel cada vez mais importante nas preocupações globais. A crescente demanda por soluções limpas e sustentáveis está impulsionando a inovação no setor de energia solar, refletindo como resposta aos desafios das mudanças climáticas e da degradação ambiental.

O U. S. Energy Information Administration (2016) destaca um aumento projetado das energias renováveis como a categoria de energia de crescimento mais acelerado em escala global ao longo do período analisado, com um aumento médio de 2,6% ao ano entre 2012 e maio

de 2024. Esse crescimento enfatiza a importância de investir em tecnologias que não apenas aumentem a eficiência da geração de energia, mas também ampliem a capacidade de integração de fontes renováveis na matriz energética global.

O uso da simulação computacional para melhorar a geração de energia solar fotovoltaica foi demonstrado por Imai et al. (2020) como uma estratégia eficaz na gestão de recursos, especialmente em ambientes urbanos. Essa prática é capaz de auxiliar na realização dos objetivos estabelecidos para o desenvolvimento sustentável. O uso de softwares para simulação e análise energética de edificações possibilita a criação de projetos mais eficientes e sustentáveis, permitindo a avaliação do consumo de energia já na fase de projeto.

Além disso, Bosu et al. (2023) mostra que existem hoje muitas pesquisas que avaliam as diferentes técnicas, ativas e passivas, de energia solar. As técnicas ativas envolvem a coleta, armazenamento e distribuição de energia por meio de componentes elétricos ou mecânicos. Por outro lado, as técnicas passivas não requerem esses elementos para operar, como por exemplo, a orientação dos edifícios.

Entretanto, há poucas pesquisas que abordam estudos de revisão bibliométrica sobre esse tema. Realizar análises bibliométricas ajuda a mapear o panorama atual da pesquisa, destacar áreas que necessitam de mais investigação e orientar futuras direções no campo da energia solar. Portanto, esse tipo de análise se torna fundamental para quantificar o que está sendo pesquisado sobre o assunto e mostrar tendências nessa área de estudo.

2. Metodologia

Com o objetivo de conduzir uma análise bibliométrica abrangente sobre o estado atual de pesquisa em técnicas de energia solar em edificações, foi utilizada uma base de dados consolidada: a Scopus.

Inicialmente, foram estabelecidas perguntas de pesquisa, que são essenciais para direcionar o interesse e estimular a motivação do tema (Gonçalves, 2019). As questões formuladas que guiaram a pesquisa são: “Qual é



o problema ou problemática de pesquisa?”, “Que dados e informações são necessários?”, “Onde serão coletados os dados e informações?” e “Qual o período de análise?”.

As respostas para essas perguntas são: a adoção de fontes de energia renováveis como resposta à conscientização sobre os impactos ambientais, coleta de artigos científicos, uso da base de dados Scopus, e análise do período de 2008 até 12 de maio de 2024.

Na busca de dados na Scopus foram definidos critérios de inclusão e exclusão, garantindo que apenas estudos relevantes fossem incluídos na análise. Os critérios considerados foram: o período de publicação, a área engenharia e o tipo de publicação foi limitado a apenas artigos.

A obtenção de informações foi realizada por meio de uma pesquisa por assunto, conforme ilustrado na **Figura 1**. Foram utilizados operadores booleanos como "AND", equivalente a "E", e "AND NOT", correspondente a "NÃO". As aspas foram empregadas para buscar termos compostos juntos, enquanto o asterisco no final de uma palavra permitiu a recuperação de variações de sufixos.

Pesquisar dentro Article title, Abstract, Keywords	Pesquisar documentos * photovoltaics
AND	
Pesquisar dentro Article title, Abstract, Keywords	Pesquisar documentos simulation
AND	
Pesquisar dentro Article title, Abstract, Keywords	Pesquisar documentos "Energy Efficiency"
AND NOT	
Pesquisar dentro Article title, Abstract, Keywords	Pesquisar documentos irrigation
AND NOT	
Pesquisar dentro Article title, Abstract, Keywords	Pesquisar documentos agri*
AND	
Pesquisar dentro Article title, Abstract, Keywords	Pesquisar documentos buildings
AND NOT	
Pesquisar dentro Article title, Abstract, Keywords	Pesquisar documentos vehicles

Figura 1 - Pesquisa na base de dados da Scopus.

Para realizar a análise quantitativa dos dados e identificar padrões, lacunas e tendências na literatura, foi extraído da base de dados da Scopus o arquivo em formato "CSV" contendo todas as informações dos artigos, tais como autor, ano de publicação, entre outros detalhes.

A análise bibliométrica para quantificar e examinar as características da produção científica da área foi realizada por meio da plataforma Bibliometrix, (Aria; Cuccurullo,

2017) que gera visualizações a partir de dados bibliográficos e inclui todos os principais métodos bibliométricos de análise para maior compreensão sobre o que está sendo pesquisado sobre o tema.

Através dessas visualizações, é possível obter compreensão sobre os principais tópicos abordados, as colaborações entre pesquisadores, as áreas de maior impacto e a evolução da produção científica ao longo do tempo. Assim, a análise não só proporciona uma visão abrangente da literatura existente, mas também destaca lacunas e oportunidades para futuras investigações na área.

3. Fundamentação Teórica

a. Alternativas para Reduzir a Dependência Energética de Combustíveis Fósseis

À medida que as mudanças climáticas globais se intensificam, é notável um expressivo aumento no consumo de energia, especialmente devido à crescente necessidade de sistemas de climatização para enfrentar condições climáticas extremas (Bosu et al., 2023).

A dependência dos combustíveis fósseis para a geração de energia traz consigo desafios significativos, dado seu caráter finito e os impactos ambientais associados. Os geólogos antecipam que a produção desses recursos alcançará seu ápice, indicando o encerramento da "era do petróleo". Essa mudança terá impactos profundos, especialmente para os países que dependem desses recursos, os quais enfrentarão desafios significativos com a redução de sua oferta (Carvalho, 2008).

Segundo Godinho (2023), essa produção de energia contribui para uma poluição significativa no ar, na água e no solo, impactando negativamente a saúde dos seres humanos e a qualidade de vida. A principal origem do aquecimento global e das mudanças climáticas reside nos combustíveis fósseis, que ao serem queimados, liberam dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa, que, por sua vez, retêm o calor na atmosfera, amplificando esse fenômeno.

De acordo com Rosa et al. (2023), o investimento em sistemas de geração de energia solar por meio de painéis fotovoltaicos pode trazer vantagens econômicas significativas a longo prazo. Nesse contexto, a adoção de tecnologias de energia renovável tem o potencial de diminuir consideravelmente o impacto ambiental na geração de energia e o custo investido na implementação é amortizado após alguns anos.



Entre os sistemas de energia solar para residências, a energia fotovoltaica se destaca como a opção com maior capacidade de aproveitamento. A indústria fotovoltaica é a indústria que mais cresce para novos investimentos (Hosenuzzaman et al., 2015).

Portanto, torna-se fundamental não apenas investir em sistemas de geração de energia renovável, mas também explorar estratégias para a redução do consumo energético. Essa abordagem visa aprimorar a eficiência dos sistemas, minimizando os impactos ambientais e o consumo de energia nas edificações.

b. Energia Solar em Edificações Urbanas

Há uma extensa gama de estudos e publicações abordando as técnicas de energia solar no âmbito da construção civil. Diante do aumento global do consumo de energia e da escassez de fontes não renováveis, a geração de energia solar surge como uma solução promissora e crescente.

As técnicas de energia solar podem ser categorizadas em duas metodologias principais: passivas e ativas. As técnicas passivas não requerem nenhum componente elétrico ou mecânico para reduzir o consumo de energia e aprimorar o conforto térmico. Por outro lado, as técnicas ativas buscam alcançar conforto térmico por meio do uso de dispositivos e mecanismos específicos.

A utilização de técnicas passivas de energia solar para aquecimento ou resfriamento das edificações são alternativas preferíveis, pois não dependem de sistemas elétricos ou mecânicos para operar, sendo uma escolha inicialmente considerada para reduzir o consumo energético nas edificações.

Dentre as técnicas passivas de utilização de energia solar adotadas para aquecimento e resfriamento de edificações, temos: a orientação da edificação, fenestração e a envoltória do edifício.

A maior proximidade entre edifícios, os altos níveis de ocupação e a demanda por maior conforto térmico contribuíram para que a maioria dos edifícios dependesse de estratégias ativas de aquecimento, resfriamento, ventilação e iluminação. Portanto, a adoção de medidas passivas em edifícios não atende suficientemente necessidades energéticas dos edifícios modernos (Bosu et al., 2023).

A revisão bibliométrica utilizada concentra-se na análise de estudos relacionados ao sistema de energia fotovoltaica, uma técnica ativa para a utilização da energia solar.

4. Resultados

Dentre os 194 artigos encontrados, publicados entre 2008 e 12 de maio de 2024, destaca-se que o ápice das publicações ocorreu em 2023, demonstrando um aumento significativo que acompanha um auge em comparação aos anos anteriores, conforme **Figura 2**. Além disso, com o ano de 2024 ainda em curso, há a possibilidade de que o total de publicações deste ano supere o registrado no ano anterior.

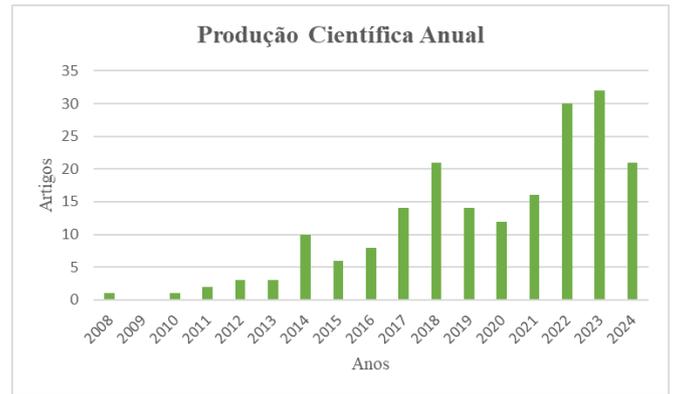


Figura 2 - Número de publicações por ano.

Algumas fontes destacam-se por apresentarem maior número de produções sobre o assunto ao longo do tempo (**Figura 3**), dentre as principais destacam-se os periódicos “APPLIED ENERGY” e “ENERGY AND BUILDINGS” (**Figuras 3 e 4**). Estes são 2 dos principais periódicos no campo do uso eficiente de energia em edifícios e ambientes, com foco em aspectos específicos da pesquisa e desenvolvimento nessa área.

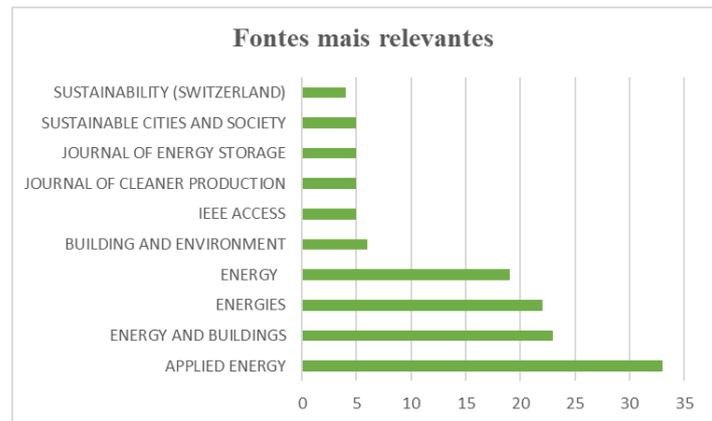


Figura 3 - Fontes mais relevantes.

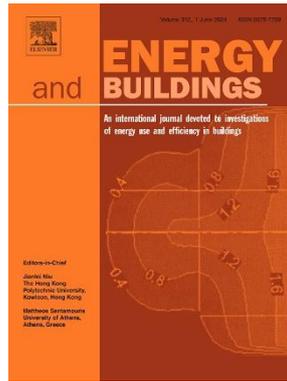
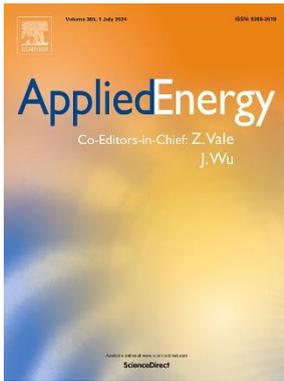


Figura 4 - Periódicos com maior número de produções sobre o tema ao longo do tempo.

A **Figura 5** apresenta um gráfico detalhado dos autores mais relevantes, dado pelo número de artigos publicados. Este gráfico fornece uma visão clara sobre a contribuição de diferentes pesquisadores para o campo, e observasse que grande parte dos pesquisadores, que tem se destacado na produção científica examinada, são da China. Como será detalhado mais adiante, a China tem a maior produção sobre o tema.



Figura 5 - Autores mais relevantes.

Ao examinar a produção científica de cada país, a China se destaca como o país com o maior volume de publicações durante o período analisado, seguida pelo Reino Unido, Estados Unidos, Itália e Espanha, como ilustrado na **Figura 6**.

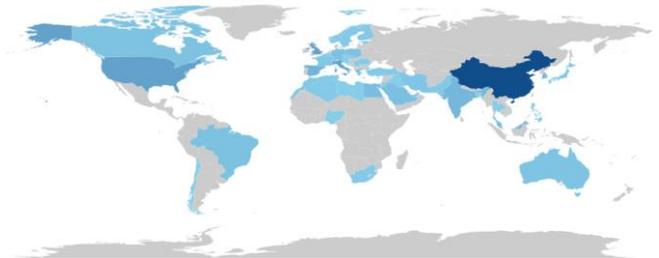


Figura 6 - Países com produção científica sobre o tema.

A China, sendo o maior fabricante mundial de painéis solares, cria um ambiente altamente favorável para pesquisa e desenvolvimento, destacando-se pela sua contribuição significativa para o avanço do conhecimento nesta área. Porém, há uma variedade de publicações sobre o assunto provenientes de diferentes países. Os países com cores mais fortes possuem uma produção científica maior do que os países com tons mais claros.

A partir da nuvem de palavras obtida através do Bibliometrix (**Figura 7**), percebe-se que a adoção de técnicas visando a eficiência energética está se tornando cada vez mais popular e continua a despertar o interesse de pesquisadores contemporâneos, juntamente com os termos "geração de energia solar" e "energia fotovoltaica", refletindo a metodologia predominante para a conversão de energia solar em eletricidade. Esta ênfase na energia fotovoltaica ressalta seu papel crescente na pesquisa e desenvolvimento de soluções energéticas sustentáveis.

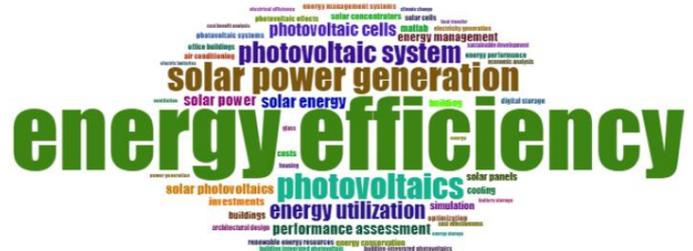


Figura 7 - Nuvem de palavras sobre energia solar relacionadas na literatura.

A **Figura 8** oferece uma representação visual clara e intuitiva dos dados, utilizando de áreas proporcionais para apresentar uma comparação quantitativa das diferentes categorias, apresentadas anteriormente. As áreas maiores no mapa representam itens mais relevantes e com maior volume de publicações.

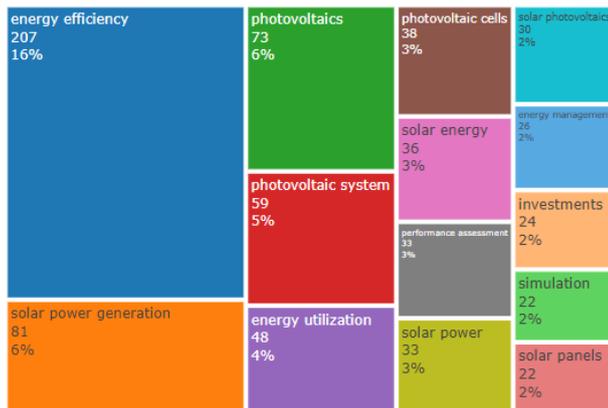


Figura 8 - Importância relativa das palavras dentro do conjunto de dados.

Diante deste cenário, pode-se assumir que os estudos sobre técnicas de energia solar têm ganhado impulso desde 2008, ao examinar as principais pesquisas, descobertas e tendências na área neste período. Com o agravamento das mudanças climáticas e, conseqüentemente, o aumento da demanda por fontes de energia renovável, é previsto que esse tema se expanda ainda mais.

Espera-se que novas pesquisas abordem alternativas para otimizar o funcionamento dessas técnicas de uso de energia solar, ampliando assim a fronteira do conhecimento neste campo e incentivando a utilização destas técnicas de energia sustentável.

5. Considerações Finais

A análise bibliométrica sobre as alternativas energéticas e técnicas de energia solar em edificações urbanas, por meio da plataforma Bibliometrix, trouxe uma compreensão sobre o que está sendo pesquisado sobre o tema. As visualizações quantitativas obtidas a partir dos dados bibliográficos, sintetizaram as informações obtidas sobre os estudos no período de publicação de 2008 a 2024.

Dentro desse intervalo de tempo, algumas fontes se destacaram por apresentarem maior número de produções sobre o tema. Como mencionado anteriormente, o pico de publicações dentre os 194 artigos encontrados ocorreu em 2023.

Ao analisar a produção científica de diferentes países, destaca-se que a China lidera com o maior volume de publicações ao longo do período estudado. A China é o maior fabricante mundial de painéis solares, o que permite um ambiente propício para a pesquisa e o desenvolvimento, ressaltando sua significativa contribuição para o avanço do conhecimento nesta área.

O papel da China na produção científica também pode ser atribuído a suas políticas de incentivo à pesquisa e o financiamento robusto. A ênfase do governo chinês em se tornar um líder global em tecnologias limpas e sustentáveis estimula não apenas a quantidade, mas também a relevância das pesquisas realizadas. Esta situação destaca a importância de um ambiente de apoio à inovação para a aceleração do progresso científico e tecnológico.

A análise do Bibliometrix revela que o interesse por técnicas de eficiência energética, incluindo geração de energia solar e fotovoltaica, está em crescimento entre os pesquisadores. A projeção é que novas pesquisas ampliem o conhecimento nesse campo e impulsionem o uso de energia sustentável, trazendo técnicas de otimização para esses sistemas, reduzindo o consumo de energia nas edificações.

Pesquisas sobre o tratamento do problema do lixo gerado pelo descarte de placas fotovoltaicas possuem um potencial de crescimento significativo, especialmente à medida que a adoção de energia solar continua a expandir globalmente. O aumento da implementação de painéis solares em residências, empresas e instalações industriais implica uma crescente geração de resíduos sólidos relacionados, que requer soluções eficazes e sustentáveis para garantir uma economia circular e reduzir os impactos no ambiente.

O aumento da emissão de CO₂ no ambiente e de gases que geram o efeito estufa tem causado mudanças climáticas significativas no ecossistema. A crescente conscientização sobre as questões ambientais e a necessidade de desenvolver tecnologias de energia renovável mais sustentáveis têm impulsionado o interesse por pesquisas nessa área.

Referências

- Aria, M.; Cuccurullo, C. (2017). **Bibliometrix**: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959-975.
- Bosu, I., Ma69hmod, H.; Ookawara, S.; & Hassan, H. (2023). **Applied single and hybrid solar energy techniques for building energy consumption and thermal comfort: A comprehensive review**. In: *Solar Energy* (259, 188–228). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.05.006>.



Energy Information Administration, U. S. (2016). **International Energy Outlook 2016.**

[https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf).

CARVALHO, Joaquim Francisco de (2008). Combustíveis fósseis e insustentabilidade. **Ciência e Cultura**, 60(3), 30-33. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252008000300011&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 13 de maio de 2024.

Godinho, C. (2023). **A Importância das Comunidades de Energia Renovável na Descarbonização.** ISCAP, Instituto Politécnico Do Porto. <https://orcid.org/0009-0004-0308-4534>.

Gonçalves, M. J. R. (2019). How to Make a Research Project for a Literature Review Article. **Revista JRG de Estudos Acadêmicos- Ano II, II(5).**

Hosenuzzaman, M.; Rahim, N. A.; Selvaraj, J.; Hasanuzzaman, M.; Malek, A. B. M. A.; & Nahar, A. (2015). **Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 284–297. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.046>.

Imai, H. E.; Bósio, L. F.; da Silva, A. A.; Berto, L. K.; Yamaguchi, N. U.; & Herek Rezende, L. C. S. (2020), October 26 Simulação computacional como ferramenta de otimização na geração de energia solar fotovoltaica. **Urbe**, 12. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.012.E20190343>.

Rosa, L. P. da; Oliveira, R. F.; & Schröder, N. T. (2023). Energia Fotovoltaica: Geração de Energia Elétrica Sustentável. **XIV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental.**
<https://doi.org/10.55449/congea.14.23.x-009>



SENSIBILIDADE DE PARÂMETROS HIDROLÓGICOS EM ESTUDOS DE MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM MICROBACIAS URBANAS

Gustavo Izidro¹, Cláudia Cotrim Pezzuto²

1. Mestrando, gustavo.i@puccampinas.edu.br, Programa de Pós-Graduação de Sistemas de Infraestrutura Urbana da PUC Campinas,
2. Doutora, claudiapezzuto@puc-campinas.edu.br, Programa de Pós-Graduação de Sistemas de Infraestrutura Urbana da PUC Campinas

Resumo:

Os estudos de engenharia para os sistemas de infraestrutura urbana apresentam grande importância na busca pela mitigação de eventos de alagamentos, inundações e enchentes nas cidades. Para a realização de estudos técnicos de manejo de águas pluviais, faz-se necessário a definição dos parâmetros hidrológicos como tempo de retorno e duração de chuva de forma que sejam apresentados resultados confiáveis em conformidade com as publicações técnicas e manuais de aprovação de órgãos controladores. As recomendações técnicas para os parâmetros hidrológicos a serem utilizados, muitas vezes apresentam discrepâncias e variações, dificultando a padronização na determinação de resultados para eventos hidrológicos em estudo. O presente artigo apresenta uma análise sobre a influência da variação de parâmetros hidrológicos de tempo de retorno e duração de chuva na obtenção das vazões de pico e volumes acumulados para uma microbacia urbana localizada no município de Jundiaí, São Paulo, a partir de simulação computacional. Espera-se ao final da pesquisa compreender a sensibilidade da variação destes parâmetros durante modelagens computacionais para estudos de manejo de águas pluviais.

Palavras-chave: manejo de águas pluviais, tempo de retorno, PCSWMM

1. Introdução

A falta de planejamento adequado para os sistemas de infraestrutura urbana mediante ao crescimento acelerado nas cidades e o aumento das áreas impermeáveis, traz problemas diretos à população devido a possibilidade de ocorrência de alagamentos com a impermeabilização do solo e conseqüentemente aumento do escoamento superficial. Agravando ainda mais este problema, destaca-se as atuais alterações climáticas e aumento das precipitações históricas, sendo necessário a realização de estudos aprofundados na busca pela mitigação destes problemas. (Sureshi, 2023; Ferrans, 2023).

Nos estudos hidrológicos, o tempo de retorno ou período de retorno, pode ser definido como o inverso da probabilidade da ocorrência do fenômeno hidrológico em estudo, representando desta forma o tempo médio que o evento poderá ocorrer (Tucci, 1993).

Para determinação das chuvas máximas em locais de estudo, a relação matemática utilizada é a equação denominada intensidade-duração-frequência (IDF). Esta

equação relaciona a intensidade máxima da chuva (altura da chuva em mm), sua duração no tempo (em minutos) e o tempo de retorno (em anos). As equações IDF são obtidas através de registros dos dados de chuvas e eventos máximos ocorridos em um determinado período, utilizando-se ainda os parâmetros de duração de chuva e frequência de ocorrência de forma que o evento hidrológico seja categorizado corretamente conforme necessidades do estudo, demonstrando a importância na adoção de valores criteriosos para estudos técnicos. (Sabóia et al., 2015)

A definição das soluções de manejo de águas pluviais a serem utilizadas em estudos técnicos passa por uma análise de diversas variáveis como os parâmetros hidrológicos e características físicas da bacia de contribuição analisada. Um importante recurso para a escolha e análise da eficiência das soluções de para mitigação das vazões de pico acumuladas e cenários hidrológicos, é a utilização de modelagens computacionais que permitem avaliar cenários diversos, tanto dos parâmetros hidrológicos quanto das características hidráulicas das soluções. Auxiliando na tomada de decisão para a escolha mais adequada com base nas contribuições efetivas avaliadas para diversos cenários hidrológicos (Arjenaki et al., 2021).

Com base nisso, o presente artigo tem como objetivo avaliar a sensibilidade na variação de parâmetros hidrológicos como tempo de retorno e duração de chuva para um recorte de uma microbacia urbana localizada na cidade de Jundiaí, São Paulo através da realização de modelagem computacional com a utilização do software PCSWMM (Personal Computer Storm Water Management Model) desenvolvido pela empresa CHI (Computational Hydraulics Inc.), empresa localizada em Ontario, Canadá.

2. Metodologia

O local de estudo da presente pesquisa encontra-se no município de Jundiaí, no estado de São Paulo, com uma altitude média de 762 metros. Possui área territorial total de 431,204 km² e sua extensão territorial o torna o 200º município com maior área no Estado de São Paulo. (IBGE, 2022).

Possui área urbana total com 112 km² e área com cerca de 320 km², sendo 228,60 km² área de cultivo e 91,40 km² de área de preservação da Serra do Japi (PMJ, 2024).

A população total do município de Jundiaí é de 443.221 habitantes, apresentando uma densidade demográfica de 1.027,87 hab./Km² ocupando a posição de número 37º no Estado de São Paulo. (IBGE, 2022).

Localizado a uma distância de 49 km da Capital do Estado de São Paulo, o município de Jundiá faz parte da região administrativa de Campinas e possui divisa com os municípios de Vinhedo, Itatiba e Louveira ao Norte, Campo Limpo Paulista, Jarinu e Várzea Paulista ao Leste, Cabreúva e Itupeva a Oeste e Cajamar, Franco da Rocha e Pirapora do Bom Jesus ao Sul.

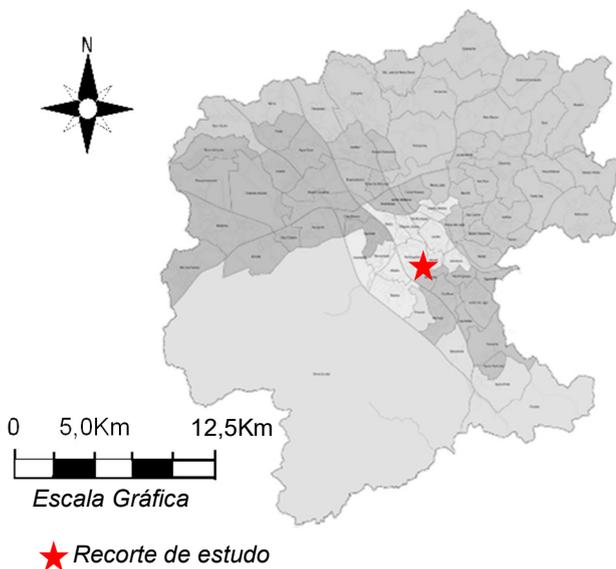
O acesso ao município de forma rodoviária ocorre pelas Rodovias dos Bandeirantes e Rodovia Anhanguera sendo as rodovias principais da região. Possui também acessos diretos pelas Rodovias D. Gabriel Paulino Bueno Couto, Rodovia Tancredo de Almeida Neves, Rodovia Constâncio Cintra e Rodovia Geraldo Dias.

Após a definição do local do estudo, foram verificadas as bacias de contribuição integrantes do município e quais vias possuem potencial para realização do recorte de estudo. Foi definida a bacia contribuinte que engloba a Avenida Jundiá por representar uma importante via no município. O trecho de recorte está localizado ao longo da Avenida Jundiá entre as Avenida Comandante Vidélmo Munoz, Avenida Amadeu Ribeiro e encerrando na Rua Professor Giacomio Itria.

A **Figura 1** apresenta a localização do recorte no interior do município de Jundiá no estado de São Paulo

Figura 1: Localização da área de recorte no município de Jundiá / SP.

Fonte: (a) PMJ, 2024; (b) Adaptado de Google Earth, 2024.



2.1 Coleta de Dados

Para coleta de dados na presente pesquisa foi realizado o agrupamento de duas categorias de dados, sendo eles, dados ambientais e dados físicos.

Os dados ambientais referem-se aos dados relacionados ao ambiente em que o recorte está inserido de forma ampla, já os dados físicos refere-se aos dados relacionados ao local do recorte e suas características físicas de forma mais restrita e aplicada *in loco*.

A obtenção dos dados foram necessários para definição dos inputs de entrada no software de modelagem.

As **Tabelas 1 e 2** apresentam um resumo dos dados obtidos:

Tabela 1: Dados Ambientais obtidos em pesquisa e vistoria

Tipo de Dado	Objetivo
Bacias Hidrográficas	Definição das macrobacias de contribuição
Dados Hidrológicos	Caracterização do regime hidrológico da região

Tabela 2: Dados Físicos obtidos em vistoria

Tipo de Dado	Objetivo
Sub-bacias	Definição das contribuições e sub-bacias
Áreas e revestimentos	Definição das áreas e tipos de revestimentos
Sentido do escoamento	Definição do sentido de escoamento e contribuição

2.1.1 Dados Ambientais

A hidrografia do município de Jundiá é dividida em 7 bacias sendo elas: Jundiuvira, Guapeva, Estiva, Ribeirão Cachoeira/Caxambu, Jundiá Mirim, Rio Capivari e Bacia do Rio Jundiá.

O local de estudo encontra-se na divisa das bacias do Estiva e da Bacia do Rio Jundiá, localizada próxima ao ponto alto das referidas bacias.

Para obtenção dos dados hidrológicos da região de estudo, foram coletados os dados pluviométricos do posto 2.346.097, integrante da RHN – Rede Hidrometeorológica Nacional, por meio da plataforma HIDROWEB apresentada no site da ANA – Agência Nacional de águas (SNIRH, 2024). Foram utilizados os dados históricos de chuva de 1938 a 2023.

O posto localiza-se a uma distância em linha reta de 550m da área de estudo e essa proximidade permitirá representar com fidelidade o comportamento hidrológico a ser avaliado. Com os dados de precipitação, foi utilizado o sistema GAM-IDF (*Genetic Algorithm Methodology for IDF*), (GAM IDF, 2024). Após processamento, foi realizada a obtenção da equação de intensidade, duração e frequência apresentada na **Equação 1**.

Equação 1: Equação de Intensidade Duração e Frequência obtida para a região do estudo

$$i = \frac{696,195 \times T^{0,386}}{(t + 9.201)^{0,706}}$$

Onde:

i = intensidade da chuva (mm/h)

T = tempo de retorno (anos)

t = duração da precipitação (minutos)

Para este estudo, foram considerados eventos com diferentes durações (10, 30, 60 e 120 min.) e tempos de retorno (2, 5, 10 e 25 anos) de forma que o objetivo do estudo fosse alcançado na análise da sensibilidade da variação destes parâmetros para obtenção das vazões de pico e volume acumulado.

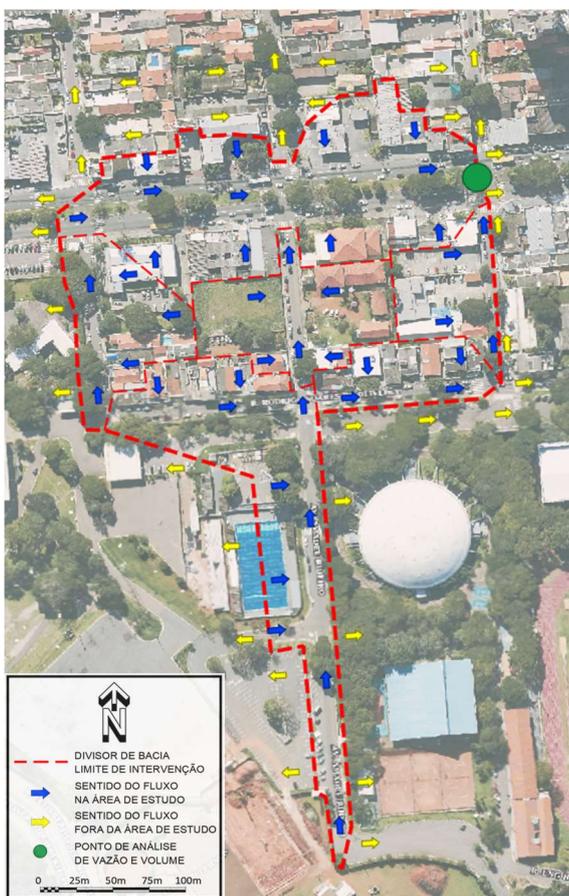
Realizou-se também a discretização das chuvas utilizando a metodologia dos blocos alternados, conforme apresentado por Silva, et. al (2019), na qual a precipitação total é distribuída no tempo da duração da chuva, considerando intervalos de análise de 2 minutos.

2.1.2 Dados Físicos

Para obtenção dos dados físicos da região de estudo foram realizadas vistorias no local e, desta forma, foi possível compreender todas as características reais com relação ao caminhamento das sub-bacias, áreas de contribuição, tipos de revestimento e sentido do escoamento ao longo de todas as sub-bacias de contribuição.

Esta vistoria, juntamente com a análise de plantas de levantamento topográfico e imagens aéreas, contemplou a caracterização das seguintes variáveis: delimitação das sub-bacias e obtenção das suas áreas, aferição da largura e declividade das sub-bacias e identificação das áreas permeáveis e impermeáveis. A **Figura 2** apresenta os limites da área de vistoria e intervenção do recorte com a identificação do ponto de análise e bacias contribuintes.

Figura 2: Limite da área de intervenção
Fonte: Adaptado de Google Earth, 2024



Com utilização do software *Autodesk Civil 3D*, foram utilizados levantamentos topográficos da área e imagens aéreas, sendo possível a digitalização das bacias de contribuição, definindo-se assim, os valores das áreas de de cada bacia.

As áreas de contribuição foram categorizadas com base no tipo de revestimento, sendo agrupadas conforme apresentado nas **Tabelas 3 e 4**.

Tabela 3: Áreas categorizadas para o sistema viário

Tipo	Descrição
Áreas permeáveis	Jardins e áreas verdes junto as vias
Áreas impermeáveis	Circulação de veículos e de pedestres

Tabela 4: Áreas categorizadas para o interior dos lotes

Tipo	Descrição
Áreas permeáveis	Jardins e áreas verdes no interior dos lotes
Áreas impermeáveis	Construções e caminhos de pedestres no interior dos lotes

Devido as dimensões reduzidas e geometria homogênea do trecho de recorte, foram utilizadas as larguras e declividades reais das bacias. Para definição da infiltração e runoff foi utilizada a metodologia do Curve Number (CN) do U.S. Soil Conservation Service (SCS). Com base na análise das áreas permeáveis e impermeáveis, definiu-se os parâmetros CN de cada um dos tipos de revestimento, sendo calculadas médias ponderadas entre os valores de CN e as áreas de cada bacia.

A partir dos valores das áreas permeáveis e impermeáveis, foram obtidos os valores finais do percentual de área impermeável de cada bacia, parâmetro necessário para modelagem no *PCSWMM*.

O presente estudo utilizará o valor de 0,024 para áreas impermeáveis e 0,15 para áreas permeáveis como os coeficiente de manning (rugosidade) conforme proposto por Canholi (2015).

Foram adotados os valores sugeridos no manual do software sendo 2,54mm para a altura de armazenamento em depressões nas áreas impermeáveis e 5mm para a altura de armazenamento em depressões nas áreas permeáveis.

Ainda durante a vistoria foi possível identificar a sequência de contribuição das bacias de forma que esta definição possa ser inserida na modelagem computacional.



2.1.3 Dados de Input no software PCSWMM

Para criação da modelagem ao PCSWMM, foram definidos parâmetros diversos ao longo da metodologia apresentada, e a **Tabela 5** apresenta uma síntese do parâmetros gerais de modelagem.

Com a finalização da modelagem junto ao PCSWMM foi possível a obtenção dos resultados de vazão de pico e volume acumulado no ponto de análise

Tabela 5: Parâmetros gerais de modelagem para input no PCSWMM

Parâmetro	Valor considerado
Períodos de Retorno (cenários)	2, 5, 10 e 25 anos
Duração da Chuva (cenários)	10, 30, 60 e 120 minutos
Modelo de Infiltração	Método CN – SCS
Manning (impermeável e Permeável)	0,024 e 0,15
Armazenamento em depressões (impermeável e Permeável)	2,54 mm e 5,00mm

Os parâmetros de área permeáveis e CN foram calculados em função dos valores obtidos na vetorização das sub-bacias e seus respectivos revestimentos.

Para obtenção dos valores de CN foram consideradas médias ponderadas entre as áreas efetivas de cada tipo de revestimento e os valores de CN indicados na **Tabela 6**.

Tabela 6: Parâmetros de CN considerados para cada parcela das sub-bacias em função do revestimento.

Local	Revestimento	CN
Sistema Viário	Jardins e áreas verdes	74
	Circulação de pedestres	89
	Circulação de veículos	98
Interior dos lotes	Jardins e áreas verdes	74
	Construções e caminhos	98

De posse de todos os inputs de entrada foram fixadas as variáveis para estudo de cenários. Os cenários foram definidos em função dos parâmetros hidrológicos indicadas sendo realizadas simulações para durações de chuva de 10, 30, 60 e 120 minutos para cada tempo de retorno sendo eles 2, 5, 10 e 25 anos.

Foram realizadas um total de 16 simulações.

3. Resultados

A **Figura 3** e apresenta os resultados de vazão de pico (VP) em m³/s e a **Tabela 7** apresenta os resultados de VP e volume acumulado (VA) em m³ para Duração de Chuva (DC) de 10 min. Resultados obtidos para tempos de retorno (TR) de 2, 5, 10 e 25 anos.

Figura 3: Resultados de VP para DC de 10 minutos.

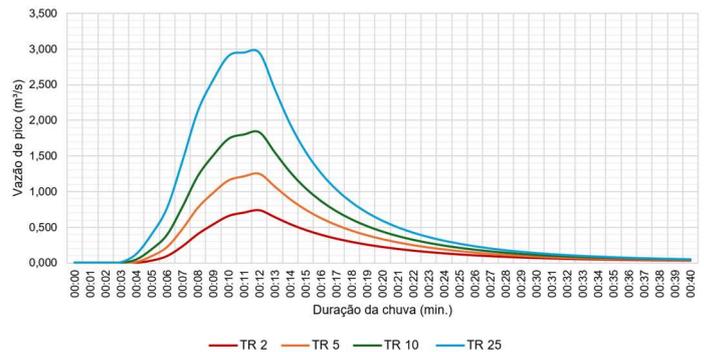


Tabela 7: Resultados de VP e VA para DC de 10 minutos.

TR (anos)	VP (m ³ /s)	VA (m ³)
2	0,74	527
5	1,25	854
10	1,83	1.207
25	2,95	1.867

A **Figura 4** e apresenta os resultados de VP e a **Tabela 8** apresenta os resultados de VP e VA para DC de 30 min. Resultados obtidos para TR de 2, 5, 10 e 25 anos.

Figura 4: Resultados de VP para DC de 30 minutos.

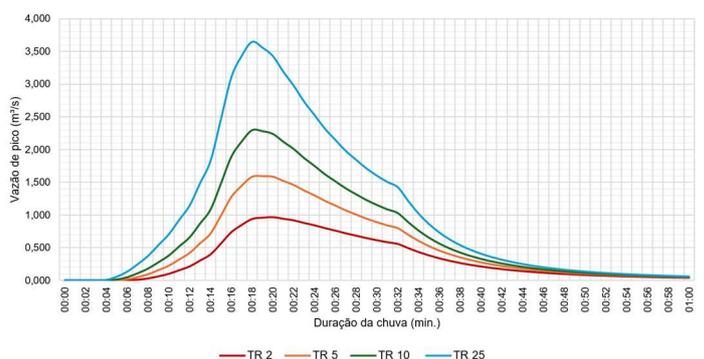


Tabela 8: Resultados de VP e VA para DC de 30 minutos.

TR (anos)	VP (m ³ /s)	VA (m ³)
2	0,97	1.228
5	1,59	1.871
10	2,29	2.544
25	3,64	3.773



A **Figura 5** e apresenta os resultados de VP e a **Tabela 9** apresenta os resultados de VP e VA para DC de 60 min. Resultados obtidos para TR de 2, 5, 10 e 25 anos.

Figura 5: Resultados de VP para DC de 60 minutos.

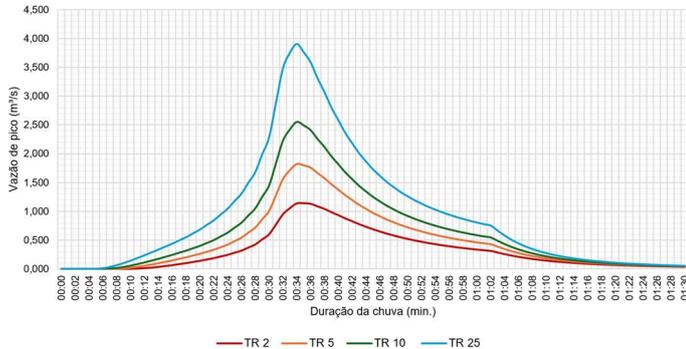


Tabela 9: Resultados de VP e VA para DC de 60 minutos.

TR (anos)	VP (m³/s)	VA (m³)
2	1,14	1.760
5	1,82	2.633
10	2,55	3.542
25	3,91	5.196

A **Figura 6** e apresenta os resultados de VP e a **Tabela 10** apresenta os resultados de VP e VA para DC de 120 min. Resultados obtidos para TR de 2, 5, 10 e 25 anos.

Figura 6: Resultados de VP para DC de 120 minutos.

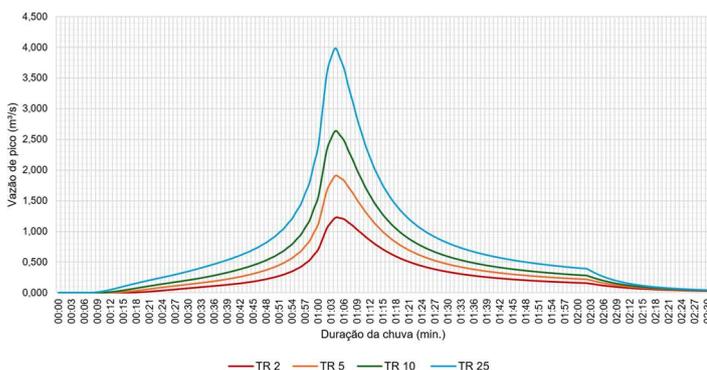


Tabela 10: Resultados de VP e VA para DC de 120 minutos.

TR (anos)	VP (m³/s)	VA (m³)
2	1,23	2.349
5	1,91	3.480
10	2,64	4.654
25	3,98	6.788

De posse dos resultados das simulações foi possível avaliar o aumento de VP e VA ocorrido para cada TR e DC avaliados. Os aumentos avaliados foram de TR 2 para TR 5 anos, TR

2 para TR 10 anos, TR 2 para TR 25 anos, TR 5 para TR 10 anos, TR 5 para 25 anos e TR 10 para TR 25 anos.

A **Tabela 11** apresenta os resultados de Aumento de Vazão de Pico (AVP) e a **Tabela 12** apresenta os resultados de Aumento do Volume Acumulado (AVA) para cada uma das faixas de variação avaliadas.

Tabela 11: Aumento de Vazão de Pico (AVP) para as faixas consideradas

Variação (TR)	AVP (%)			
	DC: 10 min	DC: 30 min	DC: 60 min	DC: 120 min
2 p/ 5 (150%)	69,97%	63,98%	60,28%	55,65%
2 p/ 10 (400%)	148,71%	136,21%	124,62%	114,84%
2 p/ 25 (1150%)	300,85%	275,56%	243,78%	224,61%
5 p/ 10 (100%)	46,33%	44,05%	40,15%	38,03%
5 p/ 25 (400%)	135,84%	129,03%	114,49%	108,55%
10 p/ 25 (150%)	61,17%	59,00%	53,05%	51,09%

Tabela 12: Aumento do Volume Acumulado (AVA) para as faixas consideradas

Variação (TR)	AVA (%)			
	DC: 10 min	DC: 30 min	DC: 60 min	DC: 120 min
2 p/ 5 (150%)	62,26%	52,36%	49,60%	48,15%
2 p/ 10 (400%)	129,25%	107,17%	101,25%	98,13%
2 p/ 25 (1150%)	254,61%	207,25%	195,23%	188,97%
5 p/ 10 (100%)	41,29%	35,97%	34,52%	33,74%
5 p/ 25 (400%)	118,54%	101,66%	97,34%	95,06%
10 p/ 25 (150%)	54,68%	48,31%	46,70%	45,85%

As variações de TR em intervalos de avanço entre 100 e 150% (TR 2 para 5, TR 5 para 10 e TR 10 para 25) apresentam aumentos percentuais tanto para VP, quanto para VA, com certa similaridade dentro de uma faixa de intervalos comuns entre 38,03% e 69,97% para VP e 33,74% e 62,26% para VA.

Já para variações de TR considerando 400% de avanço (TR 2 para 10 e TR 5 para 25), também se identifica uma faixa de intervalos para os aumentos percentuais, sendo localizada entre 108,55% e 148,71% para VP e 95,06% e 129,25% para VA.

No intervalo extremo, temos a variação de 1150% (TR 2 para 25), onde nota-se os aumentos percentuais de VA variando entre 224,61% e 300,85% e para VP entre 188,97% e 254,61%.

As **Figuras 7 e 8** apresentam graficamente os percentuais de AVP e AVA encontrados, onde pode-se notar as faixas de variação comum entre as variações de TR.



Figura 7. Representação dos intervalos de variações de TR e AVP encontrados.

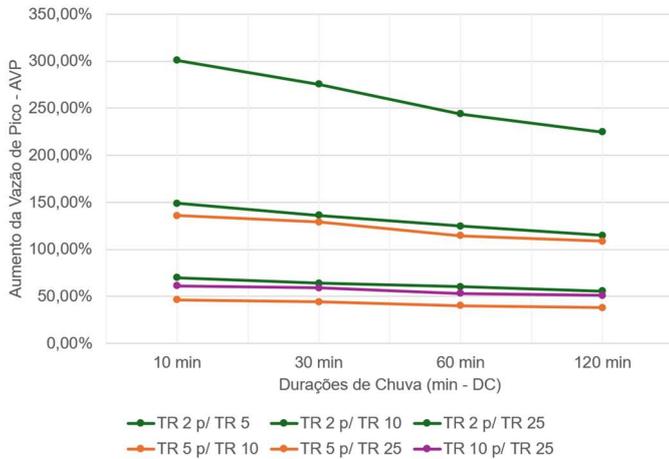
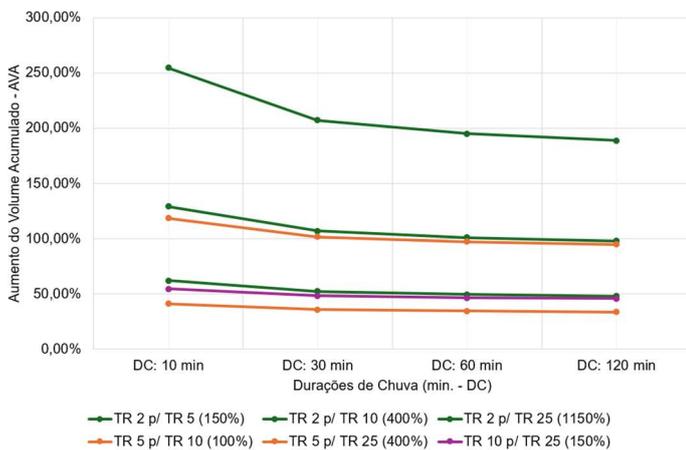


Figura 8: Representação dos intervalos de variação de TR e AVA encontrados.



Os resultados demonstram o aumento significativo de VP e VA quando os valores de TR e DC são modificados, demonstrando a sensibilidade nos resultados e consequentemente a importância na definição de parâmetros hidrológicos a serem utilizados em estudos de manejo de águas pluviais.

4. Considerações Finais

O presente estudo demonstrou como a variabilidade do tempo de retorno (TR) e durações da chuva (DC) utilizados em estudos técnicos influenciam diretamente, de forma significativa, nos valores de vazões de pico (VP) e volumes acumulados (VA) para microbacias urbanas. Isso ressalta a necessidade de estabelecer parâmetros técnicos seguros para escolha dessas variáveis em estudos de planejamento e manejo de águas pluviais.

Com a realização das simulações e análise dos resultados pode-se observar que ao modificarmos o TR, aumentando seus valores e diminuindo a probabilidade de ocorrência do evento analisado, as vazões de pico e volume acumulado variam significativamente trazendo aumentos nos valores finais.

Os resultados finais de estudos de modelagem computacional como os apresentados nesta pesquisa, norteiam políticas públicas para a implantação de soluções mitigadoras e dispositivos de micro e macro drenagem nas cidades. Desta forma, estas soluções e dispositivos podem não apresentar capacidade de escoamento para eventos extremos, justamente por serem dimensionados com períodos de retorno não recomendados.

Fica evidente a importância na definição de parâmetros seguros para estudos hidrológicos e hidráulicos de forma que os eventos possam ser combatidos com eficiência a depender da probabilidade de ocorrência requerida.

Para estudos futuros recomenda-se a avaliação de outras microbacias urbanas com aplicação de diferentes equações de intensidade, duração e frequência para verificar desta forma a influência da variabilidade das equações IDF juntamente com a variabilidade dos parâmetros hidrológicos.

5. Agradecimentos

Agradecimentos ao apoio da PUC Campinas e CAPES / PROSUC II, a empresa CHI (Computational Hydraulics Inc.), Ontário, Canadá, no fornecimento da licença do software PCSWMM e ao Processo nº 2023/09875-1, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Referências

ARJENAKI, Majid Omid *et al.* Modeling and investigating the effect of the LID methods on collection network of urban runoff using the SWMM model (case study: Shahrekord City). **Modeling Earth Systems and Environment**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 1–16, 2021.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

FERRANS, Pascual *et al.* Flood Management with SUDS: A Simulation–Optimization Framework. **Water**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 426, 2023.

IBGE. **Cidades e estados, Jundiaí**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/jundiai.html>. Acesso em: 5 de Maio de 2024. [S. l.], 2022.

PMJ. **Prefeitura Municipal de Jundiaí**. Disponível em: <https://jundiai.sp.gov.br/>. Acesso em 10 Abril de 2024. [S. l.], 2024.

GOOGLE EARTH. **Google Earth**. [S. l.: s. n.], 2024.

GEOJUNDIAÍ. **GeoJundiaí - Portal de Geotecnologias**. Disponível em: <https://geo.jundiai.sp.gov.br/geojundiai/>. Acesso em: 01 de Abril de 2024. [S. l.], 2024.

GAM IDF. **Gam IDF**. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/hidrologiaemodelagemhidrologica/gam-idf/>. Acesso em 20 de Abril de 2024. [S. l.], 2024.

SILVA, Camila de Mello *et al.* AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS COM MEDIDAS DE CONTROLE DO ESCOAMENTO NO SISTEMA DE DRENAGEM EM UMA ÁREA URBANA. **XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, [s. l.], 2019.



SNIRH, 2024. **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Agência Nacional de Águas. Portal Hidroweb.** 08 de Maio de 2024. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb>

SURESH, Amrutha; PEKKAT, Sreeja; SUBBIAH, Senthilmurugan. Quantifying the efficacy of Low Impact Developments (LIDs) for flood reduction in micro-urban watersheds incorporating climate change. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 95, p. 104601, 2023.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 1. ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 1993.

SABÓIA, Marcos A. et al. Análise do impacto das mudanças climáticas nas chuvas intensas da cidade de Fortaleza, Ceará. **XXI Simposio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2015.



Tecnologias e estratégias para redução de emissões CO₂ utilizando concreto sustentável

Valéria de Almeida¹, Gilvan Bezerra dos Santos Júnior²

1. Aluna da graduação, valeria.almeida@alunos.ufersa.edu.br, Universidade Federal Rural do Semi-Árido
2. Professor Doutor, gilvan.bezerra@ufersa.edu.br, Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Resumo: Este trabalho investiga inovações tecnológicas na construção civil com o objetivo de oferecer uma visão abrangente das soluções mais promissoras para mitigar as emissões de gases de efeito estufa, promovendo um setor mais verde e responsável. A pesquisa foca na redução das emissões de CO₂ associadas à produção de cimento, analisando tecnologias como concreto de baixa emissão, concreto permeável, concreto fotocatalítico, tecnologias de captura de CO₂ e uso de agregados reciclados. A análise revela que essas tecnologias oferecem benefícios significativos, como a redução das emissões de carbono, aumento da durabilidade e diminuição da manutenção. No entanto, enfrentam desafios importantes: o concreto de baixa emissão depende da disponibilidade de materiais específicos; o concreto permeável necessita de mais testes; o concreto fotocatalítico tem altos custos; as tecnologias de captura de CO₂ são complexas e caras; e o uso de agregados reciclados e materiais de baixa emissão enfrenta questões de qualidade e disponibilidade. Conclui-se que, para que essas tecnologias se tornem comuns, é crucial superar desafios como altos custos, necessidade de infraestrutura adequada e variações na qualidade e desempenho. Enfrentar esses obstáculos é essencial para promover uma construção mais sustentável e eficiente.

Palavras-chave: sustentabilidade, emissões de CO₂, Inovações tecnológicas.

1. Introdução

A construção civil é um setor crucial para o desenvolvimento urbano e econômico, mas também é responsável por impactos ambientais significativos, principalmente devido às emissões de CO₂ associadas à produção de cimento e ao uso de recursos naturais. Em resposta a esses desafios, a indústria tem adotado e desenvolvido diversas tecnologias e estratégias inovadoras para minimizar os impactos ambientais. Entre essas inovações estão o concreto com baixa emissão de carbono, o concreto permeável, e o concreto autolimpante fotocatalítico, além das tecnologias de captura de CO₂ e o uso de agregados reciclados. Essas soluções visam reduzir as emissões de gases de efeito estufa, melhorar a gestão de águas pluviais, e promover o reaproveitamento de materiais, contribuindo para uma construção mais sustentável e eficiente.

De acordo com Lima (2022), a evolução e a tecnologia aplicadas ao concreto ao longo dos anos possibilitaram o desenvolvimento de concretos especiais voltados para a

redução de fissuras. Esse avanço foi obtido através da adição de fibras de aço, permitindo a utilização de menos recursos naturais e o melhor aproveitamento dos subprodutos industriais, o que resultou no surgimento do conceito de concreto sustentável.

Nesse contexto, a pesquisa visa destacar as principais tecnologias da construção civil que são eficazes na redução das emissões de carbono. Ao examinar essas inovações, a pesquisa busca identificar como elas contribuem para uma construção mais sustentável e menos impactante ao meio ambiente. O objetivo é oferecer uma visão abrangente das soluções mais promissoras que ajudam a mitigar as emissões de gases de efeito estufa, promovendo um setor da construção mais verde e responsável. Assim, a pesquisa não apenas ilumina o avanço tecnológico, mas também oferece diretrizes para a implementação de práticas que alinhem desenvolvimento urbano com sustentabilidade ambiental.

2. Metodologia

Este estudo será conduzido em etapas para analisar tecnologias e estratégias para reduzir impactos ambientais na construção civil. Primeiramente, será realizada uma revisão bibliográfica de artigos, relatórios e normas para identificar tecnologias sustentáveis. Em seguida, as tecnologias selecionadas, como concreto de baixa emissão de carbono, concreto permeável, e tecnologias de captura de CO₂, serão analisadas quanto a suas características, benefícios.

3. Resultados

3.1 Concreto com alta resistência com baixa emissão de carbono

Segundo Junior e Barata (2022), apesar dos esforços para reduzir as emissões de CO₂, como melhorias na eficiência dos fornos, mudanças nos combustíveis e o uso de substitutos como cinzas volantes e escórias de alto-forno, essas medidas ainda não são suficientes para acompanhar o aumento da produção de cimento. Novas alternativas estão sendo exploradas, como os geopolímeros e a melhoria na eficiência dos ligantes, mas estas soluções ainda estão longe de ser aplicadas em larga escala. A utilização de materiais cimentícios e pozolânicos (adições minerais) é uma das melhores alternativas para reduzir as emissões de CO₂ e o consumo de matéria-prima.

No entanto, para Junior e Barata (2022), essa abordagem enfrenta limitações devido à disponibilidade restrita desses

materiais. A escória de alto-forno representa apenas de 5 a 10% da produção de cimento, enquanto a cinza volante corresponde a cerca de 30%. Além disso, a qualidade variável da cinza volante significa que apenas aproximadamente 10% dela é aproveitada de forma eficaz como adição ao cimento. Baseando nesse contexto, ainda sobre essas tecnologias sustentável, também existe a tecnologia do concreto fotocatalítico, que por sua vez, foi projetada para melhorar a qualidade do ar e aumentar a durabilidade das superfícies do concreto.

3.2 Concreto autolimpante/fotocatalítico

O concreto autolimpante é uma tecnologia inovadora que incorpora aditivos especiais na mistura do concreto para torná-lo capaz de remover manchas e sujeiras de forma automática, através de processos químicos. Além de minimizar a necessidade de manutenção, o concreto autolimpante também contribui para a maior durabilidade das estruturas.

De acordo com Resende e Faria (2022), com o tempo e as mudanças climáticas, as fachadas sujeitas a intemperismo acumulam partículas poluentes que causam manchas. Para minimizar a necessidade de limpeza e manutenções frequentes, o uso de revestimentos fotocatalíticos, como aqueles contendo dióxido de titânio (TiO₂), tem se mostrado vantajoso.

Esses materiais catalisam a degradação dos poluentes, transformando-os em substâncias inofensivas, e promovem superfícies autolimpantes.

Utilizam de tecnologias da fotocatalise que é um incorpora aditivos que, quando ativados pela luz solar, promovem a decomposição de poluentes atmosféricos como óxidos de nitrogênio e dióxido de enxofre. Esses aditivos transformam os poluentes em substâncias menos prejudiciais, melhorando a qualidade do ar.

Para Tovar (2023), quanto maior a exposição solar maior será a eficiência do concreto fotocatalítico, oferecendo grandes desempenhos de descontaminação e autolimpeza. A **Figura 1** mostra uma aplicação do concreto fotocatalítico

Figura 1 - Uso de concreto fotocatalíticos



Fonte: Tovar, 2023.

3.3 Concreto permeável

A NBR 16416: 2015 da ABNT, define os requisitos para pavimentos permeáveis de concreto, que permitem a infiltração da água e melhoram a gestão das águas pluviais. A norma abrange diferentes tipos de pavimentos, como blocos com vazados e concreto poroso, e estabelece critérios para os materiais utilizados, incluindo agregados e cimento. Ela também orienta sobre o projeto, a execução e o controle de qualidade dos pavimentos, além de fornecer diretrizes para a manutenção, garantindo sua durabilidade. Os pavimentos permeáveis ajudam a reduzir enchentes e promovem a recarga de aquíferos. Para informações detalhadas, consulte o texto completo da norma.

Segundo Brasileiro et.al., (2020), o concreto permeável contribui para o desenvolvimento sustentável, porquê utilizando na pavimentação externa contribui de forma positiva para amenizar os impactos do escoamento superficial das águas pluviais, pois permite que a água da chuva infiltre totalmente ou parcialmente no solo, aliviando o sistema de drenagem e diminuindo a velocidade da água. Os sistemas tradicionais de drenagem urbana têm se revelado ineficazes ao transferir grandes volumes de água de forma abrupta para a jusante, sobrecarregando redes de captação que geralmente não são dimensionadas para lidar com grandes picos de vazão. Uma alternativa eficaz tem sido o uso de equipamentos de controle de águas na fonte, que trabalham em conjunto com os sistemas de drenagem convencionais para melhorar a gestão das águas pluviais. (Maises et.al, 2022).

O projeto de concreto permeável, que substitui parcialmente o agregado brita por resíduos da construção e demolição, busca promover a reutilização e reciclagem desses materiais. O objetivo é minimizar os impactos ambientais causados pela indústria da construção civil e seus diversos setores, reduzindo a necessidade de extração de agregados naturais e preservando os recursos naturais (Matar e Barhoun, 2020).

3.4 Agregados reciclados

Segundo a Resolução nº 307 do CONAMA (2002) art 2º, define agregado reciclado como material granular proveniente de resíduos de construção, com requisitos técnicos para uso em obras, aterros e projetos de engenharia. Também aborda o gerenciamento de resíduos, que envolve planejamento e ações para redução, reutilização e reciclagem, incluindo responsabilidades, práticas e recursos necessários.

Conforme a Resolução mencionada, a gestão de resíduos da construção civil deve incluir diversas etapas para ser eficaz: caracterização, triagem, acondicionamento, transporte e destinação. Na fase de caracterização, o gerador é responsável por identificar e quantificar os resíduos. Na etapa de triagem, o gerador deve separar os resíduos de acordo com sua origem e nas áreas de destinação autorizadas, considerando as categorias de resíduos previamente estabelecidas.

A utilização desses materiais é vantajosa por reduzir resíduos, conservar recursos naturais e diminuir custos, mas sua qualidade pode variar e exigir testes e tratamento adicional. A utilização desses materiais promove uma construção mais sustentável e econômica. Na **Figura 2** abaixo mostra agregados reciclados para fins de serviços na construção:

Figura 2 - Agregados reciclados



Fonte: Sustentável, 2020.

Para Leal (2021), a construção civil utiliza uma variedade de materiais, desde a preparação do terreno até a conclusão do projeto. Quando esses materiais deixam de ser utilizados, muitas vezes são descartados de maneira inadequada, o que pode levar à contaminação do solo. É crucial entender os métodos corretos de descarte para prevenir essa contaminação e reduzir o desperdício dos materiais restantes ou inutilizados.

Segundo Sales et.al (2021), o concreto, a argamassa e os resíduos cerâmicos, que vêm principalmente de alvenarias e revestimentos, constituem a maior parte dos resíduos de construção e demolição (RCD). A enorme quantidade desses materiais gera um problema significativo, com implicações sociais e ambientais complexas, especialmente no que se refere à sua disposição final.

3.5 Tecnologias para a captura dióxido de carbono (CO₂)

As emissões de gases de efeito estufa (GEEs) são cruciais para entender e enfrentar a crise climática. Embora as emissões tenham caído temporariamente devido à COVID-19, o Relatório sobre a Lacuna de Emissões do PNUMA (2021), prevê uma recuperação significativa em 2021, com emissões próximas aos níveis recorde de 2019. Os principais GEEs são o dióxido de carbono (CO₂), o metano e o óxido nitroso. O CO₂ permanece na atmosfera por até mil anos, o metano por cerca de uma década e o óxido nitroso por aproximadamente 120 anos. Em termos de impacto em 20 anos, o metano é 80 vezes mais potente que o CO₂ e o óxido nitroso é 280 vezes mais potente (ONU, 2022).

Nesse cenário, projeta-se a necessidade de aumentar significativamente os investimentos em tecnologias e políticas voltadas para a redução dessas emissões.

A captura de carbono é uma tecnologia essencial para enfrentar as mudanças climáticas, visando diminuir a quantidade desse gás na atmosfera. Existem diferentes métodos para capturar o CO₂ das fontes estacionárias: pós-combustão, oxicorte e looping de carbonato.

De acordo com Fortunato et.al (2021), as tecnologias de captura incluem abordagens inovadoras para reduzir as emissões na indústria de cimento.

A captura pós-combustão coleta o gás de combustão após a queima e a passa por um solvente à base de amina, que absorve o CO₂, permitindo sua purificação e armazenamento. O processo de oxicorte utiliza oxigênio puro em vez de ar no forno, aumentando a concentração do gás de efeito estufa nos gases de combustão e tornando a captura mais eficiente, com uma possível redução de emissões de 63% a 100%, embora ainda esteja em fase de testes piloto. A técnica de looping de carbonato emprega um sorvente sólido à base de cálcio que reage com o CO₂ para formar carbonato de cálcio, que é então aquecido para liberar o gás. Esta abordagem promete menor consumo de energia e menos corrosão, mas ainda não foi amplamente implementada.

Após a captura, o gás é transportado e armazenado de forma segura para evitar sua liberação de volta à atmosfera, conforme pode ser visto na **Figura 3**. O transporte geralmente é feito através de tubulações e estações de compressão, semelhantes aos oleodutos usados para o gás natural. Este método é considerado o mais seguro e econômico para longas distâncias, o que contribui para a viabilidade econômica da captura e armazenamento (Fortunato et.al., 2021).

Figura 3: Armazenamento de CO₂ em tanques pressurizados



Fonte: Fortunato et.al., 2021.

Segundo o mesmo autor, o armazenamento pode ser realizado em vários tipos de repositórios, como formações geológicas, poços de petróleo esgotados ou tanques pressurizados. O custo de armazenamento geológico é estimado em cerca de US\$ 25 por tonelada de CO₂, sem considerar os riscos potenciais de vazamentos. Não há informações disponíveis sobre os custos de outras formas de armazenamento.

3.6 Materiais ligantes com baixa emissão de carbono:

Materiais ligantes com baixa emissão de carbono, como cinzas volantes, escória de alto-forno e sílica ativa, são essenciais para uma construção civil mais sustentável.

3.6.1 Cinza volante

Cinzas volantes (**Figura 4**) são resíduos pozzolânicos gerados pela combustão de carvão, principalmente no setor elétrico, que utiliza o alto poder calorífico do carvão para produzir energia térmica, convertida em energia elétrica e distribuída na rede. Além das cinzas volantes, a queima de carvão também resulta na emissão de gases ricos em dióxido de enxofre (SO_2), que são prejudiciais tanto para a saúde humana quanto para a qualidade do ar (Gonçalves, 2018).

Figura 2 - Ciza Volante



Fonte: ECO₂, 2021.

Ainda de acordo com Gonçalves (2018), cinzas volantes de usinas termelétricas, subprodutos da queima de carvão, são amplamente utilizadas na construção civil por suas propriedades pozzolânicas, o que permite a substituição parcial do cimento e resulta em redução das emissões de CO_2 e dos custos de produção. No entanto, o desempenho do concreto varia conforme o tipo de cinza volante utilizada, que depende do combustível e do processo de combustão. A combustão convencional, que utiliza carvão em pó, produz cinzas volantes finas e bem definidas, amplamente empregadas como aditivos minerais para melhorar o desempenho do cimento e reduzir os custos de produção. Segundo Silva et.al (2014), na construção civil, o uso de cinza como adição mineral pode melhorar as propriedades de concretos e argamassas, seja por efeito fíler ou efeito pozzolânico, dependendo de sua composição química, finura e cristalinidade. A inclusão dessas adições não só melhora as propriedades das matrizes cimentícias, como também resulta em benefícios significativos, como maior durabilidade e resistência mecânica.

3.6.2 Escória de alto-forno

Para Churocof (2022), a utilização da escória de alto-forno como agregado miúdo ou graúdo na fabricação de concreto não é uma novidade. Países como os Estados Unidos e o Japão comercializam até 75% desse subproduto industrial para aplicações na engenharia civil. A escória de alto forno em muitos lugares á é utilizado para concreto asfáltico,

lastro de ferrovia, como estabilização de solos, apresentando características mecânicas bastante satisfatórias.

A escória de alto-forno como agregado graúdo (**Figura 5**) é financeiramente vantajoso, geralmente até 20% mais barato do que a brita natural. Além disso, a escória de alto-forno demonstra resistência a ataques de sulfato e à reação álcali-sílica, que podem reduzir a vida útil do concreto. Ela também melhora a resistência do concreto a fissuras térmicas e a ataques de sulfatos, proporcionando maior resistência química. Portanto, o estudo mostra que a escória de alto-forno como agregado graúdo oferece menor custo, maior resistência ao desgaste, e melhor consistência e aderência nas misturas. A viabilidade do subproduto pode ser confirmada por meio de ensaios mecânicos (Churocof, 2022).

Figura 3 - Escória de Alto - forno



Fonte: Feronica, 2023.

3.6.3 Sílica ativa

A Sílica Ativa (**Figura 6**) é um pó fino produzido durante a fabricação de silício metálico ou ferro silício. Como um subproduto metalúrgico, ela oferece uma alta estabilidade em termos de composição química e propriedades físicas.). É altamente valorizada na construção civil por melhorar a resistência, fluidez e durabilidade do concreto, além de promover a sustentabilidade ao reaproveitar um material que seria descartado (Tecnosil, 2017).



Figura 4 - Silica ativa



Fonte: Tecnosil, 2017.

A sílica ativa é um subproduto derivado do processo de fabricação das ligas de ferro silício ou silício metálico. A produção desses tipos de ligas se dá em fornos elétricos de fusão, modelo arco-voltaico em temperaturas de 2000 °C aproximadamente (Gudinho, et.al 2022). Existe algumas vantagens para o uso desse aditivo no concreto.

Adicionar sílica ativa entre 5% e 8% ao concreto aumenta sua durabilidade, coesão e aderência, melhora a resistência a agressões físicas e químicas, e reduz a exsudação, além de diminuir a necessidade de cimento. Essa adição pozzolânica, que também facilita o acabamento, é especialmente recomendada para projetos arquitetônicos e estruturas sofisticadas. Produzida como subproduto na indústria metalúrgica, a sílica ativa é sustentável ao ser reutilizada em vez de ser descartada (Tecnosil, 2022).

4. Análise dos Resultados

Esta **Tabela 1** explora diversas tecnologias e materiais inovadores no setor da construção civil, focando em suas características, benefícios e desafios.



Tabela 1 - Tecnologias e materiais inovadores

TECNOLOGIA	DESCRIÇÃO	BENEFÍCIOS	DESAFIOS
Concreto com Alta Resistência e Baixa Emissão de Carbono	Uso de materiais cimentícios e pozolânicos, como cinzas volantes e escórias de alto-forno.	Redução das emissões de CO ₂ , menor custo, maior durabilidade e resistência do concreto.	Disponibilidade restrita dos materiais; qualidade variável da cinza volante.
Concreto Permeável	Pavimentos permeáveis que permitem a infiltração da água, conforme NBR 16416 da ABNT.	Redução de enchentes, recarga de aquíferos, reutilização de resíduos de construção e demolição.	Sistemas tradicionais de drenagem urbana ainda são necessários; necessidade de testes e tratamento adicional para agregados reciclados.
Concreto Autolimpante Fotocatalítico	Concreto que utiliza aditivos fotocatalíticos, como dióxido de titânio (TiO ₂), para remover manchas e poluentes.	Redução da necessidade de manutenção, aumento da durabilidade, e melhora na qualidade do ar.	Custo dos aditivos e aplicação específica.
Tecnologias para Captura de Dióxido de Carbono (CO₂)	Tecnologias incluem captura pós-combustão, oxicorte e looping de carbonato.	Redução das emissões de CO ₂ , diversas abordagens para aumentar a eficiência da captura.	Custo e complexidade de implementação; necessidade de infraestrutura para transporte e armazenamento.
Agregados Reciclados da Construção Civil	Agregados provenientes de resíduos de construção, regulamentados pela Resolução nº 307 do CONAMA.	Redução de resíduos, conservação de recursos naturais, e diminuição de custos.	Variabilidade na qualidade dos materiais; necessidade de testes e tratamentos adicionais.
Materiais Ligantes com Baixa Emissão de Carbono	Inclui cinzas volantes, escória de alto-forno e sílica ativa.	Redução das emissões de CO ₂ , melhoria na resistência e durabilidade do concreto, reaproveitamento de subprodutos.	Disponibilidade e qualidade variáveis; necessidade de adaptação nas formulações de concreto.
Cinza Volante	Resíduo pozolânico da combustão de carvão.	Melhoria das propriedades do concreto, redução de CO ₂ e custos de produção.	Desempenho variável conforme a origem e o processo de combustão.
Escória de Alto-Forno	Subproduto da produção de ferro e aço, utilizado como agregado graúdo.	Menor custo, maior resistência ao desgaste, e resistência a ataques químicos.	Disponibilidade restrita e necessidade de validação dos testes mecânicos.
Sílica Ativa	Pó fino produzido na fabricação de silício metálico, melhora propriedades do concreto.	Aumenta durabilidade, coesão e aderência do concreto, reduz a necessidade de cimento e impactos ambientais.	Necessidade de controle de qualidade e otimização da dosagem para diferentes aplicações.

Fonte: Autoria própria, 2024



Podemos observar que o uso de concreto com alta resistência e baixa emissão de carbono, por exemplo, reduz o impacto ambiental e melhora a durabilidade das estruturas, mas enfrenta desafios relacionados à disponibilidade dos materiais. Concreto permeável e autolimpante fotocatalítico promovem soluções sustentáveis para drenagem e manutenção, respectivamente, mas podem apresentar custos e complexidades adicionais. Tecnologias de captura de dióxido de carbono visam mitigar as emissões, enquanto agregados reciclados e materiais ligantes com baixa emissão de carbono contribuem para a redução de resíduos e impactos ambientais, embora enfrentem desafios na qualidade e disponibilidade. Esses avanços refletem um crescente compromisso com práticas mais sustentáveis e eficientes na construção.

5. Considerações Finais

No futuro, o uso de tecnologias sustentáveis na construção civil, como o concreto de baixa emissão de carbono, o concreto permeável e o fotocatalítico, pode reduzir significativamente as emissões de CO₂ e promover práticas ecológicas. No entanto, para que essas inovações se tornem comuns, é necessário enfrentar desafios como altos custos, necessidade de infraestrutura específica, resistência a mudanças e variações na qualidade e desempenho. Superar esses obstáculos é essencial para integrar essas soluções de forma eficaz nos canteiros de obras, promovendo uma construção mais sustentável e eficiente.

Referências

- ARRUDA JUNIOR, Euler Santos; BARATA, Márcio Santos. Cimento de baixo impacto ambiental a partir dos resíduos caulínicos da Amazônia. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 27, n. 1, p. 1-20, 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1517-7076-rmat-2021-46434>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416: Pavimento Permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro, 2015.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. (2002) Resolução CONAMA nº. 307, de 5 de julho de 2002.
- BRASILEIRO, Kelly Patrícia Torres Vieira et al. CONCRETO PERMEÁVEL COM AGREGADO DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO: revisão bibliográfica / permeable concrete with aggregate from construction and demolition waste recycling. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 6, n. 9, p. 73169-73180, 2020. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n9-684>.
- CHUROCOF, João Paulo Anselmo. SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO GRAÚDO NATURAL POR ESCÓRIA DE ALTO FORNO COMO AGREGADO GRAÚDO PARA FABRICAÇÃO DE CONCRETO. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S.L.], v. 8, n. 8, p. 356-367, 31 ago. 2022.
- Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação. <http://dx.doi.org/10.51891/rease.v8i8.6622>.
- ECO2M. **Cinzas Volantes - Eco2m**. 2020. Disponível em: <https://eco2m.pt/projects/cinzas-volantes/>. Acesso em: 19 ago. 2024.
- FERONICA. **Escorias De Alto Forno**. Disponível em: <https://robot.ekstrabladet.dk/smr/escorias-de-alto-forno.html>. Acesso em: 18 ago. 2024.
- FORTUNATO, L.R et.al ESTUDO SOBRECAPURA, UTILIZAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE CARBONOEM PRÉ-FABRICADOS CIMENTÍCIOSNÃO ARMADOS. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS, 3., 2021, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: Tecsic, 2021. p. 1-7.
- GONÇALVES, Carine de Souza. **ESTUDO DE CINZAS VOLANTES DE ALTA TEMPERATURA E DE LEITO FLUIDIZADO VISANDO A PRODUÇÃO DE MATERIAIS SUSTENTÁVEIS A BASE DE CIMENTO**. 2018. 89 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Ufrj, Rio de Janeiro, 2018.
- GUDINHO, et.al., ESTUDO LITERÁRIO DA DOSAGEM DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA. 2022. 14 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2022.
- LEAL, Ailton Pires. RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: uma revisão sobre as possibilidades de aplicação. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S.L.], v. 7, n. 6, p. 459-483, 30 jun. 2021. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação. <http://dx.doi.org/10.51891/rease.v7i6.1385>.
- LIMA, Jardel Santos. CONCRETO SUSTENTÁVEL APLICADO À CONSTRUÇÃO CIVIL. **Recima21 - Revista Científica Multidisciplinar - Issn 2675-6218**, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 1-38, 1 dez. 2022. RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar. <http://dx.doi.org/10.47820/recima21.v3i1.2376>.
- MAINES, Alexandre et al. INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS SOBRE AS PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEÁVEL. **Revista da Unifebe**: Tecnologias: Engenharia, produção & construção, [s. l.], v. 1, n. 27, p. 1-23, 29 ago. 2022. Disponível em: <https://www5.unifebe.edu.br/RevistaUnifebe/EdicaoTecnologiasE EngenhariaProducaoConstrucao/2-%20ECINFLU%C3%8ANCIA%20DOS%20AGREGADOS%20SOBRE%20AS%20PROPRIEDADES%20DO.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2024.
- MATAR, P.; BARHOUN, J. (2020) Effects of waterproofing admixture on the compressive strength and permeability of recycled aggregate concrete. *Journal of Building Engineering*, Vol.32, 101521
- ONU. **Você sabe como os gases de efeito estufa aquecem o planeta?** 2020. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/voce-sabe-como-os-gases-de-efeito-estufa-aquecem-o-planeta>. Acesso em: 19 ago. 2024.
- PNUMA. **Relatório sobre a Lacuna de Emissões 2021**. 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/resources/emissions-gap-report-2021>. Acesso em: 19 ago. 2024.



RESENDE, Bruno Pimenta; FARIA, Flávia Castro de. Estudo, confecção e utilização do concreto usinado com adição de produto fotocatalítico na construção civil / Study, manufacture and use of machined concrete with addition of photocatalytic product in civil construction. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 8, n. 5, p. 40284-40303, 25 maio 2022. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv8n5-490>.

SALLES, Pedro Valle *et al.* A importância da segregação do agregado reciclado na resistência e na durabilidade do concreto estrutural. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 177-196, set. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000300545>.

SILVA, Rebeca B. et.al. Aracterização de cinzas de biomassa geradas na produção de energia e avaliação do seu uso em argamassas: materiais da construção sustentáveis. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 5., 2014, Portugal. **Caracterização de cinzas de biomassa geradas na produção de energia e avaliação do seu uso em argamassas**. Guimarães: Universidade do Minho, 2014. v. 2, p. 1-3.

SUSTENTÁVEL, Tem. **Agregado reciclado em funções estruturais**. 2020. Disponível em: <https://movimentobw.org.br/Noticias/Exibir/agregado-reciclado-em-funcoes-estruturais>. Acesso em: 19 ago. 2024.

TECNOSIL. Reduza seus custos e aumente a qualidade do seu concreto com o uso de Sílica Ativa.: o uso da sílica ativa, aumenta a vida útil das estruturas de concreto. economia de recursos naturais.. O uso da Sílica Ativa, aumenta a vida útil das estruturas de concreto. Economia de recursos naturais.. Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/silica-ativa/>. Acesso em: 19 ago. 2024.

TECNOSIL. **Sílica Ativa: por que usá-la na sua construção?** Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/conteudo/?p=75>. Acesso em: 21 nov. 2017.

TOVAR, Enrique. **Concreto fotocatalítico: uma abordagem sustentável para a qualidade do ar na construção**. Disponível em: <https://www.archdaily.mx/mx/999556/concreto-fotocatalitico-un-enfoque-sostenible-para-la-calidad-del-aire-en-la-construccion>. Acesso em: 18 ago. 2024.



Rua Completa: proposta de intervenção viária em Joinville/SC

Rafaela da Cunha¹, Carneane Effting², Carolina Stolf Silveira³

1. Mestranda, rafaeladacunha12@gmail.com, Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil
2. Professora Doutora, carneane.effting@udesc.br, Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil
3. Professora Doutora, carolina.silveira@udesc.br, Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil

Resumo: O presente artigo apresenta uma análise de sítio e proposta de intervenção em uma avenida da cidade mais populosa de Santa Catarina, no norte do estado, a partir do conceito de Ruas Completas e Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável - DOTS, os quais corroboram para o atendimento à Política Nacional de Mobilidade Urbana, priorizando o transporte ativo e coletivo. Através de análises das condições físicas, operacionais e de infraestrutura da via, identificando pontos críticos, o trabalho propõe soluções baseadas em estratégias de desenho viário sugeridas por NACTO (2018), trazendo o redesenho da avenida de modo a aumentar a segurança e acessibilidade, especialmente de pedestres e ciclistas. Além de corroborar com a melhoria dos problemas de infraestrutura e sinalização viária, a proposta busca trazer soluções para um espaço urbano mais inclusivo e sustentável, promovendo a qualidade de vida da população local e dos transeuntes.

Palavras-chave: Ruas Completas, Mobilidade Urbana Sustentável, Intervenção Viária.

1. Introdução

A sustentabilidade urbana envolve o desenvolvimento de cidades que atendam às necessidades das gerações presentes sem comprometer os recursos das gerações futuras. Uma cidade sustentável também pode ser considerada como aquela que minimiza os impactos ambientais e promove a equidade sócio-espacial. Dessa forma, é essencial integrar estratégias de planejamento urbano que promovam o ordenamento territorial e a eficiência da infraestrutura urbana para promover mobilidade e acessibilidade nas cidades.

No Brasil, a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), estabelecida pela Lei nº 12.587/2012, define diretrizes para o planejamento do transporte e deslocamento nas cidades brasileiras, priorizando o transporte coletivo e modos não motorizados. A política busca promover a acessibilidade e a integração dos diferentes modos, reduzir o uso de veículos individuais motorizados e minimizar os impactos ambientais e sociais.

O conceito de Ruas Completas é definido como a concepção de ruas que visam garantir uma melhor distribuição do espaço público viário de forma democrática aos diferentes modos de transporte (WRI, 2017). Este conceito foi instituído no Brasil pelo World Resources Institute (WRI) - organização global de pesquisa que se

dedica a questões relacionadas ao meio ambiente e cidades sustentáveis - na qual a terceira autora integra a Rede de Professores Universitários pelas Ruas Completas no Brasil, de modo a difundir o conhecimento junto à comunidade acadêmica das áreas de engenharia civil e arquitetura e urbanismo.

O projeto baseado no conceito de Ruas Completas deve considerar estratégias de desenho urbano que correspondam ao contexto local, reflitam a identidade da rua e as prioridades daquela comunidade, integrando a malha viária do entorno. Em oposição ao modelo tradicional de planejamento urbano que favorece o uso de modos motorizados, as Ruas Completas propõem a reconfiguração do espaço urbano, enfatizando a necessidade de priorizar os pedestres, ciclistas e usuários do transporte coletivo de maneira segura, eficiente e confortável (WRI, 2021).

Esse modelo de planejamento contribui para a criação de ambientes urbanos mais equitativos, onde todos os cidadãos têm a oportunidade de se deslocar por diferentes modos de transporte, incentivando práticas de mobilidade mais sustentáveis e uma convivência urbana mais harmoniosa. Os principais objetivos dos projetos de Ruas Completas, segundo o instituto são:

1. Respeitar e responder os usos existentes de cada região, assim como os usos planejados para o futuro;
2. Priorizar os deslocamentos realizados por transporte coletivo, a pé e de bicicleta;
3. Respeitar a escala das construções e recuos;
4. Apoiar a diversidade de usos do solo, mesclando residência, comércio e serviços;
5. Tornar a rua um lugar de permanência das pessoas e não somente de passagem; e
6. Envolver residentes e grupos da comunidade para entender o bairro e suas prioridades.

Em consonância a esse conceito, o Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável (DOTS) é uma estratégia de planejamento urbano que integra o uso do solo e o transporte para promover o desenvolvimento sustentável. O DOTS busca criar comunidades compactas e conectadas, onde o transporte público e a mobilidade ativa são incentivados, reduzindo a dependência de veículos motorizados individuais e as emissões de gases de efeito estufa por consequência. Esta abordagem promove a sustentabilidade ao reduzir o impacto ambiental e melhorar a qualidade de vida da população (WRI, 2018).

A mobilidade ativa, seja a pé, por bicicleta ou outro meio de transporte não motorizado, podem ser modos exclusivos de deslocamento ou integrantes de outros modos, como por exemplo o ônibus - o coletivo mais usual no Brasil. Assim, é necessário que a integração entre esses transportes ocorra de forma eficiente para que as pessoas os utilizem, atraindo novos usuários. O conceito de ruas completas leva em consideração o contexto urbano, com o foco nas pessoas e suas necessidades de mobilidade e de convivência, humanizando o local inserido (WRI, 2021).

Caminhabilidade refere-se à capacidade das áreas urbanas em proporcionar uma experiência segura, confortável e atraente para os pedestres. De acordo com Gehl (2010), cidades devem ser projetadas para pessoas, priorizando espaços públicos que incentivem a interação social e a mobilidade ativa. Jacobs (1961) já enfatizava a importância das calçadas como elementos vitais para a segurança e vitalidade urbana, argumentando que ruas ativas e bem utilizadas por pedestres contribuem para a segurança natural dos bairros.

Avaliar a caminhabilidade em espaços públicos ajuda a compreender como o design urbano influencia as preferências dos pedestres e a mobilidade sustentável (Cysek-Pawlak & Pabich, 2020). Ao melhorar a capacidade de locomoção através da qualificação da infraestrutura viária, as cidades podem melhorar a qualidade de vida da população, promover o transporte ativo e contribuir para um meio urbano mais sustentável.

Estudos desenvolvidos na disciplina da área de planejamento urbano e infraestrutura da Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Estado de Santa Catarina (PPGEC UDESC), "Mobilidade Urbana Sustentável", ministrada pela última autora, promoveu a presente análise e a proposta de intervenção viária em avenida na zona sul de Joinville, a ser apresentada neste artigo.

2. Procedimentos Metodológicos

Após estudo dos principais conceitos que envolvem o tema, normativas nacionais e guia global de recomendações para desenho viário, realizou-se a análise de sítio, de forma a avaliar as condições físicas, operacionais e de infraestrutura da via, identificando pontos críticos e oportunidades de melhoria. Na sequência, realizou-se o estudo das recomendações adequadas às necessidades locais, oferecendo prioridade aos modos ativos e coletivo de transporte.

2.1 Estudo de caso

A área de estudo compreende a Avenida Antônio Ramos Alvim, uma via importante do bairro Floresta, zona sul da cidade, localizada na **Figura 1**, entre as ruas Copacabana, à direita no mapa, e rua Santa Catarina, à esquerda.

Figura 1 – Mapa de localização



Fonte: Google Maps, adaptado pelas autoras.

A avaliação da via ocorreu considerando os requisitos do Global Street Design Guide (GDCI, NACTO, 2018) e para a infraestrutura de pedestres considerou-se também as categorias e indicadores determinados no Índice de Caminhabilidade - iCam (ITPD, 2018), bem como normas brasileiras de acessibilidade da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR 9050/2020 e 16.537/2024. Assim, os seguintes tópicos foram analisados:

1. Desenho viário: obteve-se os dados relacionados à extensão longitudinal total da via e da área em estudo; a largura transversal de lote a lote; o tamanho das quadras; as condições do pavimento; e a quantidade e localização da arborização;
2. Condições operacionais: analisou-se o sentido de tráfego, os horários de pico, a velocidade máxima permitida, as condições das sinalizações vertical e horizontal e a quantidade e frequência dos semáforos;
3. Infraestrutura para pedestres: avaliada conforme os parâmetros do iCam, tais como: presença e condição de pavimento; nível de iluminação; acessibilidade; uso do solo; limpeza; e segurança;
4. Infraestrutura para ciclistas: observou-se a presença e condições da infraestrutura cicloviária da via e entorno imediato;
5. Acesso ao transporte coletivo: verificou-se a frequência e o percurso das linhas de ônibus, bem como as condições de espera, informação ao usuário e a acessibilidade.

Os dados foram coletados por meio de observações in loco e pelo levantamento de imagens e informações obtidas pelo Google Earth (Google, 2024).

Após o levantamento de dados, estudou-se as estratégias de desenho viário nas referências supracitadas, para propor o novo perfil para rua em análise, utilizando-se a plataforma online StreetMix.

A partir de ponderações das possibilidades de perfil para o redesenho desta área de intervenção, elegeu-se a opção que melhor atende às necessidades da população



local e a aplicação das recomendações estudadas, de modo a proporcionar um ambiente urbano mais sustentável e agradável.

3. Resultados

Apresenta-se a seguir os resultados da análise de sítio, com o levantamento de dados do desenho viário, condições operacionais e análise da infraestrutura atual disponível bem como a proposta para o novo desenho viário para uma possível intervenção na área, priorizando pedestres, ciclistas e usuários do transporte coletivo.

3.1 Análise de Sítio

3.1.1 Desenho viário e Uso do solo

Devido à localização do bairro, a avenida Antônio Ramos Alvim foi planejada com o intuito de conectar a BR 101 à Rua São Paulo, interligando a rodovia diretamente ao eixo norte-sul da cidade. No entanto, a conexão direta tanto com a BR quanto com a rua São Paulo não foi executada, fazendo com que a demanda da via projetada e suas dimensões sejam incompatíveis com as necessidades atuais.

A avenida, apresentada na **Figura 2**, possui extensão de 1,23 km, enquanto a largura transversal de lote a lote é de 30 metros, sendo 12 metros distribuídos em duas faixas de rolamento para cada sentido, acrescidos de estacionamento paralelo às faixas em ambos os lados da via, 3 metros de calçada para cada lado e um canteiro central com 4 metros de largura. As quadras (dentro do trecho em estudo) possuem em média 200 metros de extensão (Google, 2024), todavia, no bairro é comum encontrar quadras bastante extensas ao pedestre, com cerca de 500 metros entre ruas, desestimulando o deslocamento a pé.

O pavimento utilizado encontra-se em bom estado de conservação e é do tipo flexível, isto é, composto por várias camadas, que incluem a camada de revestimento asfáltico, a base e a sub-base. A arborização é incipiente, apenas com palmeiras distribuídas pelo canteiro central e que não oferecem serviços ambientais significativos. Os lotes adjacentes possuem poucas árvores plantadas pelos moradores, o que faz com que o ambiente seja muito pouco sombreado.

O uso do solo é predominantemente residencial com comércio varejista e serviços mais concentrados na Rua Santa Catarina. No cruzamento com a rua Copacabana - rua perpendicular à avenida localiza-se uma escola pública de nível fundamental e médio e, mais ao centro da avenida, encontra-se uma escola privada infantil, as quais aumentam o tráfego na região.

Figura 2 – Foto aérea da avenida Antônio Ramos Alvim.



Fonte: Google Earth, 2024.

3.1.2 Condições operacionais

A avenida de fluxo duplo, possui sinalização de velocidade máxima permitida de 40 km/h - incompatível com largura e linearidade da faixa de rolamento, a qual incentiva velocidade acima de 60km/h - fato atestado nas observações. O fluxo de veículos é baixo, já que a avenida não recebeu continuidade de seu traçado inicial previsto, não havendo congestionamentos. Por se tratar de uma via coletora, que leva o fluxo residencial para as ruas principais, os horários de pico são em torno das 7:30 e 18:00.

As sinalizações vertical e horizontal existem, como mostra a **Figura 3**, no entanto, são defasadas em relação às necessidades dos pedestres e ciclistas, o que desestimula o transporte a pé ou por bicicleta. Existem faixas de pedestres ao longo do trecho analisado a cada 300 metros, aproximadamente. No entanto, não possuem acessibilidade, o que, somado à largura e à quantidade de faixas da avenida, dificulta a travessia segura.

Na extensão total da via existe apenas um semáforo e o pedestre ou ciclista precisa vencer os 24 metros de distância entre uma calçada e outra sem uma ilha de refúgio para contribuir com a segurança, como observa-se na **Figura 4**. Nesse trecho, o canteiro central não está próximo o suficiente para servir de segurança aos pedestres e mesmo que estivesse, necessitaria ser pavimentado e receber rampas de acesso, bem como sinalização tátil no piso.

Além disso, não há semáforo para pedestres ou ciclistas de modo que possam monitorar o momento seguro de

atravessar, assim como haver tempo suficientemente disponível no fechamento semafórico dos veículos motorizados.

Figura 3 – Sinalização horizontal presente com faixas de rolamento com largura que incentiva aumento da velocidade e ausência de sinalização cicloviária.



Fonte: As autoras, 2024.

Figura 4 – Extensão demasiada da travessia sem ilha de refúgio aos pedestres e ciclistas.



Fonte: As autoras, 2024.

3.1.3 Infraestrutura para pedestre

Embora haja largura suficiente para a demanda, as calçadas apresentam desníveis, buracos e inclinações

inadequadas, tornando-se inacessível e prejudicando a segurança dos pedestres, o que as tornam pouco convidativas ao deslocamento a pé, como exemplificado no conjunto de fotos da **Figura 5**.

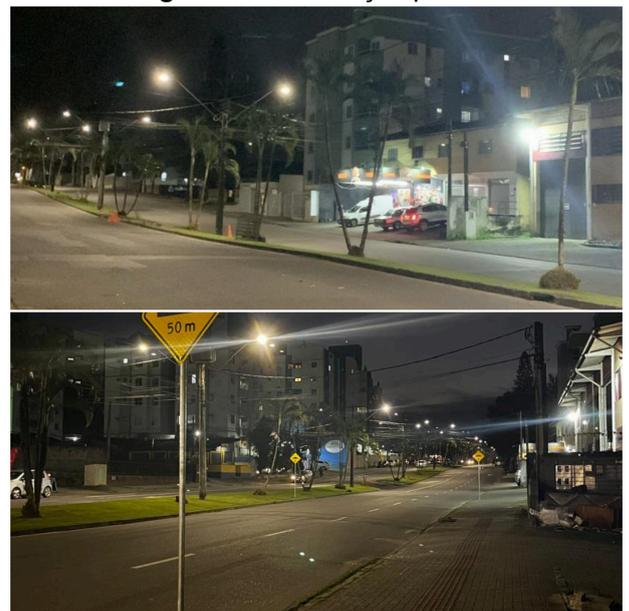
Figura 5 – Calçadas



Fonte: As autoras, 2024.

A iluminação é insuficiente, apenas com postes centrais que não iluminam adequadamente as travessias nem as calçadas. Além disso, há lâmpadas queimadas, comprometendo a segurança noturna. Nas calçadas não há nenhum tipo de iluminação, como mostra a **Figura 6**.

Figura 6 – Iluminação pública



Fonte: As autoras, 2024.

3.1.4 Infraestrutura para ciclistas

Não há infraestrutura cicloviária, seja por ciclovia, ciclofaixa, ciclorrota ou calçada (com)partilhada. Nem mesmo a presença de paraciclos próximo ao ponto de ônibus ou em frente à comércio ou serviços, o que desestimula o uso da bicicleta como meio de transporte.

O ciclista que trafega pela Avenida Antônio Ramos Alvim divide o espaço com os veículos motorizados, trazendo insegurança e podendo ocasionar acidentes. Pela calçada também não é confortável ao ciclista trafegar devido às condições precárias da infraestrutura apresentada, além de não haver rampas de acesso nas esquinas.

Apenas na Rua São Paulo há infraestrutura dedicada, através de calçada compartilhada, devidamente sinalizada vertical e horizontalmente. Todavia, encontra-se a mais de 1 km de distância, não havendo conexão direta, sendo necessário realizar desvios por ruas com pavimentos trepidantes, desestimulando o uso deste modo de transporte sustentável ao meio, saudável à população, economicamente acessível e que na década de 70 já atribuiu à Joinville o título de "Cidade das Bicicletas".

3.1.5 Acesso ao transporte coletivo

A avenida Antônio Ramos Alvim é servida por uma única linha de ônibus (Sul-Centro via Nilo Peçanha) que possui frequência baixa. Há apenas um ponto de espera que não é coberto e nem possui sinalização tátil adequada, como indicado na **Figura 7**, dificultando a escolha pelo uso do transporte coletivo.

No sentido sul-norte, não existe linha de transporte coletivo e os usuários devem caminhar até a rua Nilo Peçanha ou à rua Copacabana para irem direto ao Centro da cidade e realizar baldeações necessárias no Terminal Central para se dirigir ao seu destino. Em alguns casos, andar até essas ruas torna-se perigoso e pouco convidativo devido às condições das calçadas e uso do solo predominantemente residencial, com ausência de fachadas ativas.

Dessa forma, o usuário comumente prefere acessar o transporte coletivo na rua Santa Catarina. No entanto, esta rua de mão única, apenas segue fluxo no sentido sul (oposto ao Centro da cidade) e caso queira ir para o norte, o usuário deve optar pela linha que faça o retorno ou mesmo caminhar até a Rua São Paulo, a qual a Santa Catarina realiza binário e conduz o fluxo sentido centro-norte.

Figura 7 – Ponto de ônibus presente na Avenida sem abrigo de ônibus.



Fonte: As autoras, 2024.

3.2 Proposta de intervenção

Com base nos resultados da análise, propõe-se as recomendações para melhorar a infraestrutura local, priorizando a mobilidade ativa e coletiva da Avenida Antônio Ramos Alvim, descrita a seguir.

3.2.1 Desenho e Sinalização Viária

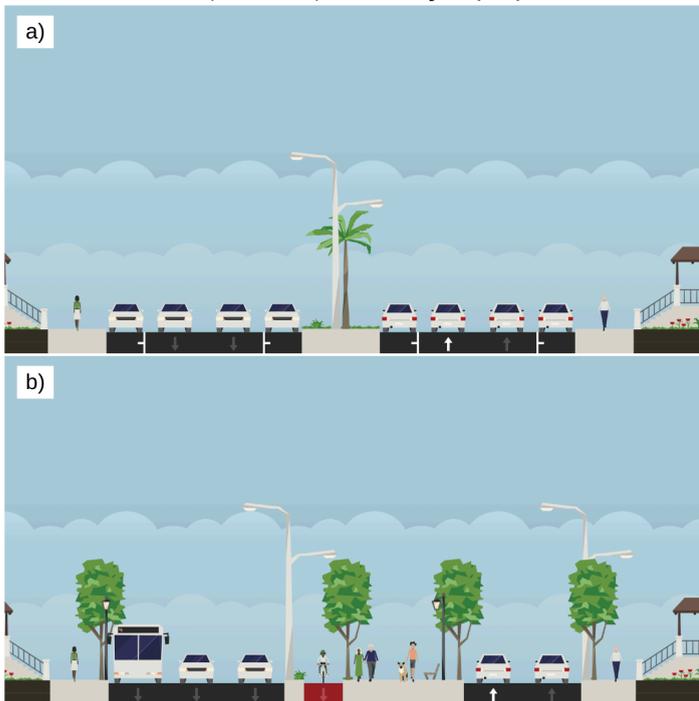
Devido à largura transversal excessiva que beneficia os modos de transporte motorizados, incompatível com o baixo fluxo, foi proposto diminuir a quantidade de faixas de rolamento e oferecer espaço de lazer no centro da avenida, aumentando a largura disponível, transformando a avenida em uma praça linear, de forma a aumentar a área verde disponível e oferecer atividades ao ar livre.

Assim, o ambiente pode favorecer a comunidade, permitindo a diversidade de usos, possibilitando caminhar, pedalar e promover atividades de lazer e estar, tornando-se também um espaço de permanência e convívio, e não apenas de fruição.

No cruzamento com a rua Santa Catarina onde há um semáforo, recomenda-se a implantação de semáforo para pedestres e ciclistas, assim como ilha de refúgio, como continuidade do canteiro central.

A via na situação atual e a proposta de intervenção estão ilustradas no perfil a seguir realizado na plataforma online StreetMix, indicado na **Figura 8**.

Figura 8 – Corte Transversal da Av. Antônio Ramos Alvim: a) atual; b) intervenção proposta.



Fonte: As autoras, 2024.

Propõe-se deixar uma via de rolamento ao tráfego misto e estacionamento de cada lado, pensando-se na área residencial e espaço de lazer que irá atrair pessoas da região. Uma faixa exclusiva ao transporte coletivo é proposta de modo que aumente a eficiência do sistema. Ao centro da avenida, a praça linear com ciclovia.

3.2.2 Infraestrutura para pedestre

A fim de melhorar as condições e oportunidades de travessia dos pedestres, propõe-se aumentar a quantidade de faixas de pedestres ao longo da extensão da via, com redução do percurso de travessia, bem como acessibilidade universal, sendo faixa elevada em pontos de maior fluxo ou rampas de acesso à calçada com no máximo 8,33% de inclinação, devidamente sinalizadas no piso de forma tátil, visual por placas e iluminação direcionada, chamando a atenção dos motoristas para as travessias.

As calçadas precisam receber reforma, conforme organização das faixas de serviços, circulação e acesso indicada pela NBR 9050 (ABNT, 2020) com a regularização dos pavimentos, incluindo a padronização do material utilizado e nivelamento constante, não apenas transversalmente como longitudinalmente entre lotes. Além disso, deve ser implantada sinalização tátil no piso, conforme NBR 16537 (ABNT, 2024).

Outra intervenção relacionada aos pedestres é a

implementação de mobiliário urbano nas calçadas e na praça, como bancos para descanso, lixeiras e brinquedos para as crianças, como forma de transformar a Avenida em um lugar mais diverso e atrativo. Em relação à iluminação pública, deve ser implementado postes de iluminação na escala do pedestre nas calçadas dos lotes, que incentivem o uso do espaço urbano durante a noite, tornando a via mais segura.

3.2.3 Infraestrutura para ciclistas

Propõe-se uma ciclovia no canteiro central, de forma que haja segregação física da faixa de rolamento de veículos, com paraciclos e sinalização adequada. Como a avenida Antônio Ramos Alvim não conecta diretamente a rua São Paulo, deve-se também realizar a integração nas vias adjacentes que interligam as duas ruas fazendo com que haja uma conexão. No sentido oposto, já há ciclofaixa na rua Copacabana, assim, haverá continuidade da rota.

Sugere-se a integração da nova ciclovia proposta com a calçada compartilhada da rua São Paulo, através de ciclorrota que pode ser implementada no trecho, pavimentando uma faixa de cerca de 80cm no bordo direito das ruas em paralelepípedos, de modo que não haja trepidação ao ciclista

O incentivo ao uso da bicicleta como meio de transporte contribui para a sustentabilidade urbana, reduzindo a dependência de veículos motorizados, congestionamentos e as emissões de gases de efeito estufa.

3.2.4 Acesso ao transporte coletivo

Disponer de uma faixa exclusiva ao transporte coletivo é uma opção para fomentar o aumento do uso de transporte coletivo na avenida. Além disso, uma linha que faça o sentido sul-norte deve ser implementada a fim de facilitar a rota dos usuários, tendo em vista que nos pontos próximos em outras ruas existe a rota para o sul.

A sinalização deve ser melhorada, com abrigos de passageiros que ofereçam além de cobertura, proteções laterais, banco e espaço para cadeirante, iluminação, bem como informação ao usuário. Oferecer transporte coletivo eficiente, confortável e acessível pode ser uma alternativa competitiva ao uso do automóvel, promovendo a sustentabilidade urbana.

O conjunto de ações propostas podem contribuir significativamente com a segurança de pedestres e ciclistas, física e psicológica, visando garantir o direito de ir e vir de todos, podendo também aumentar a vitalidade urbana com a área pública de lazer proposta.

4. Considerações Finais

A análise da Avenida Antônio Ramos Alvim apresentou



diversos problemas na infraestrutura disponível para pedestres, ciclistas e usuários do transporte coletivo - os modos prioritários pela Política Nacional de Mobilidade Urbana, evidenciando-se vantagem ao último modo a ser priorizado no sistema viário: o motorizado individual, com predomínio da área viária destinada somente a carros e motos.

Os desafios para a promoção da mobilidade sustentável em áreas urbanas no Brasil são notáveis e comuns às cidades do país. O desequilíbrio na distribuição do espaço público viário aos diferentes modos demonstra a falta de planejamento e destinação de recursos para infraestrutura viária com o foco nas pessoas e na sustentabilidade.

O estudo demonstrou que a aplicação dos conceitos de Ruas Completas, pode transformar a avenida em uma via que prioriza as pessoas, através da mobilidade ativa e coletiva, promovendo segurança, acessibilidade e bem-estar aos moradores e transeuntes.

A proposta de melhoria, com a regularização das calçadas, implantação de mobiliário urbano, de ciclovia e o aumento da frequência do transporte coletivo, não apenas visam resolver os problemas identificados, mas também fomentar um ambiente urbano mais inclusivo.

Além disso, a possibilidade de aumentar a área permeável da avenida através de área verde, pode contribuir na drenagem viária e trazer diversos benefícios ambientais através da arborização, oferecendo sombra, abrigo para avifauna, mitigação da ilha de calor, dentre outros aspectos almejados no meio urbano.

Essas mudanças são essenciais para a construção de cidades sustentáveis, que respeitem o meio ambiente e proporcionem uma melhor qualidade de vida para todos os seus habitantes.

Referências

BRASIL. **Política Nacional de Mobilidade Urbana**. 12587. ed. Brasília, 2012.

ABNT. **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro: Abnt, 2020. 147 p.

ABNT. **NBR 16537**: Acessibilidade — Sinalização tátil no piso — Diretrizes para elaboração de projetos e instalação. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2024. 58 p.

CYSEK-PAWLAK, Monika Maria; PABICH, Marek. Walkability – the New Urbanism principle for urban regeneration. **Journal Of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability**, v. 14, n. 4, p. 409-433, 22 out. 2020. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/17549175.2020.1834435>.

GEHL, Jan. **Cidade para pessoas**. São Paulo: Perspectiva, 2013.

ITPD, Instituto de Políticas e Desenvolvimento. **Índice de Caminhabilidade**: ferramenta. Brasil: -, 2018. 66 p..

JACOBS, Jane. **The Death and Life of Great American Cities**. Random House, Inc. New York, 1961. 458 p.

NACTO. **Global Street Design Guide**. New York: National Association Of City, 2018. 426 p.

WRI - WORLD RESOURCES INSTITUTE. **DOTS nos planos diretores**: guia para inclusão do desenvolvimento orientado ao transporte sustentável no planejamento urbano. Porto Alegre: WRI, 2018. 132 p.

WRI - WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Ruas Completas no Brasil**: Promovendo uma Mudança de Paradigma. Porto Alegre: WRI, 2021. 122 p.

WRI - WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Afinal, o que são Ruas Completas?** Porto Alegre: WRI, 2017.



AS SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA COM O ENFOQUE NA INFRAESTRUTURA VERDE

Amanda Lombardo Fruehauf¹, Pollyane Vieira da Silva², Magda Adelaide Lombardo³

1. Mestrado, amandalombardo@usp.br, Universidade de São Paulo, ESALQ/USP

2. Doutorado, pollyane.silva@ufpel.edu.br, Universidade Federal de Pelotas, UFPEL

3. Professora Sênior, magdalombardo@yahoo.com.br, Universidade de São Paulo, ESALQ/USP

Resumo:

As Soluções baseadas na Natureza, são apoiadas e inspiradas pela natureza nos ecossistemas naturais, modificados ou artificiais que proporcionam benefícios ambientais, econômicos e sociais, contribuindo para a resiliência ecossistêmica. Visa, aumentar a biodiversidade, melhorar qualidade ambiental, limitar os impactos das mudanças climáticas e contribuir para atividades econômicas e bem-estar social. Destaca-se que na paisagem a SbN, funciona como um “guarda-chuva” a fim de conectar e manter processos naturais na paisagem, incluindo inovações, como a Infraestrutura Verde. Assim o trabalho, buscou demonstrar reflexões sobre a aplicação de SbN, investigar a evolução de publicações sobre o tema principal, no período de 2020 a 2023. Assim como, apontar exemplos de cidades que se utilizaram de SbN e obtiveram melhoria no microclima, qualidade socioambiental, incluindo a promoção de diversos serviços ecossistêmicos na paisagem, trazendo benefícios para saúde física e mental dos seus habitantes. Ressalta-se a importância das pesquisas embasadas em SbN pelo cunho multidisciplinar que visa uma cidade eficiente e sustentável.

Palavras-chave: Resiliência urbana, Sustentabilidade. Qualidade ambiental

1. Introdução

As Soluções baseadas na Natureza (SbN) representam uma contribuição na gestão ambiental, bem como auxiliam com os serviços ecossistêmicos que podem ser implantados no planejamento urbano, de forma a minimizar os impactos ambientais.

Ressalta-se que a transformação do uso e ocupação da terra de áreas verdes e a baixa permeabilidade decorrente do aumento de superfícies impermeáveis, resulta na diminuição da infiltração, resistência ao fluxo e aumento escorrimento. Este fator contribui para formação de inundações quando ocorrem chuvas intensas que vêm sendo cada vez mais frequentes com as mudanças climáticas.

Dessa forma, são necessárias adaptações de soluções práticas, como a SbN que usualmente é considerada um pilar para outros conceitos, como serviços ecossistêmicos, IV e resiliência (George; Paul; Dhawale, 2021).

O conceito de SbN, é atual, surgiu a partir dos anos 2000, que vem sendo difundido em grandes organizações, como o World Bank e a ONU. Tendo este tema também destaque em trabalhos internacionais e no Brasil, ainda há muito para se desenvolver (Rodrigues, 2020).

Sendo que no Brasil cita-se sobre SbN há apenas cinco anos e pode-se encontrar referências explícitas sobre o tema ou alguns conceitos abrangidos por ela, tais como a Infraestrutura Verde (IV) e a Adaptação baseada em Ecossistema. Visando a adaptação e mitigação urbana às mudanças climáticas (Marques, et al. 2021).

As SbN seguem oito princípios: 1. Abraçar as normas e princípios de conservação da natureza; 2. Podem ser implementados sozinhos ou em um de forma integrada com outras soluções para desafios sociais (por exemplo, tecnológicas resoluções de engenharia); 3. São determinadas por soluções de engenharia naturais e contextos culturais que incluem os tradicionais, conhecimentos locais e científicos; 4. produzir benefícios sociais de forma ampla e equitativa, de modo a promover transparência e grande participação; 5. Manter a diversidade biológica e cultural e a capacidade dos ecossistemas de evoluir sobre o tempo; 6. Poderem ser aplicados à escala de uma paisagem; 7. Reconhecer e abordar as compensações entre a produção de alguns benefícios econômicos para o desenvolvimento, e opções futuras para a produção dos serviços dos ecossistemas e 8. Serem parte integrante da concepção global de políticas, e medidas ou ações, para enfrentar um desafio específico (Cohen - Shacham et al., 2016).

Nas cidades, para se aplicar as SbN, com a IV esta pode ser definida como uma rede de áreas verdes urbanas que são mantidas ou implementadas, estrategicamente planejadas e gerenciadas a fim de beneficiar a população favorecendo a qualidade ambiental e de vida (Kantartzis, 2019).

A IV pode estar representada em forma pública ou privada, praças, hortas urbanas, arborização, paredes verdes e os tetos verdes (Amato - Lourenço et al. 2016).

Além que verifica-se que o conceito de SbN desenvolve-se nos pontos fortes da capacidade de combater os desafios da sociedade no âmbito ambiental e das mudanças climáticas (Langemeyer; Baró, 2021).



Destaca-se que a aplicação dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), podem ser representadas como instrumento da SbN e vêm sendo difundidos como conservação e manejo da biodiversidade (Faivre et al., 2017).

O enfoque principal de pesquisas exploratórias é o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições, sendo seu planejamento flexível, na maioria dos casos assume a forma de pesquisa bibliográfica ou de estudo de caso. Consequentemente, possibilita a visão dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado (Gil, 2002).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi levantar a discussão sobre SbN, com natureza exploratória, como esta é abordada na bibliografia e sua evolução de publicação de 2020 a 2023.

A pesquisa, além de apresentar uma reflexão sobre SbN, teve enfoque na abordagem para atingir a ODS e demonstrar exemplos de cidades que aplicaram esses conceitos, visando a melhora ambiental e consequentemente qualidade de vida aos seus habitantes.

2. Metodologia

O trabalho obteve as etapas de levantamento bibliográfico para a percepção dos artigos sobre SbN, e também foi feita a análise estatística sobre esses dados. Assim como, atendeu as ODS e demonstrou exemplos de cidades que atuam na busca dessa sustentabilidade.

Foi realizada uma investigação sobre a frequência e a evolução da publicação de artigos acadêmicos sobre SbN, no período de 2020 a 2023 com base em duas plataformas de busca, Google Scholar e Periódicos Capes.

Posteriormente buscou-se no software R, para análise estatística, realizar um gráfico que pudesse comparar o número de artigos publicados nas duas plataformas de busca usadas.

Além de demonstrar que esta abordagem da SbN, tem o enfoque no objetivo 11: “Cidades e Comunidades Sustentáveis e 3: “Saúde e Bem-estar” dos 17 objetivos que compõem a ODS (ONU, 2015).

Em seguida foram levantados exemplos de cidades que aplicam e seguem princípios da SbN, pensando na ampliação da arborização urbana, visando a qualidade de vida da população, auxiliando as políticas públicas de cada região, para que haja a melhora socioambiental.

Além disso, o estudo investigou a frequência e a evolução da publicação de artigos acadêmicos sobre Soluções baseadas na Natureza (SbN) durante o período de 2020 a 2023. Utilizando duas proeminentes plataformas de busca, Google Scholar e Periódicos Capes, a pesquisa foi conduzida por meio da expressão “Soluções baseadas na Natureza”.

3. Resultados

Com busca bibliográfica, pode-se obter reflexões sobre o conceito de SbN. As SbN abrangem ecossistemas urbanos, a ênfase na biodiversidade e a Infraestrutura Verde, visando reduzir a Ilha de Calor têm expandido o seu papel nas áreas urbanas na busca de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, favorecem oportunidades de diminuição das desigualdades sociais e incentivo a economia verde. (Mcphearson et.al. 2018).

Também a SbN possui a função de promoção da biodiversidade, com embasamento da restauração e manejo sustentável dos ecossistemas. Assim, o conjunto dessas soluções trazem além da harmonia com a natureza, suporte ao crescimento econômico, criando empregos “verdes” e espaços saudáveis que melhoram a qualidade de vida da população.

Apoiadas e inspiradas pela natureza com os processos ecológicos nos ecossistemas naturais, modificados ou artificiais que proporcionam benefícios ambientais, econômicos e sociais, contribuindo para a resiliência ecossistêmica constituem as SbN (Raymond et al., 2017).

Assim, as SbN, funciona como termo guarda-chuva para questões ambientais associadas, visam reproduzir os sistemas ecológicos com seus benefícios de serviços ecossistêmicos. O que inclui a implementação da infraestrutura verde, podendo ser uma arborização urbana (Nesshöver et al., 2017).

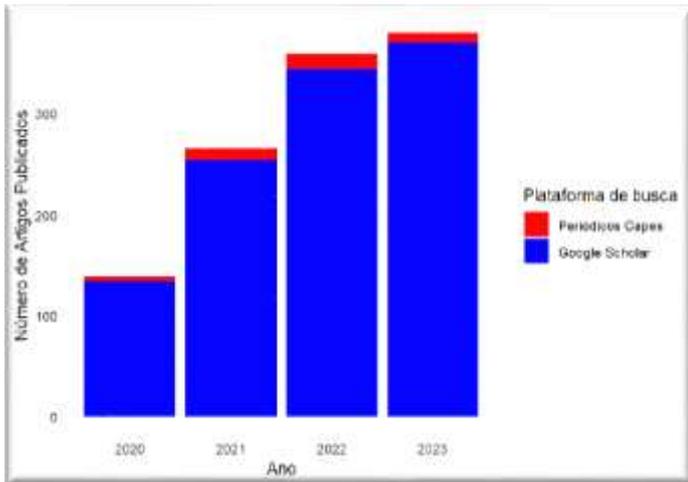
Este termo, vem sendo difundidas e trabalhadas sobre sua aplicabilidade no planejamento urbano. São soluções para os desafios sociais com base na natureza, como a aplicação da Infraestrutura Verde possuem uma abordagem integrada e auxiliam para combater ao mesmo tempo as mudanças climáticas, perda de biodiversidade e favorecer o desenvolvimento sustentável (Seddon, et al., 2020).

Importante lembrar que os serviços ecossistêmicos são provenientes de benefícios aos seres humanos. Caracterizados pelos serviços de: Regulação que incluem o clima e a água; Suporte para integração dos outros sistemas, como solo, ciclo de nutrientes e produção primária; Abastecimento a fim de fornecer bens como alimento, água potável e recursos genéticos e Culturais, que propiciam benefícios como lazer, educação e pesquisa (Santos, 2004).

A **Figura 1** apresenta o gráfico comparativo da evolução da publicação de artigos sobre SbN ao longo desses quatro anos, com dados provenientes das duas plataformas mencionadas: Periódicos da Capes e Google Scholar.



Figura 1 - Evolução da Publicação de Artigos sobre SbN (2020-2023).



Fonte – Os autores, 2024.

A análise revelou que o Google Scholar apresentou um aumento contínuo e significativo no número de publicações sobre SbN ao longo desses quatro anos. Por outro lado, a plataforma Periódicos Capes registrou um número menor de publicações, porém ainda com uma tendência crescente durante o mesmo período. Essas diferenças na quantidade de publicações podem ser atribuídas ao tipo de conteúdo indexado por cada plataforma e à forma como são acessadas pelos pesquisadores.

A seguir um breve levantamento de três cidades que se utilizaram de SbN e obtiveram melhoria no microclima, qualidade socioambiental, incluindo a promoção de diversos serviços ecossistêmicos na paisagem. Entre os benefícios, como melhoria da qualidade do ar, sombra para pedestre e transportes, atração da fauna, além de ser um elemento vivo para a cidade rodeada de concreto, trazendo benefícios para saúde física e mental dos seus habitantes.

Iniciando por um modelo brasileiro, cita-se a cidade de Maringá situada no Paraná, Brasil, com 409.657 pessoas com uma densidade demográfica de 841,16 hab/km² (IBGE, 2022). Ressalta que a árvore na história da cidade se tornou símbolo, onde o verde está presente no sistema viário, praças e parques, onde a população desfruta destes espaços, o que não só atrai moradores para a cidade como visitantes, pela beleza e bem-estar das árvores (Bovo, Amorim, 2012).

Maringá, PR, é conhecida por ser altamente arborizada, predominando árvores de grande porte na calçada e possuir belas áreas verdes (**Figura 2**), o que atrai turistas e novos habitantes, promove qualidade de vida e se destaca pela iniciativa ambientalista em comparação com outras cidades brasileiras (Blum; Borgo; Sampaio, 2008).

Figura 2 - Árvores de grande porte na calçada de Maringá, PR, Brasil.



Fonte – Acervo pessoal de Amanda Lombardo Fruehauf (2023).

Na Europa, vem sendo difundido o conceito de SbN e sua prática em várias cidades, aqui vamos dar o exemplo de Berlim na Alemanha.

Sabe-se que foram implantadas políticas e pesquisas europeias com base na relação entre ecologia, qualidade de vida e benefícios que a população recebe do ecossistema e com a SbN, por meio da Comissão Europeia, começou-se nesse continente a estimular soluções naturais de conservação visando o tripé da sustentabilidade, o meio ambiental, econômico e social (Maes; Jacobs, 2017).

Berlim, se caracteriza por ser engajada no âmbito ecológico, visto que a cidade alia a ecologia em todo seu aspecto, como com o parque Tiergarten (**Figura 3**). Segundo Gröning (2006), é essencial incluir os aspectos sociais, políticos e econômicos para se ter avanços positivos e isto inclui a arborização urbana.

A cidade tem se inovado de novas propostas com desenho urbano que visam valorizar seus espaços livres, desde o início do século 20, devido principalmente a reconstrução da cidade após duas guerras mundiais e seu esforço em unificar a cidade após a queda do muro de Berlim em 1989 (Bodenschatz 2010; Calabi, 2008)

Também a Alemanha toda se preocupou em criar viveiros nacionais para atender os cidadãos que desejam implantar árvore além de fornecer para o poder público, essa iniciativa foi de Peter Joseph Lenné (1789-1866), arquiteto paisagista. Nesse contexto Berlim, se destaca pela ampla arborização urbana ligado a cultura do jardim e espaços livres onde une-se a história, design, uso de jardim e parques que percorrem e atendem a sociedade.



Figura 3 - Ecologia urbana em Berlim, Alemanha



Fonte – Gabriel Lorenz.
<https://dicasdeberlim.com.br/berlim/onde-ficar-em-berlim/>

Por fim dentro desses exemplos de cidade, também se destaca no sudeste asiático a cidade de Singapura. A cidade alia ações para combate da emissão de carbono, gerenciamento de água e o uso do transporte público e incentivo ao transporte ativo como as bicicletas.

A paisagem de Singapura (**Figura 4**) é única e peculiar, com clima tropical, sendo uma cidade-jardim onde não há limite entre área urbana e rurais. Porém a IV domina toda a cidade, sendo uma floresta primária de 75 hectares no meio da ilha e espaços abertos para lazer no nordeste da ilha. O índice de verde ainda é alto, principalmente em sua área “rural”, verificou-se um resfriamento da cidade com as áreas verdes em nível macro (Wong; Yu, 2005).

Além disso, a cidade sempre busca inovação e melhoria ambiental. Onde desenvolveu o Singapore Green Plan, que diz: “O Singapore Green Plan (SGP) é o primeiro plano ambiental de Singapura. É um movimento nacional de sustentabilidade que busca mobilizar ações ousadas e coletivas para combater as mudanças climáticas. O Plano Verde traça metas ambiciosas e concretas para os próximos 10 anos, fortalecendo os compromissos de Cingapura sob a Agenda de Desenvolvimento Sustentável de 2030 da ONU e o Acordo de Paris, e nos posicionando para alcançar nossa aspiração líquida de emissões zero de longo prazo o mais rápido possível” (SINGAPORE Green Plan, 2024).

São inspiradoras as paisagens que se utilizam de SbN. Como cita Herzog (2020), dentro dos sistemas inspirados na natureza, tem-se a SbN, com multifuncionalidade que propiciam diversos serviços ecossistêmicos, visando a resiliência urbana com a recuperação de ecossistemas degradados e regeneração das suas funções essenciais

Figura 4 - Exemplo de sustentabilidade em Singapura, Sudeste Asiático.



Fonte - Paloma Guitarrara,
<https://brasilescola.uol.com.br/geografia/cingapura.htm>

Assim o trabalho contribui para ressaltar a necessidade de aprofundar o estudo de SbN para que este seja cada vez mais aplicado nas cidades. De modo a valorizar a importância de aumentar as áreas verdes no tecido urbano, para a melhora da qualidade de vida da população.

Também, destaca-se que pode-se demonstra o quanto as publicações do conceito podem se expandir e serem divulgadas com maiores frequências.

Com benefícios sociais, ambientais e econômicos para a sociedade, a SbN, tem como base as soluções naturais, representadas por iniciativas como jardins de chuva, telhados verdes, agricultura urbana, arborização urbana. Assim, essas soluções partem do princípio de utilizar os serviços ecossistêmicos da natureza a fim de reduzir a vulnerabilidade urbana frente a eventos extremos (Fraga; Sayago, 2020).

4. Considerações Finais

O trabalho visou a necessidade de implantação da SbN no planejamento urbano. O termo SbN vêm sendo discutido, aplicado e estudado sua importância na paisagem urbana, como difusor da inovação de aplicar as ações que envolvem a Infraestrutura Verde. Nesta pesquisa, foi realizado um levantamento sobre as publicações do termo SbN dos anos 2020 a 2023, o que pode demonstrar uma tendência da consolidação do conhecimento de SbN nesses últimos 4 anos.

Assim, também o trabalho apresentou alguns exemplos de cidades que aplicam SbN: Maringá, PR, Brasil; Berlim, Alemanha; Singapura, Sudeste Asiático, a fim de demonstrar o quanto a SbN, pode intervir de forma positiva nas cidades, colaborando para, mitigação das mudanças climáticas e promove o bem-estar para os cidadãos.



Este trabalho exploratório, buscou demonstrar o quanto a SbN, pode intervir de forma positiva nas cidades, visando a sustentabilidade e colaborando para o aumento da qualidade ambiental do espaço urbano.

Referências

AMATO - LOURENÇO, L.F. et al. Metrôpoles, cobertura vegetal, áreas verdes e saúde. **Estudos Avançados**, v.30, n.86, pp. 113-130. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142016000100113&script=sci_arttext> Acesso em: 10 abril. 2024.

BLUM, C. T.; BORGIO, M.; SAMPAIO, A. C. F. Espécies exóticas invasoras na arborização de vias públicas de Maringá-PR. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 3, n. 2, p. 78-97. 2008.

BODENSCHATZ, H. **Berlin Urban Design – A brief history of a European City**. Berlin: DOM, 2010.

BOVO, M. C.; AMORIM, M. C. de C. T. A cidade verde, imagens e discursos: o caso de Maringá (PR) Brasil. **RAEGA-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 26. 2012. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/30152>; Acesso em 3 abril. 2024.

CALABI, D. **História do Urbanismo Europeu**. São Paulo: PERSPECTIVA, 2008.

CE – Comissão Europeia. Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities: Final report of the Horizon 2020 expert group on 'Nature-based solutions and re-naturing cities': (full version). Publications Office of the European Union. 2015.

COHEN - SHACHAM, E., et.al. (2017). Nature-based solutions to address global societal challenges. **IUCN: Gland**, Switzerland, 97.

FAIVRE, N. et al. Nature-Based Solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges. **Environmental research**, v. 159, p. 509-518, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.032>.

FRAGA, R. G.; SAYAGO, D. A. V. Soluções baseadas na natureza: uma revisão sobre o conceito. **Parcerias Estratégicas**, v. 25, n. 50, p. 67-82, 2020.

GEORGE, J. S.; PAUL, S. K.; DHAWALE, R. Contrasting urban greenness across cities with varying trends in above-normal weather events. **Nature-Based Solutions**, v. 1, p. 100008, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2021.100008>

GIL, A. C. Como classificar as pesquisas. **Como elaborar projetos de pesquisa**, v. 4, n. 1, p. 44-45. 2002.

GRÖNING, G. Aspectos da cultura do jardim e do desenvolvimento dos espaços livres na Alemanha. **RAEGA-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 11. 2006.

HERZOG, C.P. Soluções baseadas na Natureza para um novo paradigma no tratamento de esgoto em áreas urbanizadas. **Parcerias Estratégicas**, v. 25, n. 50, p. 133-158. 2020. Disponível em: <https://seer.cgee.org.br/parcerias_estrategicas/article/view/949/857#:~:text=Sistemas%20de%20tratamento%20de%20esgoto,apresentadas%20ao%20longo%20do%20a%20rtigo.>>. Acesso em 22 jun 2024.

IBGE. Censo 2022. Disponível em: IBGE. **Censo 2022**. 2022. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/maringa/panorama>>. Acesso em: 20 abril. 2024.

KANTARTZIS, A. Alternative Sustainable Green Infrastructure Planning: Re-organizing Urban Waterfront Resilient Mediterranean Landscapes Via an Innovative “Greenways-Green Walls-Green Roofs” Integrated System. The Case of Igoumenitsa, Greece. **Repository Istituzionale**, p. 169. 2019. Disponível em: <https://iris.polito.it/retrieve/handle/11583/2638390/101949/UNISCAPE%20En%20Route%20n.2.pdf> Acesso em: 20 fev. 2024.

LANGEMEYER, J.; BARÓ, F. Nature-based solutions as nodes of green-blue infrastructure networks: A cross-scale, co-creation approach. **Nature-Based Solutions**, v. 1, 11p, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2021.100006>

MAES, J.; JACOBS, S. Nature-Based Solution for Europe’s Sustainable Development. In: **Conservation Letters**, v. 10, n. 1, p. 121-124. jan./fev.2017.

MARQUES, T. H. N., et al. Soluções baseadas na natureza: conceituação, aplicabilidade e complexidade no contexto latino-americano, casos do Brasil e Peru. **Revista LabVerde**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 12-49. 2021 DOI: 10.11606/issn.2179-2275.labverde.2021.189419. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/189419>. Acesso em: 9 abril. 2024.

MCPHEARSON, T., et.al. Urban ecosystems and biodiversity. In Rosenzweig, C., W. Solecki, P. Romero-Lankao, S. Mehrotra, S. Dhakal, and S. Ali Ibrahim (eds.), **Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network**. Cambridge University Press. New York. 257–318. 2018.

NAÇÕES UNIDAS (ONU) BRASIL. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em 10 ago. 2024.



NESSHÖVER, C.; et al. The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. **Science of the Total Environment**, v. 579, p. 1215-1227, 2017. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.11.106. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716325578>. Acesso em: 21 abril.2024.

RAYMOND, C.M., et al. A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. **Environmental Science and Policy**, v. 77, p. 15-24, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.008>

RODRIGUES, P. N. **Aprendendo com a natureza: uma revisão sistemática sobre Nature-Based Solutions (NBS)**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2020. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/40017>>. Acesso em: 10 ago. 2024.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática**. São Paulo: Oficina de Textos. São Paulo, SP. 2004. 184 p

SEDDON, N., et al. Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, 375. 2020 <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>. 2020.

SINGAPORE GOVERNMENT AGENCY. SINGAPORE Green Plan 2030. Disponível em: <https://www.greenplan.gov.sg/>. Acesso em: 15 ago. 2024

WONG, N. H.; YU, C. Study of green areas and urban heat island in a tropical city. **Habitat international**, v. 29, n. 3, p. 547-558. 2005.

Compósitos cimentícios com propriedades elétricas (CCPE) aplicados à infraestrutura urbana: uma breve revisão

João Batista Lamari Palma e Silva¹, Camila Tiemi Ozaki e Silva², Stephanie Cucolo Marçula³, Rosa Cristina Cecche Lintz⁴, Luísa Andreia Gachet⁵

1. Doutor, j095353@dac.unicamp.br, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
2. Doutoranda, c210427@dac.unicamp.br, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
3. Doutoranda, s237360@dac.unicamp.br, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
4. Professora Associada, rosaint@unicamp.br, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
5. Professora Associada, gachet@unicamp.br, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Resumo: A demanda por infraestrutura que atenda aos anseios econômicos, sociais e ambientais, carece de avanços tecnológicos provenientes de pesquisas nos mais diversos campos, inclusive no desenvolvimento e aperfeiçoamento de compósitos cimentícios como argamassas e concretos, os quais são amplamente utilizados em obras de infraestrutura. Neste sentido, diversos pesquisadores têm buscado agregar novas funcionalidades aos compósitos cimentícios, inclusive por meio da melhora de suas propriedades elétricas. Tais propriedades permitem que os compósitos sejam usados como coletores de energia elétrica, sistema de detecção de tráfego, blindagem eletromagnética, monitoramento estrutural, entre outros. Para isso, materiais eletricamente condutivos, como carbono e metais são incorporados à matriz cimentícia. Estudos têm demonstrado que tais compósitos têm apresentado características multifuncionais, pois além de funcionarem como componentes estruturais, por exemplo, no caso de uma ponte, um túnel ou um pavimento, também são capazes de oferecer outras funcionalidades como gerar, transmitir ou armazenar energia elétrica. Contudo, mais pesquisas são necessárias para se superar todos os desafios técnicos, econômicos e ambientais, visando o uso dos compósitos cimentícios com propriedades elétricas (CCPE) em construções reais.

Palavras-chave: compósitos cimentícios, propriedades elétricas, infraestrutura.

1. Introdução

O Governo Federal brasileiro estimou investimentos de R\$ 1,4 trilhão até o ano de 2026 em infraestrutura, por meio do programa Novo PAC (Brasil, 2023). Com isso, espera-se que haja um grande número de obras que utilizem novas tecnologias, as quais visem reduzir custos de construção, operação e manutenção, bem como possam mitigar impactos ambientais e sociais.

Uma forma de se otimizar o uso de materiais e/ou compósitos se dá por meio de técnicas que possam conferir funcionalidades complementares aos mesmos. Por exemplo, promovendo múltiplos usos ao concreto, além de servir como elemento estrutural.

Neste sentido, deixar de usar um material ou compósito apenas para uma finalidade, mas sim por meio de novas

funcionalidades, é algo crucial para torná-lo um agente promotor de desenvolvimento sustentável (Qin *et al.* 2024). Assim, é de suma importância compreender o estado da arte destes materiais e compósitos multifuncionais, os quais têm sido objeto de inúmeras pesquisas ao decorrer dos últimos anos.

2. Compósitos cimentícios com propriedades elétricas (CCPEs)

Um compósito cimentício com propriedades elétricas (CCPEs), seja na forma de pastas de cimento, argamassas ou concretos, pode dispor de propriedades que possibilitem diversas aplicações (**Figura 1**), como por exemplo, aterramento elétrico, blindagem contra interferências eletromagnéticas, proteção catódica, monitoramento de integridade estrutural, monitoramento de tráfego de veículos, entre outras funcionalidades (Wang & Aslani, 2019).

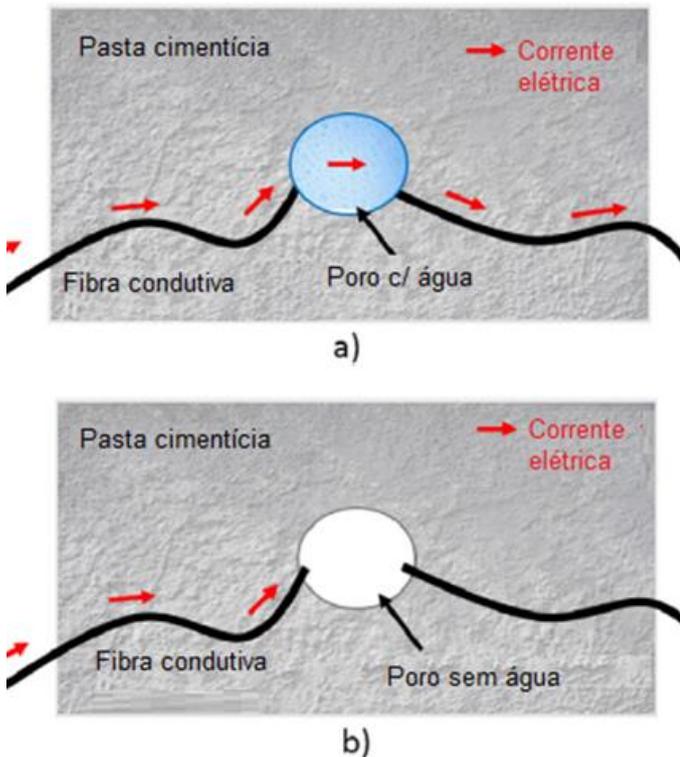
Figura 1 – Exemplos de aplicações de compósitos cimentícios com propriedades elétricas



Fonte: Adaptado de Silva (2024)

Um compósito cimentício é considerado eletricamente isolante [mau condutor]. Com isso, para que o concreto tenha suas propriedades elétricas modificadas é necessário que filers eletricamente condutivos sejam incorporados ao mesmo, como por exemplo, para aumentar sua condutividade elétrica (Wang & Aslani, 2021). Contudo, não são apenas os materiais eletricamente condutores incorporados a um compósito cimentícios que influenciam em sua condutividade elétrica, mas também pela presença ou não de água nos poros. Essa água pode servir como elemento de conexão entre as partículas condutoras (**Figura 2**) que porventura não mantenham contato direto entre si (Yoo *et al.*, 2017). A melhora da condutividade elétrica com água nos poros do compósito se dá pelo fato da possibilidade de íons hidratados se moverem livremente na água, como portadores de corrente elétrica (Chuang *et al.*, 2017).

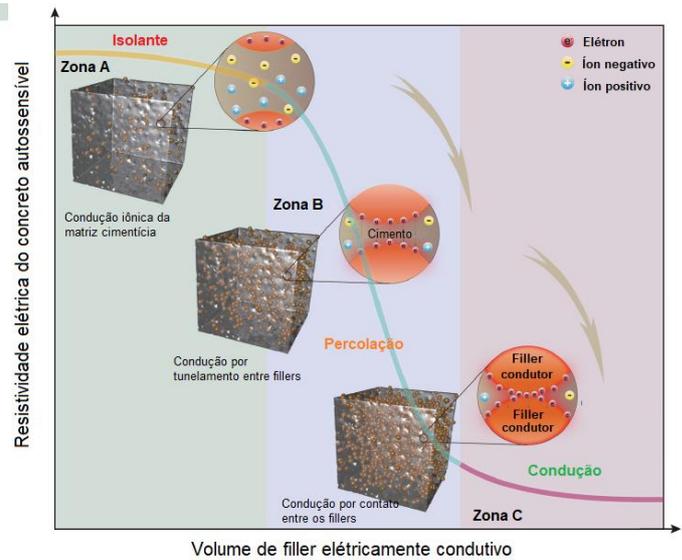
Figura 2 – Ilustração comparativa entre caminho condutivo da pasta de cimento com água (a) e sem água (b)



Fonte: Wang & Aslani (2019) *apud* Silva (2024).

Teorias como limiar de percolação e efeito de tunelamento quântico também fazem parte dos conceitos que justificam as variações de propriedades elétricas em compósitos cimentícios (Han *et al.*, 2020). O limiar de percolação é a fase em que ocorre uma transição abrupta da fase isolante para a fase de menor resistividade elétrica (**Figura 3**) que o compósito pode atingir mediante o aumento da incorporação de um material condutor (Haghgoo *et al.*, 2022).

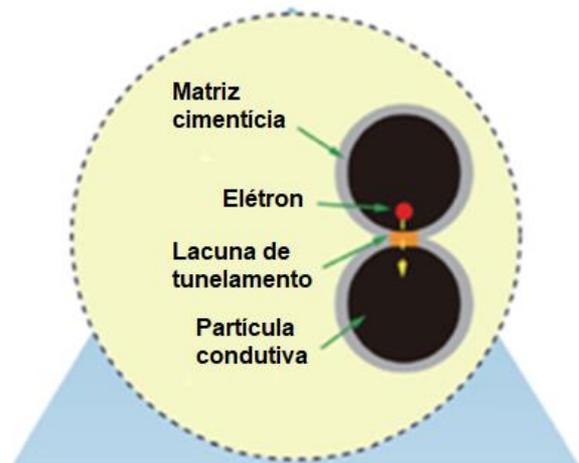
Figura 3 – Zonas (isolante, percolação ou transição e condução) de resistividade elétrica em compósitos cimentícios



Fonte: Ding *et al.* (2019) *apud* Silva (2024).

O tunelamento quântico se dá em função da distância demasiadamente pequena entre partículas eletricamente condutoras que não se tocam (**Figura 4**), mas possibilitam que um elétron ou carga elétrica salte entre de uma partícula para outra sem a presença de um caminho condutivo (Chuang *et al.*, 2017).

Figura 4 – Esquema ilustrativo de tunelamento entre partículas condutoras sem contato

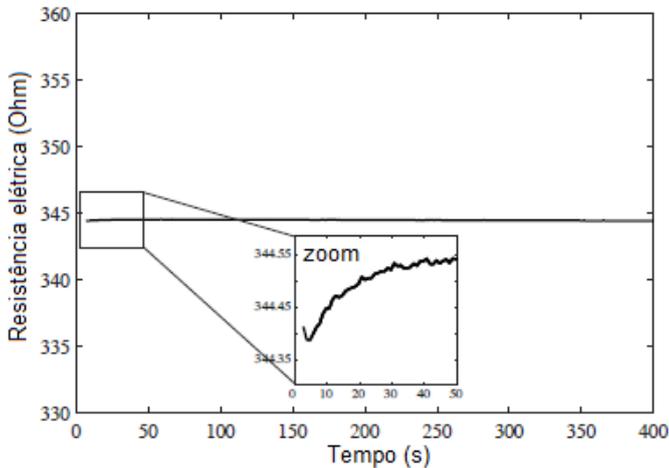


Fonte: Ding *et al.* (2019) *apud* Silva (2024).

Outro fator relevante quanto a condutividade elétrica de compósitos cimentícios, é o fato de que eles não possuem comportamento puramente ôhmico, visto que se assemelham as características de materiais dielétricos (D'Alessandro *et al.*, 2014; Downey *et al.*, 2018). Essas características estão associadas tanto a resistências quanto à capacitância, fazendo com que a resistência elétrica apresente valores instáveis (**Figura 5**) durante determinado estágio da medição (Chung & XI, 2022; Chung, 2021a;

Chung, 2021b), o que caracteriza a ocorrência da polarização elétrica.

Figura 5 – Variação da resistência elétrica em função do efeito de polarização causado por propriedades capacitivas durante alimentação com corrente contínua



Fonte: Birgin *et al.* (2020) *apud* Silva (2024).

A movimentação de íons livres na matriz cimentícia ocorre mediante aplicação de uma excitação elétrica, o que gera um campo elétrico na direção contrária do fluxo da corrente. Tal situação provoca o efeito de polarização, acarretando o aumento da resistividade por um certo tempo (Dehghani & Aslani, 2021).

Com isso, a escolha das técnicas e métodos de análise de propriedades elétricas de compósitos cimentícios é fator extremamente relevante para realização das análises pretendidas. Assim, o próximo Capítulo apresenta questões relacionadas as técnicas de medição de propriedades elétricas nos compósitos.

3. Técnicas de medição de propriedades elétricas

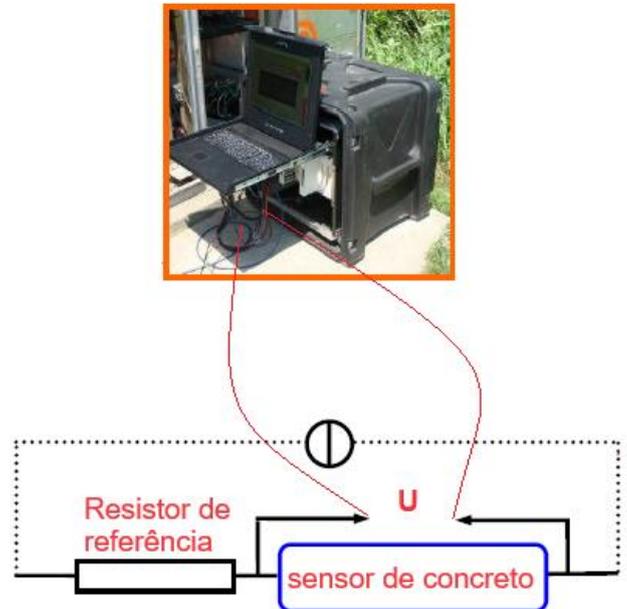
A medição de resistência elétrica em compósitos cimentícios pode ser realizada por meio de diversas técnicas e métodos. Ou seja, o método utilizado para medições de grandezas como resistência elétrica pode ser um fator de significativa influência nos resultados das propriedades elétricas em análise. Esses métodos podem envolver o uso de circuitos alimentados por corrente contínua (CC), bem como por corrente alternada (CA). Em vários casos a medição de resistência envolve o uso de um circuito alimentado por CC (**Figura 6**) para determinação da queda de tensão elétrica (U), o que auxilia na obtenção do valor da resistência elétrica (Dong *et al.*, 2019; Han *et al.*, 2020; Scholle & Sinapius, 2021).

Cosoli *et al.* (2020) realizaram estudo no qual indicou que nas publicações consultadas por eles, o uso de circuitos com alimentação em CA para medição de propriedades elétricas em compósitos cimentícios era de aproximadamente 65%.

Chuang *et al.* (2017) destacam que o uso de circuitos alimentados por CA é mais complexo que os circuitos que usam a alimentação por CC para medição de propriedades

elétricas em compósitos cimentícios. Porém no caso de CC ocorre o efeito de polarização indicado na **Figura 5**.

Figura 6 – Medição de tensão elétrica por meio do uso de circuito divisor de tensão para determinação da resistência elétrica em sensor produzido em concreto



Fonte: Adaptado de Han *et al.* (2013)

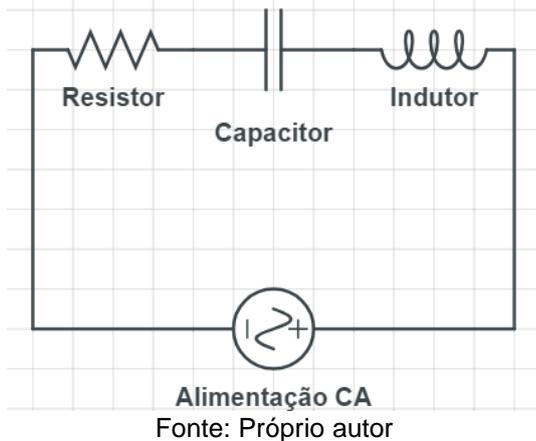
Já por meio dos métodos que envolvem medição com o uso de CA (**Figura 7**), a resistência elétrica não é obtida diretamente, mas sim a impedância elétrica, visto que o circuito equivalente pode conter indutores e/ou capacitores (**Figura 8**), o que enseja a ocorrência da reatância elétrica, visto que a corrente e a tensão elétrica não atingem um pico simultaneamente (Sarwary *et al.*, 2019).

Figura 7 – Utilização de analisador de impedância em compósito cimentício com dois eletrodos metálicos embutidos



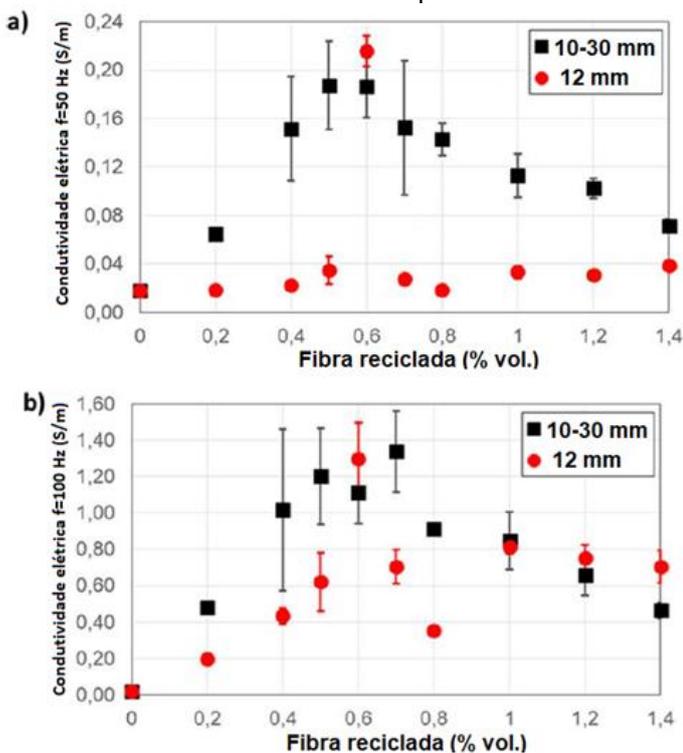
Fonte: Cassol *et al.* (2022) *apud* Silva (2024)

Figura 8 – Circuito elétrico com elementos resistivos e reativos, com alimentação em CA



No caso de compósitos cimentícios analisados por meio de sistemas que envolvam CA, os valores de condutividade elétrica podem ser afetados pela frequência da corrente, conforme demonstrado (Figura 9) por Segura *et al.* (2019).

Figura 9 – Influência da variação da frequência da corrente elétrica, entre 50 Hz (a) e 100 kHz (b) na condutividade elétrica de compósito cimentício



Fonte: Segura *et al.* (2019) *apud* Silva (2024)

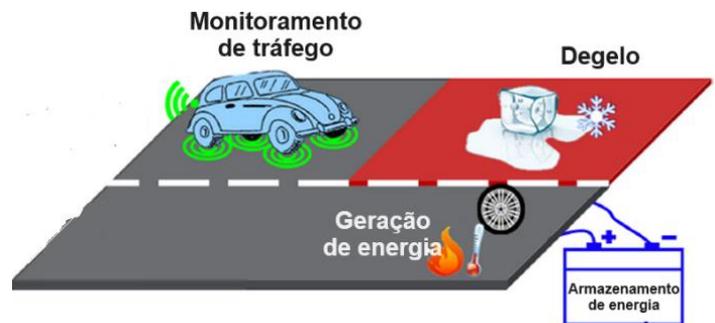
4. CCPEs aplicados a infraestrutura urbana

Inúmeras pesquisas têm buscado aperfeiçoar os compósitos cimentícios, mediante incorporação de novos usos para os mesmos, como é o caso dos chamados concretos inteligentes (do inglês *smart concrete*). A

exemplo de infraestrutura rodoviária (Figura 10), estes novos usos podem resultar em aplicações como pavimentos e estruturas autossensíveis (do inglês *self-sensing*), autocoletores (do inglês *self-harvesting*) de energia e degelo (Dong *et al.*, 2023), as quais estão diretamente associadas as propriedades elétricas dos compósitos cimentícios.

Os pavimentos e estruturas autossensíveis, consistem-se na condição de que o concreto possui a habilidade de se automonitorar, não necessitando assim o uso de sensores instalados no pavimento ou na estrutura. Este automonitoramento pode estar associado a avaliação de parâmetros como temperatura, pH, umidade, tensão-deformação, entre outros, que contribuem para avaliação da situação da estrutura ou do pavimento (Birgin *et al.*, 2023; Mo *et al.*, 2020; Scholle & Sinapius, 2021).

Figura 10 – Exemplos de aplicações em infraestrutura de pavimentos com compósitos multifuncionais



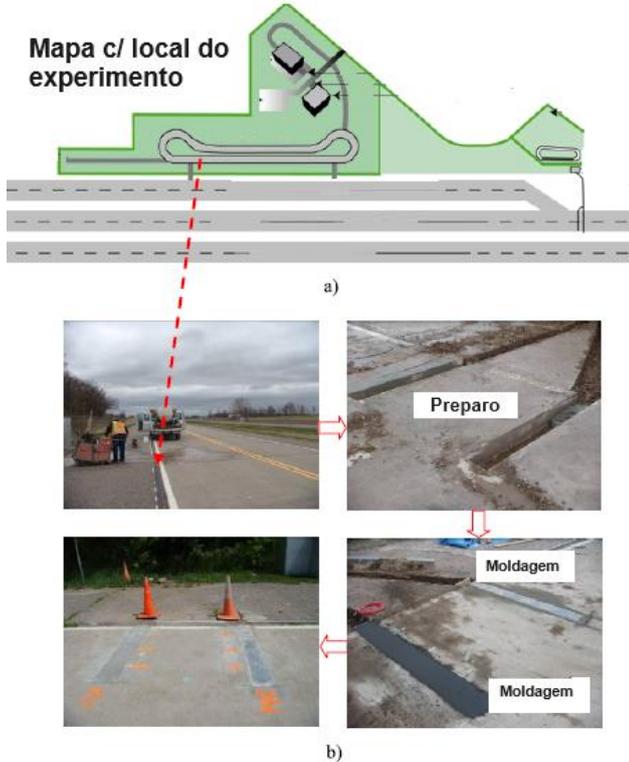
Fonte: Adaptado de Dong *et al.*, 2023.

Contudo, ainda são singelos os casos de aplicação de CCPE em construções reais. Han *et al.*, (2013) empregaram argamassa autossensível, produzida com nanotubos de carbono, na forma de sensores cimentícios no pavimento em concreto (Figura 11) de uma rodovia em Albertville-MN, nos Estados Unidos da América, visando a detecção de tráfego de veículos. A partir dos testes realizados, foi possível constatar segundo os referidos pesquisadores que os sensores cimentícios podem apresentar vantagens em relação aos convencionais, como maior vida útil, boa compatibilidade com o pavimento em concreto.

Em casos recentes de aplicações de CCPE em estruturas reais, ainda que em pequena proporção, Ding *et al.* (2022) produziram pasta cimentícia autossensível com nanotubos de carbono, os quais foram sintetizados diretamente no cimento Portland. O referido compósito foi utilizado em trechos da laje de apoio (Figura 12) dos trilhos da ferrovia de trens de alta velocidade que conecta Xangai a Hangzhou na China. Conforme os autores, o compósito apresentou excelentes resultados quanto à repetibilidade e a estabilidade das leituras, quando da passagem dos trens. Porém, ainda segundo os autores, mais esforços são necessários para reduzir custos na produção de nanotubos

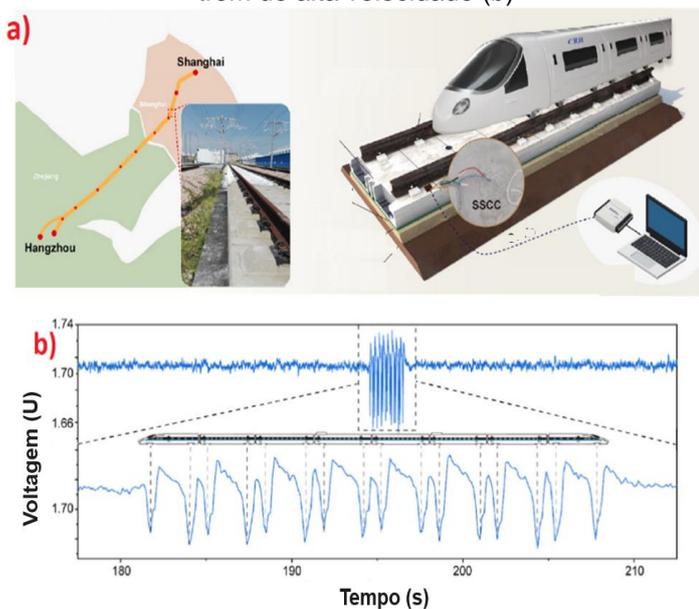
de carbono sintetizados, para viabilizar sua utilização em larga escala.

Figura 11 – Mapa de localização do experimento (a) e fotos da etapa de preparo e moldagem in loco dos sensores cimentícios (b)



Fonte: Adaptado de Han et al. (2013)

Figura 12 – Localização e detalhamento do local de execução do compósito autossensível (a) e resultados gráficos da variação de voltagem com a passagem de trem de alta velocidade (b)

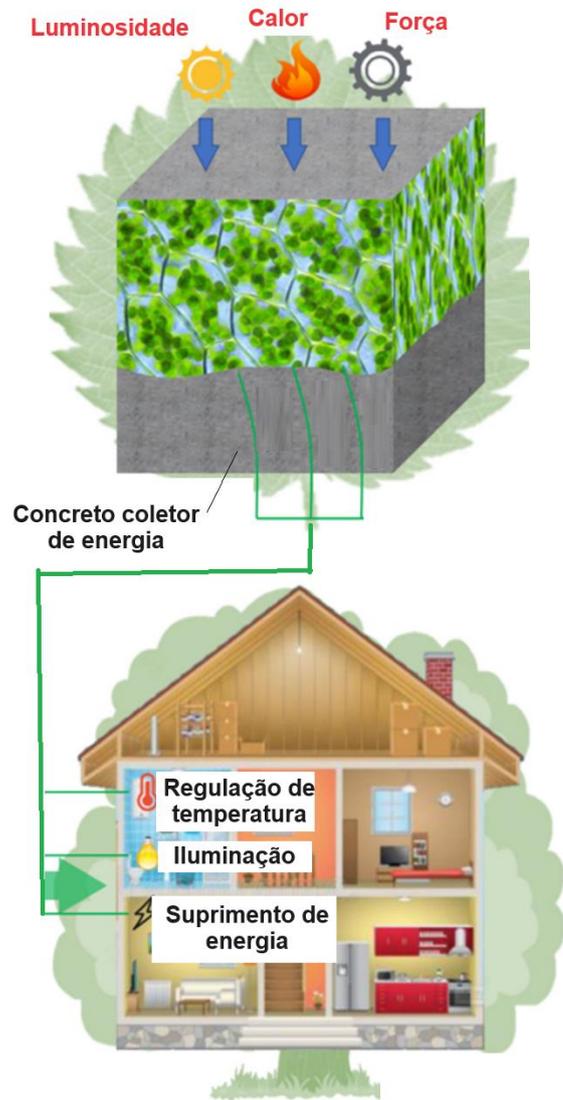


Fonte: Ding et al., 2022.

Qin et al. (2024) destacam que diversos pesquisadores têm desenvolvido sistemas de coleta de energia a partir de concretos capazes de utilizar princípios fotovoltaicos, termoelétricos e piezoelétricos, com o intuito de converter fenômenos físicos sobre um pavimento de concreto em energia elétrica (**Figura 13**). Ainda de acordo com os referidos autores, apesar da complexidade e dos desafios ainda existentes, como por exemplo, a utilização das referidas técnicas sem comprometer as propriedades do concreto, estes sistemas de conversão de energia podem reduzir as emissões de CO₂.

O grupo de pesquisas dos autores do presente artigo, tem realizado diversos estudos experimentais no campo dos CCPE, mediante o uso de grafite (Ozaki e Silva et al., 2023), fibras de carbono e resíduo de lona de freio (Silva et al., 2024).

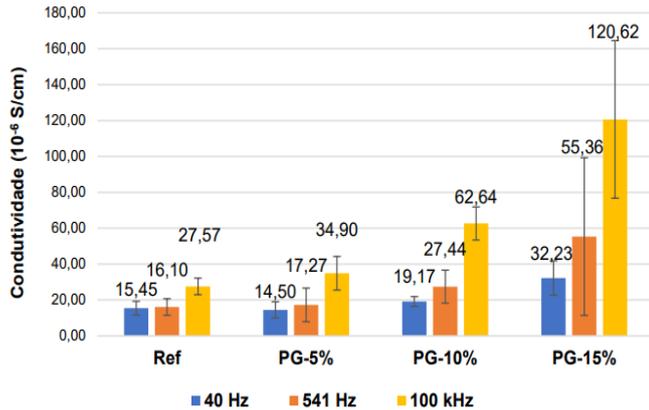
Figura 13 – Esquema de conversão de energia luminosa, térmica e mecânica em energia elétrica por meio de concreto com propriedades multifuncionais



Fonte: Adaptado de Wang et al. (2021)

Nestas pesquisas, como a de Ozaki e Silva (2023), foi produzida argamassa com o traço 1:0,75:0,5 (cimento:areia:água), promovendo adições de grafite em pó nas proporções de 5%, 10% e 15% em relação a massa do cimento, tendo sido obtido aumento da condutividade elétrica em diversas frequências analisadas, conforme **Figura 14**.

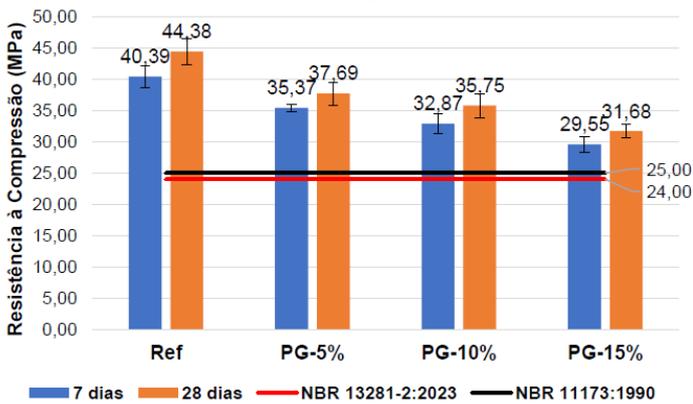
Figura 14 – Valores médios de condutividade elétrica por traço de argamassa com grafite para as medições em frequências de 40 Hz, 541 Hz e 100 kHz



Fonte: Adaptado de Ozaki e Silva (2023).

Apesar da ocorrência de perda de resistência à compressão (**Figura 15**), os resultados do referido estudo ainda estavam dentro dos padrões normativos brasileiros (NBR 13281-2:2023; NBR 11173:1990) para a propriedade em questão.

Figura 15 – Média de valores de resistência à compressão para os traços aos 7 e 28 dias



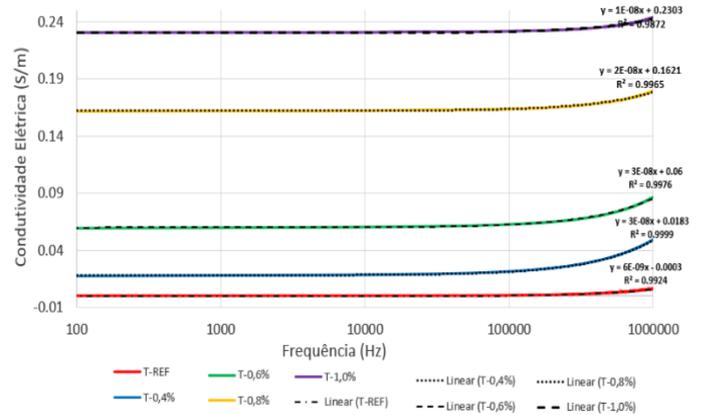
Fonte: Adaptado de Ozaki e Silva (2023).

Marçula (2024), produziu argamassas no traço 1:2:0,45 (cimento:areia:água) com aditivo redutor de água, com adição de fibra de carbono nas proporções de 0,4%, 0,6%, 0,8% e 1% em relação a massa de cimento, onde foi obtido aumento de condutividade elétrica conforme resultados da **Figura 16**.

Quanto as perdas de resistência à compressão (**Figura 17**) constatadas por Marçula (2024), estas também não

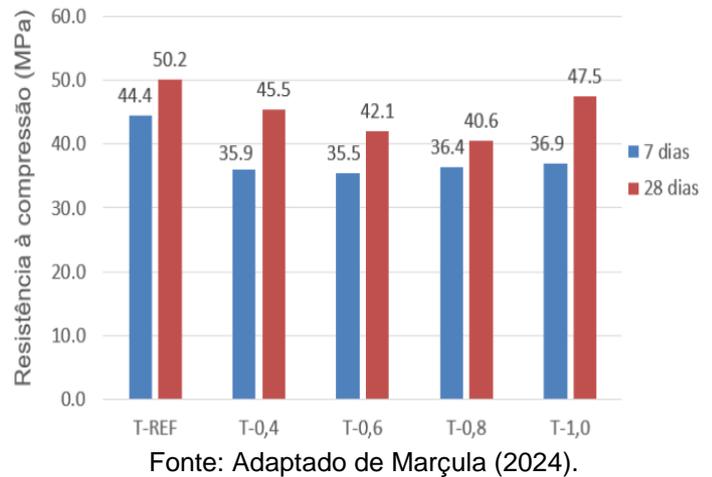
ocorreram de forma que os limites normativos brasileiros tivessem sido ultrapassados.

Figura 16 – Valores médios de condutividade elétrica por traço de argamassa com fibra de carbono para as medições nas frequências de 40 Hz a 1 MHz



Fonte: Adaptado de Marçula (2024).

Figura 17 – Média de valores de resistência à compressão para os traços aos 7 e 28 dias

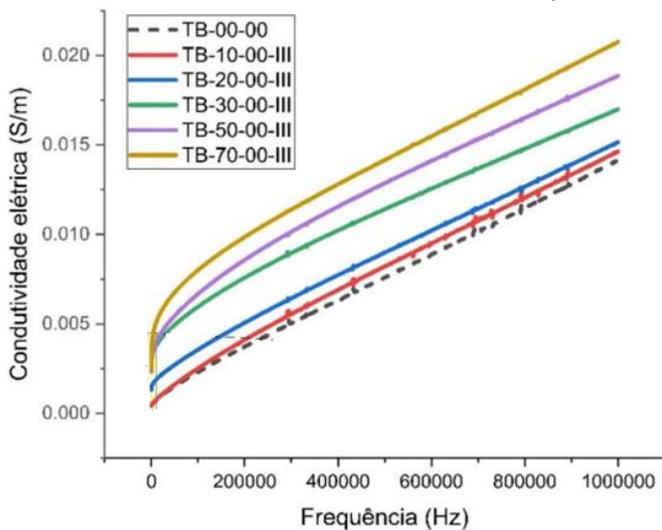


Fonte: Adaptado de Marçula (2024).

No campo dos CCPE com o emprego de materiais de descarte, Silva (2024) utilizou resíduo de lona de freio automotivo para produção de argamassa no traço 1:1:0,37 (cimento:areia:água) com aditivo redutor de água, promovendo a substituição da areia pelo resíduo nas proporções de 10%, 20%, 30%, 50% e 70%, onde foi obtido aumento de condutividade elétrica conforme resultados da **Figura 18**.

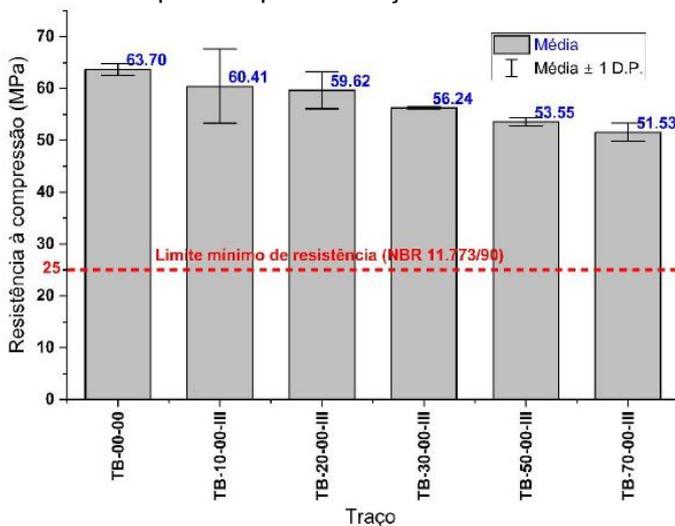
Em relação aos resultados da análise de resistência à compressão (**Figura 19**) dos compósitos cimentícios com resíduo de lona de freio, Silva (2024) constatou uma redução menor quando comparado ao uso das fibras de carbono, que em pequenas quantidades afetaram a resistência em proporção relativamente maior.

Figura 18 – Valores médios de condutividade elétrica por traço de argamassa com resíduo de lona de freio para as medições nas frequências de 40 Hz a 1 MHz



Fonte: Adaptado de Silva (2024).

Figura 19 – Média de valores de resistência à compressão para os traços aos 28 dias



Fonte: Adaptado de Silva (2024).

Estes resultados de aumento de condutividade elétrica dos compósitos das pesquisas mencionadas, mostram o quão promissor pode ser o uso de argamassas ou concretos com propriedades elétricas.

5. Considerações Finais

Pesquisas para o desenvolvimento e aplicações de compósitos cimentícios com propriedades elétricas tem aumentado nos últimos anos e com isso diversos avanços tecnológicos foram obtidos. Estes avanços indicam que diversas aplicações podem coexistir em um mesmo tipo de compósito, o que o torna extremamente multifuncional. Contudo, ainda existem diversas barreiras a serem

superadas para que tais compósitos estejam presentes em obras de infraestrutura urbana.

Assim, mais pesquisas são necessárias para que haja a melhora das técnicas de produção e análise dos referidos compósitos, sem que ocorra o comprometimento de suas propriedades usuais, tais como resistência mecânica e durabilidade. Aliado a isso, é necessária a redução de custos em sua produção, bem como a adoção de soluções ambientalmente amigáveis, visando inclusive colaborar com o atingimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU).

Agradecimentos

Esse trabalho foi financiado pelas seguintes agências de pesquisa: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de financiamento 001; Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) proc. 310375/2020-7 e proc. 309102/2023-5; e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) proc. 2023/05479-4. Os autores também agradecem ao programa de pós-graduação e à equipe de técnicos do Laboratório de Materiais da Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas.

Referências

- BIRGIN, H. B.; D'ALESSANDRO, A.; LAFLAMME, S.; UBERTINI, F. Smart Graphite–Cement Composite for Roadway-Integrated Weigh-In-Motion Sensing. *Sensors*, v. 20, 4518, 2020. DOI: 10.3390/s20164518.
- BIRGIN, H. B.; D'ALESSANDRO, A.; UBERTINI, F. A new smart sustainable earth-cement composite doped by carbon microfibers with self-sensing properties. *Developments in the Built Environment*, v. 14, 100168, 2023. DOI: 10.1016/j.dibe.2023.100168.
- BRASIL. SECRETARIA DE COMUNICAÇÃO SOCIAL. Investimentos em infraestrutura voltam a ser prioridade. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2023/12/governo-lula-recupera-investimentos-na-infraestrutura-do-brasil>. Acesso em: 27 ago. 2024.
- CASSOL, D.; RECH, G. L.; THOMAZI, E.; PEROTTONI, C. A.; ZORZI, J. E. Influence of an over calcined calcium oxide-based shrinkage-compensating admixture on some properties of a self-compacting concrete. *Matéria (Rio J)*, v. 27, n. 4, e20220171, 2022. DOI: 10.1590/1517-7076-rmat-2022-0171.
- CHUANG, W.; GENG-SHENG, J.; BING-LIANG, L.; LEI, P.; YING, F.; NI, G.; KE-ZHI, L. Dispersion of carbon fibers and conductivity of carbon fiber-reinforced cement-based composites. *Ceramics International*, v. 43, n. 17, p. 15122-15132, 2017. DOI: 10.1016/j.ceramint.2017.08.041.
- CHUNG, D. D. L. Self-sensing concrete: from resistance-based sensing to capacitance-based sensing. *International Journal of Smart and Nano Materials*, v. 12, n. 1, p. 1-19, 2021a. DOI: 10.1080/19475411.2020.1843560.
- CHUNG, D.D.L. Pitfalls and Methods in the Measurement of the Electrical Resistance and Capacitance of Materials. *J. Electron. Mater.*, v. 50, p. 6567-6574, 2021b. DOI: 10.1007/s11664-021-09223-w.



- CHUNG, D. D. L.; XI, X. A review of the colossal permittivity of electronic conductors, specifically metals and carbons. *Materials Research Bulletin*, v. 148, 111654, 2022. DOI: 10.1016/j.materresbull.2021.111654.
- COSOLI, G.; MOBILI, A.; TITTARELLI, F.; REVEL, G. M.; CHIARIOTTI, P. Electrical Resistivity and Electrical Impedance Measurement in Mortar and Concrete Elements: A Systematic Review. *Appl. Sci.*, v. 10, 9152, 2020. DOI: 10.3390/app10249152.
- D'ALESSANDRO, A.; UBERTINI, F.; MATERAZZI, A. L.; PORFIRI, M. Electrical modelling of carbon nanotube cement-based sensors for structural dynamic monitoring. *AIP Conf Proc.*, 1603, p. 23-30, 2014. DOI: 10.1063/1.4883038.
- DEGHANI, A.; ASLANI, F. Piezoresistive Sensing of Cementitious Composites Reinforced with Shape Memory Alloy, Steel, and Carbon Fibres. *Construction and Building Materials*, v. 267, 121046, 2021a. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121046.
- DING, S.; DONG, S.; ASHOUR, A.; HAN, B. Development of sensing concrete: Principles, properties and its applications. *Journal of Applied Physics*, v. 126, n. 24, 241101, 2019. DOI: 10.1063/1.5128242.
- DING, S.; XIANG, Y.; NI, Y.-Q.; THAKUR, V. K.; WANG, X.; HAN, B.; OU, J. In-situ synthesizing carbon nanotubes on cement to develop self-sensing cementitious composites for smart high-speed rail infrastructures. *Nano Today*, v. 43, 101438, 2022. DOI: 10.1016/j.nantod.2022.101438.
- DONG, S.; ZHANG, W.; D'ALESSANDRO, A.; HAN, B.. Developing highly conductive asphalt concrete by incorporating stainless steel fibers/wires for smart pavement. *Journal Of Materials Science*, [S.L.], v. 58, n. 27, p. 11062-11084, 2023. DOI: 10.1007/s10853-023-08736-5.
- DONG, W.; LI, W.; TAO, Z.; WANG, K. Piezoresistive properties of cement-based sensors: Review and perspective. *Construction and Building Materials*, v. 203, p. 146-163, 2019. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.01.081.
- DOWNEY, A.; D'ALESSANDRO, A.; UBERTINI, F.; LAFLAMME, S. Automated crack detection in conductive smart-concrete structures using a resistor mesh model. *Measurement Science and Technology*, v. 29, n. 3, 035107, 2018. DOI: 10.1088/1361-6501/aa9fb8.
- HAGHGOO, M.; ANSARI, R.; HASSANZADEH-AGHDAM, M. K. Prediction of piezoresistive sensitivity and percolation probability of synergetic CNT-GNP conductive network composite. *Sensors and Actuators A: Physical*, v. 336, 113414, 2022. DOI: 10.1016/j.sna.2022.113414.
- HAN, B.; ZHANG, K.; BURNHAM, T.; KWON, E.; YU, X. Integration and road tests of a self-sensing CNT concrete pavement system for traffic detection. *Smart Materials and Structures*, 22, 015020, 2013. DOI 10.1088/0964-1726/22/1/015020.
- HAN, J.; PAN, J.; CAI, J.; LI, X. A review on carbon-based self-sensing cementitious composites. *Construction and Building Materials*, v. 265, 120764, 2020. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120764.
- MARÇULA, S.C. (2024). Análise de Propriedades Elétricas e Mecânicas de Argamassa com Incorporação de Microfibra de Carbono. *Dissertação (Mestrado)*. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Faculdade de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia. Limeira-SP.
- MO, Y.L.; GAUTAM, A.; CHEN, Y.; CHEN, J.; JOSHI, B. Electrical impedance of carbon nanofiber aggregates. In: LIEW, M. S.; NGUYEN-TRI, P.; NGUYEN, T. A.; KAKOOEI, S. *Micro and Nano Technologies, Smart Nanococoncretes and Cement-Based Materials*. [S.l.]: Elsevier, 2020. p. 333-349. DOI: 10.1016/B978-0-12-817854-6.00014-3.
- OZAKI E SILVA, C.T. (2023). *Comparação das propriedades mecânicas e condutividade elétrica de argamassas com adição de grafite em pó*. *Dissertação (Mestrado)*. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Faculdade de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia. Limeira-SP.
- OZAKI E SILVA, C.T.; SILVA, J.B.L.P.; LINTZ, R.C.C.; GACHET, L.A. Mortars with addition of powdered graphite: Mechanical and electrical properties. *Materials Today: Proceedings* (2023). DOI: 10.1016/j.matpr.2023.03.489.
- QIN, H.; DING, S.; ASHOUR, A.; ZHENG, Q.; HAN, B. Revolutionizing infrastructure: The evolving landscape of electricity-based multifunctional concrete from concept to practice. *Progress in Materials Science*, 145, 101310, 2024. DOI 10.1016/j.pmatsci.2024.101310.
- SARWARY, M. H.; YILDIRIM, G.; AL-DAHAWI, A.; ANIL, Ö.; KHIAMI, KA.; TOKLU, K.; SAHMARAN, M. Self-Sensing of Flexural Damage in Large-Scale Steel-Reinforced Mortar Beams *ACI Mater. J.*, v. 116, p. 209-221, 2019. DOI: 10.14359/51715581.
- SEGURA, I.; FANCA, G.; TORRENTS, J. M.; AGUADO, A. Self-sensing concrete made from recycled carbon fibres. *Smart Materials and Structures*, v. 28, n. 10, 105045, 2019. DOI: 10.1088/1361-665x/ab3d59.
- SCHOLLE, P.; SINAPIUS, M. A Review on the Usage of Continuous Carbon Fibers for Piezoresistive Self Strain Sensing Fiber Reinforced Plastics. *J. Compos. Sci.*, v. 5, n. 4, 96, 2021. DOI: 10.3390/jcs5040096.
- SILVA, J. B. L. P. (2024). *Estudo do desempenho físico-mecânico, elétrico e piezoresistivo de compósito cimentício autossensível produzido com resíduo de lona de freio e fibra de carbono*. *Tese (Doutorado)*. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Faculdade de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia. Limeira-SP.
- SILVA, J.B.L.P.; LINTZ, R.C.C. E; GACHET, L.A. Analysis of the electrical and mechanical properties of cement composite produced with brake lining waste. *Advances in Science And Technology*, 149, 21-29 (2024) DOI:10.4028/p-dR94lv.
- WANG, L.; ASLANI, F. A review on material design, performance, and practical application of electrically conductive cementitious composites. *Construction and Building Materials*, v. 229, 116892, 2019. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116892.
- WANG, L.; ASLANI, F. Mechanical properties, electrical resistivity and piezoresistivity of carbon fibre-based self-sensing cementitious composites. *Ceramics International*, v. 47, n. 6, p. 7864-7879, 2021a. DOI: 10.1016/j.ceramint.2020.11.133.
- WANG, X.; DONG, S.; ASHOUR, A.; HAN, B. Energy-harvesting concrete for smart and sustainable infrastructures. *Journal of Materials Science*, 56:16243–16277, 2021. DOI 10.1007/s10853-021-06322-1.
- YOO, D-Y.; YOU, I.; LEE, S-J. Electrical Properties of Cement-Based Composites with Carbon Nanotubes, Graphene, and Graphite Nanofibers. *Sensors*, v. 17, 1064, 2017. DOI: 10.3390/s17051064.



Tendências e Perspectivas sobre Dengue: uma Análise Bibliométrica

Lucas Antônio Gomes do Carmo¹, Denise Helena Lombardo Ferreira².

1. Mestrando em Sistemas de Infraestrutura Urbana, lucas.agc2@puccampinas.edu.br, PUC-Campinas
2. Doutorado em Educação Matemática, lombardo@puc-campinas.edu.br, PUC-Campinas

Resumo: Análise bibliométrica quando aplicada possibilita visualizar tendências em uma determinada área do campo epistemológico. Nesse sentido, a presente pesquisa almeja utilizar a análise bibliométrica para quantificar os indicadores bibliométricos diante da evolução do conhecimento científico acerca da temática dengue. A busca foi realizada na base Scopus no período de 1964 a maio de 2024, totalizando 1.077 artigos. Os principais resultados indicam que os anos de 2021 e 2022 se destacam em termos de quantidade de publicações. Observou-se que Brasil e Estados Unidos lideraram em número de publicações, com 1683 e 1517, respectivamente. O periódico mais prolífico sobre o tema foi o Plos Neglected Tropical Diseases, com 113 artigos publicados, sendo 74 termos identificados com cinquenta ou mais ocorrências, com “animals”, “aedes” e “arboviruses” destacando-se como os termos mais estudados. Esses termos surgiram como os principais focos de interesse na amostra, caracterizando-se como os *Motor Themes*.

Palavras-chave: análise bibliométrica, dengue, arboviroses

1. Introdução

A doença viral dengue, que tem como vetor o mosquito do gênero *Aedes*, tem sido um dos principais desafios da saúde pública em todo o mundo, com foco em regiões tropicais e subtropicais. Pelo fato das mudanças climáticas, as arboviroses têm incidido em países europeus e norte-americanos, causando alarde na saúde global (Sun; Xue; Xie, 2017).

Arbovirose é um termo utilizado para classificar doenças transmitidas por artrópodes, referindo-se a doenças causadas por vírus que são transmitidos principalmente por insetos ou aracnídeos, carrapatos, mosquitos e moscas. Exemplos de arboviroses incluem a dengue, a febre amarela, a febre do Nilo Ocidental e o vírus Zika. Esses vírus são mantidos em ciclos de transmissão entre vetores (os artrópodes) e hospedeiros vertebrados, incluindo humanos. Segundo Rodrigues e Cangirana (2020) essa doença tem um período de incubação de 5 a 6 dias em média, sendo possível se manifestar na forma clássica que possui sintomas semelhantes aos da gripe, como indisposição, a febre alta, dor nos olhos, na cabeça e no corpo. Porém, é possível que a doença evolua para complicações graves como encefalite, hemorragia e morte.

A incidência de casos de dengue está diretamente relacionada a questões de saneamento básico, pois locais que contenham água acumulada e parada, tornam-se

propícios para a reprodução dos mosquitos transmissores, *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus*.

Para Gubler (1998), as mudanças sociais, demográficas, e de infra-estruturas de saúde pública nos últimos 30 anos auxiliaram enormemente para o retorno e emergência da febre hemorrágica da dengue no final do século XX.

As condições precárias de saneamento básico, como fornecimento deficiente de água e serviços inadequados de coleta de resíduos, proliferam locais de reprodução dos mosquitos. As condições de vida locais, como saneamento, densidade populacional e mobilidade humana, são fatores coletivos de riscos importantes para a incidência de dengue (Lowe et al. 2014; Lowe et al. 2021).

Mesmo com os esforços contínuos de organizações de saúde e pesquisadores para compreender e controlar essa enfermidade, a incidência da dengue continua a crescer, colocando em risco milhões de vidas anualmente.

Ao buscar a compreensão sobre a temática estudada, pode-se recorrer à investigação da produção científica pertinente, pois permite contemplar e explanar as tendências e os domínios do conhecimento. Para observar os focos e os movimentos quanto à produção científica de determinado assunto, pode-se valer à análise bibliométrica.

A análise bibliométrica é um método que possibilita avaliar a produção científica e o impacto da pesquisa sobre determinado tema, e tem emergido como uma ferramenta poderosa e valiosa para mapear o progresso científico em diversas áreas, incluindo a epidemiologia e o controle de doenças infecciosas.

Marques, Maculam e Souza (2023) alegam que a análise bibliométrica é uma técnica importante para avaliar a natureza do conhecimento gerado e a extensão dele, independentemente de ser científico. Andrade e Queiroz (2023) ponderam que esta análise permite o acompanhamento detalhado de uma área científica, mapeando a estrutura cognitiva da área, demarcando campos de pesquisa e acompanhando a sua evolução.

Utilizando-se de programas computacionais e palavras-chave, é possível quantificar e qualificar as produções acadêmicas sobre o assunto pesquisado e destacar as principais contribuições para a ciência e suas interconexões. As palavras-chave representam um dos focos da análise bibliométrica contemporânea (Urbizagástegui-Alvarado, 2022). Portanto, é possível perceber os avanços da ciência e apontar periódicos, autores, regiões instituições de ensino mais influentes sobre determinado assunto (Kaffash; Nguyen; Zhu, 2021).

Ao fornecer uma visão panorâmica do estado atual da pesquisa sobre a dengue, este estudo busca identificar lacunas de conhecimento, bem como oportunidades para

futuras investigações, aprimorando desta forma a eficácia das medidas de combate a essa enfermidade devastadora.

Portanto, o objetivo desta pesquisa visa utilizar a análise bibliométrica para quantificar os indicadores bibliométricos diante da evolução do conhecimento científico acerca da temática dengue com a finalidade de investigar e identificar autores e artigos mais citados, fontes, afiliações e países mais relevantes e criar redes de coocorrência sobre os trabalhos que são produzidos sobre essa temática.

No contexto da dengue, essa análise pode fornecer *insights* importantes sobre as tendências de pesquisa, áreas de interesse e colaborações entre pesquisadores, contribuindo assim para direcionar estratégias eficazes de prevenção e de controle da doença.

2. Metodologia

A presente pesquisa visa a identificar o estado da arte sobre a dengue no âmbito (inter) nacional, caracterizando-se como aplicado, descritivo e quantitativo. Sua natureza aplicada busca por soluções práticas para problemas reais relacionados à doença dengue, visando a contribuir efetivamente para a gestão estratégica e conservação da vida humana. Quanto à sua abordagem descritiva, para Gil (2019), o objetivo primordial é a descrição de particularidades de determinado fenômeno ou população, ou estabelecer relações entre variáveis. Contudo, os dados quantitativos, como o próprio nome diz, tem como intuito quantificar as publicações científicas e classificá-las por ano, autores, citações, países, periódicos, afiliações, redes de coocorrência e mapa temático.

Dentre as bases de conhecimento científico existentes, foi escolhida a base Scopus (Elsevier), devido ao seu reconhecimento internacional. Assim, realizou-se a busca utilizando-se do operador booleano "AND", da seguinte forma "arboviruses" (arboviroses) AND "mosquito" (mosquito) AND "dengue" (dengue), a partir de artigos científicos no período de 1964 a 06 de maio de 2024, resultando em 1.077 artigos. Realizou-se a busca somente com documentos da língua inglesa e dentre a gama de documentos obtidos, foram selecionados apenas artigos científicos.

A seguir, por meio da ferramenta *Bibliometrix*, foram obtidos alguns dos principais indicadores para os resultados da análise bibliométrica.

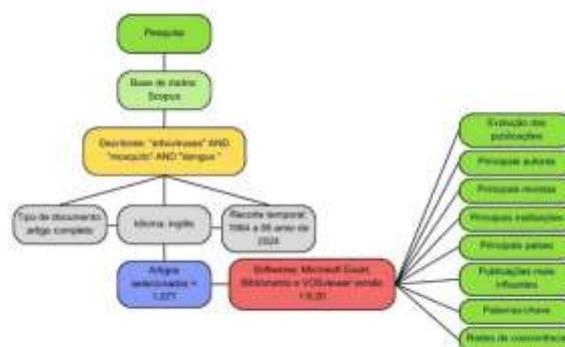
O *Bibliometrix*, sendo uma extensão do software R, e sua integração com o pacote *Biblioshiny*, proporciona diversas funcionalidades específicas para a análise bibliométrica. Essa ferramenta oferece uma abordagem apropriada para a análise da produção científica, permitindo investigações detalhadas e abrangentes (Aria; Cuccurullo, 2017; Moreira; Guimarães; Tsunoda, 2020).

Para a confecção das redes de coocorrências das palavras-chave, utilizou-se o software VOSviewer versão 1.6.20. Além dessas ferramentas, foram utilizados procedimentos como tabulação, conversão e compilação dos dados obtidos.

As pesquisas que contenham análises bibliométricas consistem em "examinar a produção de artigos em um determinado campo de saber, mapear as comunidades

acadêmicas e identificar as redes de pesquisadores e suas motivações" (Chueke; Amatucci, 2015, p. 2). Para facilitar a visualização mais clara do processo, foi feito o *framework* da pesquisa (Figura 1).

Figura 1 - Framework da pesquisa.



Fonte: elaboração própria.

3. Resultados

Com os devidos operadores e as palavras-chave na base Scopus: "arboviruses" (arboviroses) AND "mosquito" (mosquito) AND "dengue" (dengue), encontrou-se, como já mencionado, 1.077 documentos no período de 1964 a 06 de maio de 2024 (Figura 2).

Figura 2 - Quantidade de artigos publicados entre 1964 e maio de 2024.



Fonte: elaboração própria.

O primeiro artigo publicado é de 1964 e corresponde ao autor Miles et al. (1964), no qual, foram coletados mosquitos no período de 1959 e 1960 em Fiji, buscando isolar o vírus desses mosquitos.

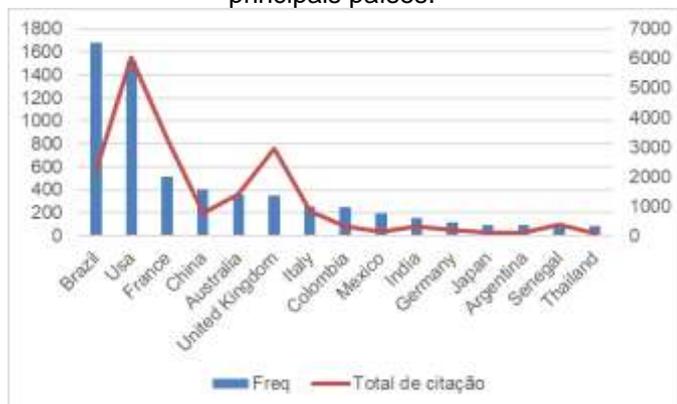
No período de 1964 a 2012, o número de artigos publicados variou de 0 a 20. O período de 2013 a maio de 2024 corresponde a 87,65% das publicações, o que mostra interesse e notoriedade de pesquisas sobre o tema neste período. O pico de publicações aconteceu no ano de 2022 com 125 artigos.

A média de citações por ano sobre essa busca ficou, em sua maioria, na faixa de 0 a 6 citações por ano, as maiores médias por ano foram em 2007 com 14,34 e 2009 com 9,05.



Quanto à distribuição geográfica, 109 países publicaram artigos sobre esse assunto. A **Figura 3** mostra os quinze países que mais produziram artigos sobre a temática e os respectivos números de citações.

Figura 3 - Quantidade de artigos publicados nos 15 principais países.



Fonte: elaboração própria.

Os seguintes países que apresentam o maior número de publicações em ordem decrescente foram: Brasil (1683), Estados Unidos (1517), França (513), China (405), Austrália (359) e Reino Unido (352). Já os países com maior número de citações foram: Estados Unidos (6029), França (3270), Reino Unido (2960), Brasil (2237), Austrália (1397) e Itália (840).

As dez instituições que mais desenvolveram pesquisas sobre o assunto e os seus respectivos países estão ilustradas na **Tabela 1**.

Tabela 1 - Quantidade de artigos publicados pelas das 10 principais instituições.

País	Afiliações	Artigos
Estados Unidos	University of California	105
Estados Unidos	Colorado State University	97
França	Institut Pasteur	95
Brasil	Instituto Oswald Cruz	88
Austrália	Monash University	70
Estados Unidos	University of Florida	64
Brasil	University of São Paulo	61
	London School of Hygiene	
Reino Unido	and Tropical Medicine	57
	Beijing Institute of	
	Microbiology and	
China	Epidemiology	55
	Universidade Federal do	
Brasil	Rio de Janeiro	52

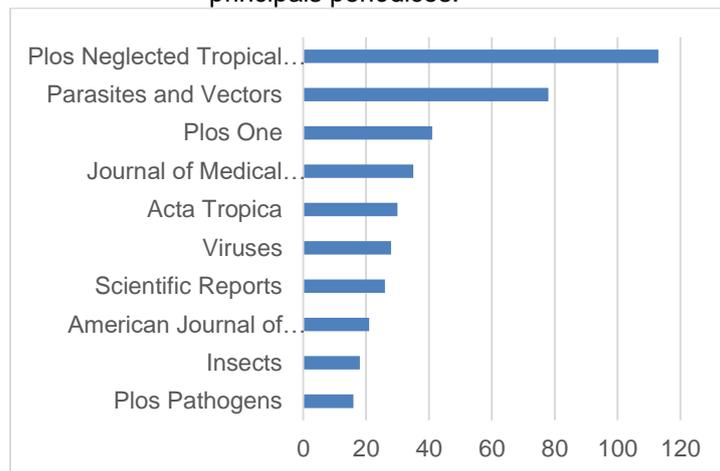
Fonte: elaboração própria.

As dez principais instituições que publicaram sobre o assunto representam 10,6% dos documentos, sendo

Universidade da Califórnia (105) e Universidade Estadual do Colorado (97) nos Estados Unidos, Instituto Pasteur (95) na França e Instituto Oswald Cruz (88) no Brasil e Universidade Monash (70) na Austrália.

As publicações das dez principais instituições estão distribuídas em 361 periódicos, sendo os dez principais mostrados na Figura 4.

Figura 4 - Quantidade de artigos publicados nos 10 principais periódicos.



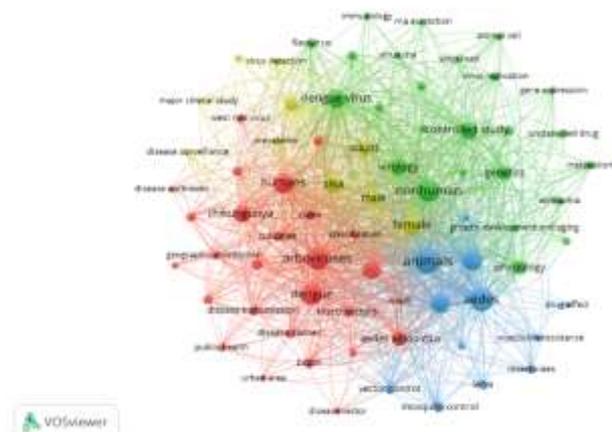
Fonte: elaboração própria.

Observa-se na Figura 4 que, dentre os dez periódicos selecionados, Plos Neglected Tropical Diseases apresentou 113 publicações, sendo o maior número de publicações no período considerado.

Neste estudo, valeu-se da utilização do *software* VOSViewer, descrito por Van Eck e Waltman (2023), para gerar uma rede de coocorrências. Esse procedimento apresentou a existência de 7.044 termos recorrentes. Detalhando a análise, foi ajustado o critério para incluir somente termos com pelo menos 50 ocorrências, levando assim à identificação de 74 termos.

A rede de coocorrências de termos resultou em 4 *clusters*, 74 nós, conectados em 2663 arestas, conforme demonstra a **Figura 5**.

Figura 5 - Rede de coocorrências de palavras-chave.



Nota: Foram consideradas as palavras-chave que ocorreram no mínimo 50 vezes

Fonte: Vosviewer (2023).

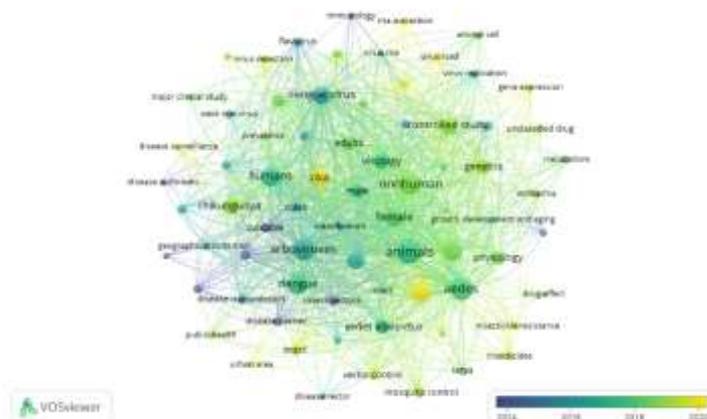
Analisando a rede de coocorrências de termos no software VOSviewer, obteve-se dentre os quatro clusters apresentados, identificados pelas cores: vermelho (27 itens), verde (25 itens), azul (12 itens), amarelo (10 itens).

O diâmetro dos círculos na visualização é diretamente proporcional ao número de aparições do termo associado, logo, os círculos maiores representam termos com maior ocorrência nos artigos. Ademais, a espessura das linhas que interligam estes círculos reflete a força da relação entre os termos, linhas mais grossas denotam conexões mais fortes. Os termos mais frequentes de cada cluster são:

- O *cluster* vermelho corresponde aos termos: “*aedes albopictus*”, “*arbovirus infections*”, “*arboviruses*”, “*brazil*” e “*Chikungunya*”.
- O *cluster* verde corresponde aos termos: “*animal cell*”, “*animal experiment*”, “*controlled study*”, “*dengue virus*” e “*flavivirus*”.
- O *cluster* azul corresponde aos termos: “*aedes*”, “*aedes aegypti*”, “*animals*”, “*drug effect*” e “*genotype*”.
- O *cluster* amarelo corresponde aos termos: “*adults*”, “*disease surveillance*”, “*enzyme linked immunosorbent assay*”, “*female*” e “*major clinical study*”.

Na **Figura 6** é possível observar a rede de incidência de palavras-chave entre os anos de 2015 e 2020.

Figura 6 - Rede de incidência de palavras-chave entre os anos 2014 e 2020.



Fonte: Van Eck; Waltman (2023).

A partir da **Figura 6** é possível identificar que a discussão sobre essa temática inicia em 2014 e quais foram os termos iniciais, *arbovirus infections* na cor azul escuro. Essa análise possibilita indicar, para a mesma busca, que com o passar dos anos, houve diferença nos termos estudados, que são, *mosquito vectors*, *zika* e *rna extraction* (amarelo).

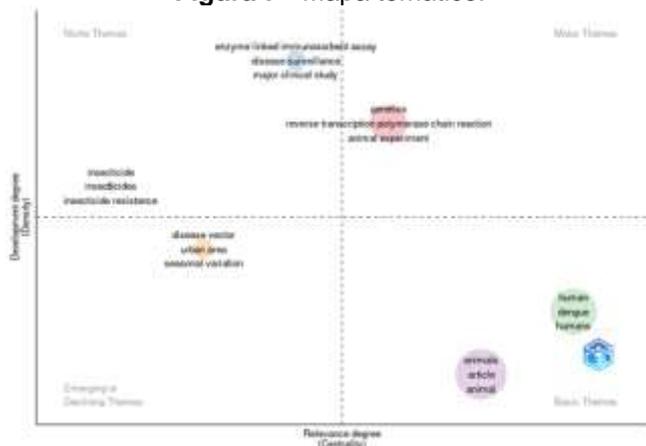
A temática sobre arboviroses, mosquito e dengue mostram-se extremamente pertinente e necessária, fundamentando a importância da pesquisa atual. Entre os anos de 2011 e 2012, a pesquisa estava fortemente vinculada a arbovírus, classificação, epidemia e transmissão da doença, essenciais para o entendimento dos cientistas e da população.

Atualmente, o foco desse tema direciona-se para controle de vetores, inseticida, genótipo e efeitos de medicações, mostrando a mudança de preocupações frente a esta doença.

O mapa temático pondera essa análise temporal, pois apresenta uma matriz de temas relacionados à dengue, dispostos em um plano cartesiano com dois eixos principais: o grau de desenvolvimento (densidade) e a importância relativa dos temas (centralidade). Os temas são classificados em quatro quadrantes, como ilustrado na **Figura 7**.



Figura 7 - Mapa temático.



Fonte: elaboração própria.

Temas Motor (*Motor Themes*): são temas que possuem tanto alta centralidade quanto alta densidade, simbolizando áreas-chave de estudos e desenvolvimento no campo. Pode-se observar no mapa, que os temas “*genetics*”, “*reverse transcription polymerase chain reaction*” e “*animal experiment*” são temas motores, assinalando que eles são centrais para pesquisa e desenvolvimento de soluções para esta doença.

Temas de Nicho (*Niche Themes*): são os temas menos centrais e menos desenvolvidos, podendo inferir que são áreas específicas ou emergentes. Observa-se os temas, “*enzyme linked immunosorbent assay*” (ensaio imunoabsorvente ligado a enzima), “*disease surveillance*” (vigilância de doenças), “*insecticide*” e “*insecticide resistance*”.

Temas Emergentes ou em Declínio (*Emerging or Declining Themes*): quadrante que apresenta temas com baixa densidade, porém alta centralidade, apontando que, embora não sejam amplamente estudados, são de valia crescente ou declínio no campo de pesquisa. Temas como “*disease vector*”, “*urban area*” e “*seasonal variation*”, podem estar associados a novas pesquisas no contexto dessa doença.

Temas Básicos (*Basic Themes*): são temas muito desenvolvidos, todavia com menor centralidade. Eles compõem a essência do conhecimento do campo, porém, podem não estar na vanguarda de atuais pesquisas. Nesse artigo os temas “*animals*” e “*humans*”, são classificados como fundamentais para a compreensão da doença.

A Tabela 2 apresenta os dez autores que mais publicaram sobre a temática.

Tabela 2 - Distribuição dos 10 principais autores.

Autor	Artigos
Failloux, A. B.	21
Ritchie, A. S.	14
Lambrechts, L.	13
Jr	12
Moreira, L. A.	12
Hoffmann, A. A.	11
Martins, A. J.	11
Diallo, M.	10
Freitas, R. M.	10
Weaver, S. C.; Vasilakis, N.	10

Fonte: elaboração própria.

Os autores Failloux, A. B. (21), Ritchie, A. S. (14), Lambrechts, L. (13), Jr (12) e Moreira, L. A. (12) foram os que mais publicaram. Porém, os artigos mais citados não pertencem a nenhum dos autores que mais publicaram (Tabela 3).

Tabela 3 - Artigos mais citados.

Artigo	Título	Total de citações
Musso D.; Gubler, D. J. (2016)	Zika Virus	1116
Nene V. et al. (2007)	Genome Sequence of Aedes aegypti, a Major Arbovirus Vector	893
Paupy C. et al. (2009)	Aedes albopictus, an arbovirus vector: from the darkness to the light	652
Kraemer M. U. G. (2019)	Past and future spread of the arbovirus vectors Aedes aegypti and Aedes albopictus	597
Grard G (2014)	Zika virus in Gabon (Central Africa)-2007: a new threat from Aedes albopictus?	536
Delatte H (2009)	Influence of Temperature on Immature Development, Survival, Longevity, Fecundity, and Gonotrophic Cycles of Aedes albopictus, Vector of Chikungunya and dengue in the Indian Ocean	377
Wong P. S. J. et al. (2013)	Aedes (Stegomyia) albopictus (Skuse): a potential vector of Zika virus in Singapore	347
Weaver S. C.; Vasilakis, N. (2009)	Molecular evolution of dengue viruses: contributions of phylogenetics to understanding the history and epidemiology of the preeminent arboviral disease	342
Salazar M. I. et al. (2007)	Dengue virus type 2: replication and tropisms in orally infected Aedes aegypti mosquitoes	340



Matthews B. Improved reference genome
J. (2018) of Aedes aegypti informs 311
arbovirus vector control

Fonte: elaboração própria.

Os autores mais citados são Musso e Gubler (2016) com 1.116 citações, seguido de Nene et al. (2007), 893 citações e Paupy et al. (2009), 652 citações.

4. Considerações Finais

A análise realizada apresenta um espectro de como a pesquisa sobre arboviroses, mosquito e dengue evoluíram ao decorrer de aproximadamente 60 anos. A quantidade de publicações sobre a temática foi pouco expressiva entre 1964 e 2008, com carências de publicações em diversos anos. Doravante, no ano de 2009 houve aumento no número de publicações em periódicos científicos, ocasionado o pico em 2022. O Brasil liderou com a quantidade de trabalhos e os Estados Unidos o país com o maior número de citações.

Por meio da análise dos resultados fica explícito que certos temas emergem como centrais e fundamentais para o avanço do controle e mitigação eficaz da doença. Temas destacados como 'Temas Motor' - "genetics", "reverse transcription polymerase chain reaction" e "animal experiment" sobressaem não apenas pela sua frequência, mas também pela sua importância.

É crucial fazer uso de meios como, garantia do saneamento básico, coleta de resíduos, combate aos focos de água parada e vacinas, a fim de trabalhar na prevenção de possíveis surtos de dengue, mitigando o número de mortes por essa enfermidade que assola o mundo.

Todavia, é imprescindível ponderar que o contexto das mudanças climáticas gera uma pressão adicional sobre a incidência da dengue. Com o aumento da intensidade e frequência de eventos climáticos extremos (secas, chuvas intensas, estresse hídrico, dentre outros), a necessidade de preservar vidas torna-se ainda mais imperativo. Portanto, há necessidade de avanços em pesquisas no sentido de explorar abordagens inovadoras, como modelos matemáticos, técnicas de Inteligência Artificial, vacinas e inseticidas, para detectar e mitigar casos de dengue nos países.

Referências

ANDRADE, F. M.; QUEIROZ, A. P. de. Publicações de autoria feminina no boletim paulista de geografia (1949-2018): análise da participação e das palavras-chave. **RA'EGA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 56, p. 121-139, 2023 <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v56i0.84267>.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>.

CHUEKE, G. V.; AMATUCCI, M. O que é bibliometria? Uma introdução ao Fórum. **InternexT**, v. 10, n. 2, p. 1-5, 2015. <https://doi.org/10.18568/1980-4865.1021-5>.

DELATTE, H. et al. Influence of temperature on immature development, survival, longevity, fecundity, and gonotrophic cycles of *Aedes albopictus*, vector of chikungunya and dengue in the Indian Ocean. **Journal of medical entomology**, v. 46, n.1, p. 33-41, 2009.

GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GRARD, G. et al. Zika virus in Gabon (Central Africa)—2007: a new threat from *Aedes albopictus*?. **PLoS neglected tropical diseases**, v. 8, n. 2, e2681, 2014.

GUBLER, Duane J. Dengue and dengue hemorrhagic fever. **Clinical microbiology reviews**, v. 11, n. 3, p. 480-496, 1998.

KAFFASH, S.; NGUYEN, A. T.; ZHU, J. Big data algorithms and applications in Intelligent transportation system: A review and bibliometric analysis. **International Journal of Production Economics**, v. 231, e107868, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107868>.

KRAEMER, M. U. G. et al. Past and future spread of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. **Nature microbiology**, v. 4, n. 5, p. 854-863, 2019.

LOWE, R.; BARCELLOS, C.; COELHO, C. A.; BAILEY, T. C.; COELHO, G. E.; GRAHAM, R.; JUPP, T.; RAMALHO, W. M. Dengue outlook for the World Cup in Brazil: an early warning model framework driven by real-time seasonal climate forecasts. **The Lancet. Infectious diseases**, v. 14, n. 7, p. 619-626, 2014. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(14\)70781-9](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(14)70781-9).

LOWE, R. et al. Combined effects of hydrometeorological hazards and urbanisation on dengue risk in Brazil: a spatiotemporal modelling study. **The Lancet Planetary Health**, v. 5, n. 4, e209-e219, 2021.

MARQUES, F. B.; MACULAN, B. C. M. S.; SOUZA, R. R. A bibliometria na pós-graduação brasileira: uma revisão interativa da literatura. **Transinformação**, v. 35, e227089, 2023. <https://doi.org/10.1590/2318-0889202335e227089>.

MATTHEWS, B. J. et al. Improved reference genome of *Aedes aegypti* informs arbovirus vector control. **Nature**, v. 563, n. 7732, p. 501-507, 2018.

MILES, J. A. R.; MAGUIRE, T.; AUSTIN, F. J.; ROSS, R. W.; ORDISH, R. Evidence of Arbovirus Infection in Fiji. **The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 13, n. 2, p. 327-330, 1964. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.1964.13.327>

MOREIRA, P. S. C.; GUIMARÃES, A. J. R.; TSUNODA, D. F. Qual ferramenta bibliométrica escolher? um estudo comparativo entre softwares. **P2P & Inovação**, v. 6, n. 2, Ed. Especial, p. 140-158, 2020. <https://doi.org/10.21721/p2p.2020v6n2.p140-158>.

MUSSO, D.; GUBLER, D. J. Zika virus. **Clinical microbiology reviews**, v. 29, n. 3: p. 487-524, 2016.

NENE, V. et al. Genome sequence of *Aedes aegypti*, a major arbovirus vector. **Science**, v. 316, n. 5832, p. 1718-1723, 2007.



PAUPY, C. et al. *Aedes albopictus*, an arbovirus vector: from the darkness to the light. **Microbes and infection**, v. 11, n. 14-15, p. 1177-1185, 2009.

RODRIGUES, G. M.; CANGIRANA, J. F. Diferenças entre dengue clássica e hemorrágica e suas respectivas medidas profilática. **Revista Liberum accessum**, v. 1, n. 1, p. 30-38, 2020.

URBIZAGÁSTEGUI-ALVARADO, R. Bibliometria brasileira: análise de copalavras. **Transinformação**, v. 34, e220004, 2022. <https://doi.org/10.1590/2318-0889202234e220004>.

SALAZAR, M. I. et al. Dengue virus type 2: replication and tropisms in orally infected *Aedes aegypti* mosquitoes. **BMC microbiology**, v. 7, p. 1-13, 2007.

SUN W.; XUE L.; XIE, X. Spatial-temporal distribution of dengue and climate characteristics for two clusters in Sri Lanka from 2012 to 2016. **Nature -Scientific Reports**, v. 7, n. 12884, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13163-z>

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. **VOSviewer Manual**. Manual for VOSviewer version 1,.6.20. Universiteit Leiden, 2023.

WEAVER, S. C.; VASILAKIS, N. Molecular evolution of dengue viruses: contributions of phylogenetics to understanding the history and epidemiology of the preeminent arboviral disease. **Infection, genetics and evolution**, v. 9, n. 4, p. 523-540, 2009.

WONG, P. S. J. et al. *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse): a potential vector of Zika virus in Singapore. **PLoS neglected tropical diseases**, v. 7, n. 8, e2348, 2013.

Sun W.; Xue L.; Xie, X. Spatial-temporal distribution of dengue and climate characteristics for two clusters in Sri Lanka from 2012 to 2016. **Sci Rep**, v. 7, n. 12884, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13163-z>



DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR ELETROQUÍMICO PARA DETECÇÃO DE ANTIBIÓTICOS EM ÁGUAS NATURAIS

Adriana Roberta Candido¹, Renata Kelly Mendes Vallente²

1. Mestranda, adrianarobertacandido@gmail.com, Pontifícia Universidade Católica de Campinas
2. Professora Doutora, renatavalente@puc-campinas.edu.br, Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Resumo: O mundo parou em consequência de um novo vírus, o SARS-CoV-2, causador da doença COVID-19. Este vírus foi capaz de gerar uma pandemia global que teve início em março de 2020 e segue até dias atuais, porém em fase de controle. Diante dos problemas gerados por essa pandemia, ressalta-se o impacto expressivo e ainda não dimensionado, da prescrição e uso de antibióticos. Estes foram usados visando evitar o agravamento da doença, chegando a ocasionar sua falta em hospitais e farmácias. Um destes antibióticos usados em larga escala foi a amoxicilina, fármaco que já tinha ampla faixa de aplicação em doenças do trato respiratório. Porém, o aumento de antibióticos ocasiona sua presença em esgotos domésticos, devido a excreção pelo organismo humano. Dessa forma, chegam aos mananciais, causando impactos ambientais. Diante deste cenário atual e preocupante, o foco deste trabalho foi desenvolver um método alternativo e de menor custo para a detecção de antibióticos em águas naturais por meio de um sensor eletroquímico a base de core-shell do tipo Fe₃O₄@Ag recoberto com o polímero polivinilpirrolidona (PVP). Até o momento, o sensor tem se mostrado eficaz na determinação do antibiótico, sendo promissor para aplicação em amostras reais.

Palavras-chave: Sensor eletroquímico, Água, Amoxicilina.

1. Introdução

O mundo passou recentemente pela trágica e histórica pandemia de COVID-19, doença causada pelo vírus SARS-COV-2, popularmente chamado de coronavírus. Em março de 2020, após vários casos e alertas mundiais, a COVID-19 foi caracterizada pela Organização Mundial de Saúde (OMS) como uma pandemia (Buss; Alcázar; Galvão, 2020).

Um dos problemas causados pela pandemia foi o expressivo aumento do uso de antibióticos, usados para prevenir e tratar infecções em humanos e animais. Mesmo com a sugestão da OMS e de outros órgãos especialistas para que estes compostos não fossem utilizados, exceto em casos comprovados de coinfeção bacteriana, diversos estudos indicaram o aumento exponencial de prescrição e consumo destas substâncias durante o período pandêmico (Rabbi et al., 2023).

Os impactos do uso exacerbado de antibióticos nos trazem várias questões e sistemáticas a serem discutidas, ambas relacionadas a questões de saúde pública e ambientais. Quanto a saúde o que mais preocupa é o aumento dos genes de resistência a antibióticos, podendo promover mudanças na comunidade microbiana e

gerar superbactérias. Na questão ambiental, a preocupação está relacionada ao descarte destes compostos pois, segundo estudos específicos, apenas 15% dos produtos antimicrobianos são metabolizados pelo corpo humano, sendo o restante excretado como substâncias químicas ativas (Zhao et al., 2023).

Dentre os muitos antibióticos prescritos na fase pandêmica, a amoxicilina tem seu papel de destaque. Por ser um tipo de antibiótico amplamente conhecido, é de fácil acesso e possui alta taxa de eficácia comprovada, capaz de abranger diversas tipologias de prescrição, devido ao amplo espectro bactericida (Lemon et al., 2024).

Quanto ao seu descarte, a amoxicilina hoje é considerada um poluente emergente, composto que pode apresentar riscos ao ecossistema, porém ainda não legislado no Brasil. Portanto, não se tem dados de monitoramento suficientes para dimensionar o impacto ambiental causado. Isto torna a amoxicilina e os antibióticos, assim como os fármacos em geral, futuros candidatos a regulamentação. Embora ainda insuficientes, há várias pesquisas e estudos em andamento sobre sua ecotoxicidade e potenciais efeitos a saúde humana e ao meio ambiente (Cartaxo et al., 2020).

Diante deste cenário real e preocupante, faz-se necessário que se busquem alternativas de controle, identificação e detecção destes compostos em matrizes ambientais. Neste contexto, destaca-se o uso de sensores eletroquímicos que tem sido amplamente desenvolvidos para estes fins, e tidos como aliados na identificação de poluentes químicos. Estes, combinados a técnicas eletroanalíticas, permitem análises de rápida detecção, baixo custo e altamente confiáveis (Oliveira; Rezende; Calábria, 2022).

Desta forma, a proposta deste trabalho é desenvolver uma nova metodologia que seja uma alternativa viável e simples na detecção de antibióticos em águas naturais. Para isso, foi desenvolvido um sensor eletroquímico baseado em nanoestruturas do tipo core-shell, formado por nanopartículas magnéticas de Fe₃O₄ recobertas com nanopartículas de prata. Além disso, visando melhoria da seletividade do sistema, o core-shell foi recoberto com o polímero polivinilpirrolidona (PVP).

1.1 Poluentes emergentes

Os chamados poluentes emergentes envolvem centenas de potenciais contaminantes encontrados no meio ambiente, tanto no solo, ar e água, e que não são totalmente removidos pelos métodos tradicionais de tratamento. Devido a sua persistência nas matrizes ambientais, têm sido estudados e discutidos por

pesquisadores de todo o mundo pela capacidade de apresentar algum tipo de risco ou dano ao ecossistema, além de não serem monitorados ou quantificados, por falta de legislação ou regulamentação (Montagner; Vidal; Acayaba, 2017).

Dentro do enquadramento dos poluentes emergentes estão os fármacos em geral, e, dentre estes, a classe dos antibióticos. Em se tratando desta categoria de medicamento, a maior preocupação são as matrizes aquáticas, pois os corpos d'água atingidos por estes compostos podem vir a ser consumidos pela população. Assim, uma água considerada potável pode conter substâncias ainda não legisladas, não detectadas e não quantificadas, que oferecem riscos à saúde humana, pois ainda não se conhece se as técnicas de tratamento usualmente aplicadas são eficientes na completa remoção destes produtos (Soares; Souza E Souza, 2020).

Há diversos meios, modos e situações em que os antibióticos podem chegar o meio ambiente e as águas naturais. No entanto, os descartes relacionados a efluentes hospitalares são tidos como os de maior risco e impacto direto neste ciclo de contaminação, seguidos de efluentes não tratados, de indústrias farmacêuticas e pecuários (Lima; De Jesus; Nogueira, 2023).

1.2 AMOXICILINA

A amoxicilina é um tipo de antibiótico que pertence a terceira geração das penicilinas, composto este que foi uma grande descoberta para a humanidade em 1928 por Alexander Fleming. A amoxicilina é considerada pela OMS, como um importante medicamento antimicrobiano para humanos, porém seu uso se estende também a veterinária. Apesar de outros fatores preocupantes que envolvem o grande consumo da amoxicilina mundialmente, recentemente, um destes, vem ganhando destaque e sendo amplamente pesquisado e estudado. Trata-se do seu descarte, pois o organismo não absorve ou metaboliza todo o composto, sendo o restante excretado, e, inevitavelmente, atingindo as matrizes aquáticas (Zhao et al., 2023).

Uma vez no meio ambiente, a amoxicilina pode contribuir para o desenvolvimento de bactérias resistentes, além de afetar a fauna e flora aquática e ter grandes possibilidades de chegar ao consumo humano. Neste contexto, sua detecção e quantificação em águas naturais contribui para fins de controle e testes de possíveis efeitos e impactos, porém é um campo que ainda tem muito a ser explorado, Valenga et al., (2020). Atualmente, as técnicas mais usadas para a determinação de antibióticos em águas naturais é a cromatografia e espectroscopia, que são de custo elevado e exigem treinamento técnico específico. Um dos métodos que tem sido pesquisados para esta finalidade está relacionado ao desenvolvimento de sensores eletroquímicos.

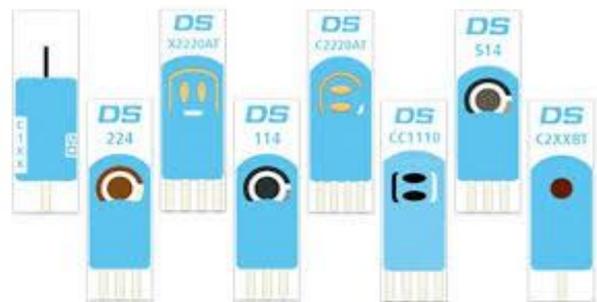
1.3 Sensores eletroquímicos

Os sensores eletroquímicos são dispositivos que possuem inúmeras vantagens, como portabilidade, possibilidade de monitoramento em campo, alta

seletividade e sensibilidade. Além disso, vêm sendo desenvolvidos com o propósito de analisar diferentes compostos, incluindo controle de bioprocessos, qualidade dos alimentos na agricultura, na área militar, forense e aplicação medicinal. No entanto, como a concentração de alguns compostos no meio é muito baixa, e os sensores têm a capacidade de realizar esta detecção, devido à possibilidade de combinar a especificidade inerente de uma reação ou interação química com a alta sensibilidade do transdutor. Por isso, esse dispositivo vem ganhando bastante destaque (Felix; Angnes, 2018).

Atualmente, tem se buscado sistemas miniaturizados visando o consumo de menores quantidades de amostras (cerca de μL), maiores sensibilidades e possibilidade de análises locais, sem o transporte de amostras para um laboratório. Exemplos de eletrodos miniaturizados são apresentados na Figura 1.

Figura 1. Imagem de eletrodos impressos miniaturizados.

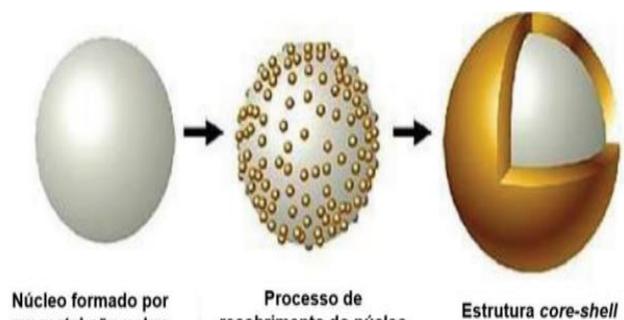


Fonte: Metrohm (2023).

1.4 Nanoestruturas do tipo core-shell

A síntese de compostos core-shell (em português casca-núcleo), tem sido amplamente explorada e utilizada, principalmente para melhora das atividades electrocatalíticas em geral. Metais de transição como níquel, cobalto, cobre, e ferro, tem sido os mais utilizados para compor o núcleo destas nanoestruturas. Para recobrimento do núcleo os metais mais utilizados tem sido o ouro, prata e zinco, conforme ilustra a Figura 2 (Silva; Pocrifka; Passos, 2018).

Figura 2. Esquema geral de um core-shell formado por nanopartículas metálicas.



Fonte: Adaptado de Silva; Pocrifka; Passos, (2018).

Nanoestruturas core-shell podem ser obtidas através de diversas técnicas, como em ligas metálicas onde ocorre a posterior remoção dos metais de menos interesse, também por meio de substituição galvânica espontânea, através de sínteses, eletrodeposição, dissolução entre outras. Em resumo, e como no caso deste trabalho, o processo se dá quando os núcleos pré-formados atuam como bases (neste caso, nanopartículas de óxido de ferro), para as camadas que farão o recobrimento (neste caso, nanopartículas de prata) e formarão a estrutura core-shell (Silva; Pocrifka; Passos, 2018).

1.5 Polivinilpirrolidona (PVP)

A polivinilpirrolidona, conhecido popularmente como PVP, é um polímero solúvel em água e formado por múltiplas cadeias de vinilpirrolidonas. A estrutura do PVP contém a presença do anel lactama, como grupo lateral da unidade de repetição da cadeia polimérica, o que atribui ao polímero características vantajosas como capacidade de formar complexos estáveis. Essa característica está associada com a alta polaridade do anel lactama que é estabilizada por ressonância (Ferreira; Pessoa, 2023).

Os polímeros são importantes compostos para a construção de muitos sensores. A simplicidade da sua síntese e processamento, a adaptabilidade e a sua impressão molecular são apenas alguns dos elementos essenciais que contribuem para a sua utilização extensiva. Polímeros biocompatíveis como o PVP estão amplamente disponíveis, tornando-os os materiais de fácil acesso. Esses materiais são úteis como recobridores de nanomateriais e auxiliam os elementos de detecção para melhorar a capacidade de resposta e seletividade dos pontos ativos na área de superfície. A polivinilpirrolidona (PVP) pode ser bem dispersa em meio aquoso, tornando-o adequado para recobrir a superfície dos sensores e fornecer melhor eficiência de detecção do que nanomateriais usados isoladamente ou mal dispersos (Pourmadadi et al., 2023).

Desta forma, espera-se que, o recobrimento do core-shell de $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag$ pelo PVP, aumente a estabilidade do sistema impactando positivamente na detecção de amoxicilina com o sensor eletroquímico proposto. Além disso, o polímero evita o adensamento e aglomeração das nanopartículas, auxiliando na alta sensibilidade e seletividade do dispositivo, quando comparado com o core-shell isoladamente.

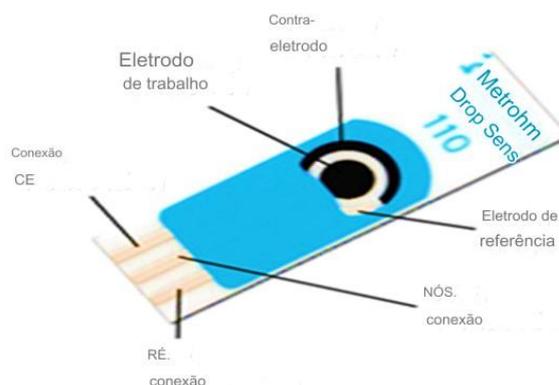
2. Metodologia

2.1 Construção do sensor

Para o recobrimento da nanoestrutura com o polímero, foram adicionados 50 μL da solução de core-shell e 50 μL da solução de PVP 1000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ em um frasco Eppendorf e deixados em repouso por 60 min. Após, o sistema foi lavado com solução tampão fosfato 0,1 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ para retirar o polímero fracamente adsorvido. Como sensor foi utilizado um eletrodo impresso da Metrohm® serigrafado a base de tintas de carbono, de dimensões gerais 3,4 x 1,0

x 0,05 cm, contendo três eletrodos, um eletrodo de trabalho, um eletrodo de referência com contatos de prata e um contra eletrodo de grafite, conforme ilustrado na Figura 3. Estes são dispositivos inovadores, de baixo custo, fabricados para uso em análises eletroquímicas, e projetados para trabalhos com microvolumes de amostra.

Figura 3. Eletrodo usado para construção do sensor eletroquímico.



Fonte: (Metrohm,2024).

Para a construção do sensor, foi inserido no eletrodo de trabalho uma alíquota de 5 μL do core-shell de $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag/PVP$ e esperou-se a secagem completa da gota. Após o processo de secagem, adicionou-se 50 μL de solução de amoxicilina 0,03 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ sobre os 3 eletrodos e realizou-se medida no potenciostato usando um adaptador.

2.2 Otimização das condições experimentais

2.2.1 Teste eficiência do core-shell modificado com PVP

Foram realizadas medidas nas quais se reproduziu as etapas de construção do sensor utilizando-se quatro eletrodos: um contendo o core-shell $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag/PVP$, outro contendo o core-shell $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag$, outro contendo apenas as nanopartículas de Fe_3O_4 e outro com eletrodo limpo. Em todos estes, foram adicionados 5 μL do material a ser analisado (exceto no limpo) e levado para processo de secagem em capela. Após, foi realizada a leitura no potenciostato com solução de amoxicilina 0,03 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. O outro eletrodo, sem core-shell, foi levado direto para etapa de leitura em potenciostato com solução de amoxicilina.

2.2.2 Teste para escolha de composto para recobrimento do core-shell

A fim de aumentar a seletividade do dispositivo, foram testados alguns compostos para recobrimento do core-shell e adição de grupos funcionais: polivinilpirrolidona (PVP), quitosana e dietanolamina. Para isso, pipetou-se uma alíquota de 50 μL de core-shell que foram transferidas para 3 frascos Eppendorf®. Em cada um adicionou-se 50

μL da solução correspondente a ser testada. O processo de interação ocorreu por 30 minutos. Após lavagem do sistema com solução tampão fosfato $0,1 \text{ mol. L}^{-1}$ foi retirada uma alíquota de $5 \mu\text{L}$ e colocados sobre a superfície do eletrodo. Esperou-se a secagem completa da gota e realizou-se a leitura com solução de amoxicilina $0,03 \text{ g.L}^{-1}$ usando o potenciostato.

2.2.3 Teste de concentração da solução de polivinilpirrolidona (PVP)

Foram realizados testes a fim de selecionar qual a melhor concentração da solução de polivinilpirrolidona (PVP) usada para interação com o core-shell $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag$. Foram testadas as concentrações $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$, $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,1 \text{ mg. L}^{-1}$. Para cada concentração da solução de PVP foi preparado um sensor distinto. As medidas foram realizadas usando uma solução de amoxicilina $0,03 \text{ g.L}^{-1}$.

2.2.4 Teste do tempo de interação entre polivinilpirrolidona (PVP) e o core-shell

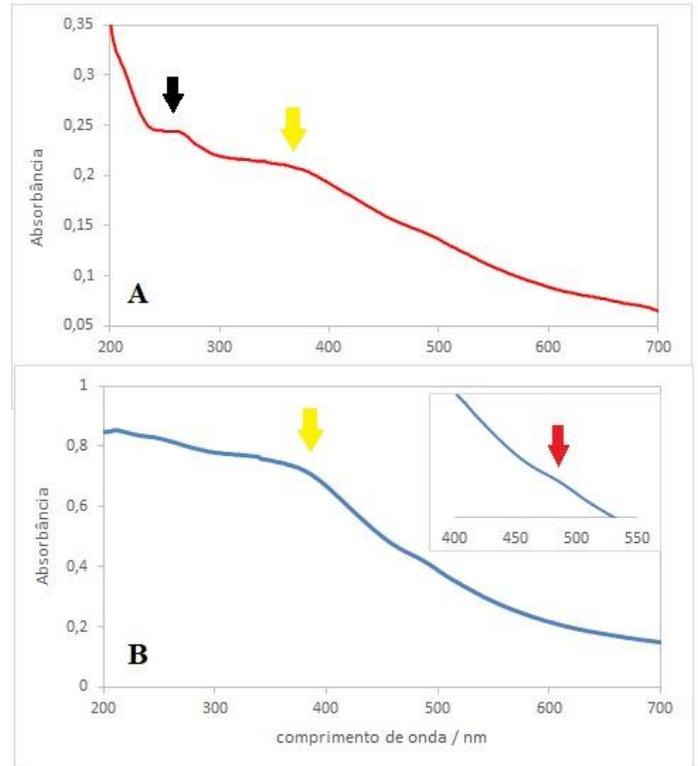
Foram realizados testes a fim de selecionar qual melhor tempo de interação entre o polímero PVP e o core-shell $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag$. Os tempos testados foram 15 minutos, 30 minutos, 45 minutos e 60 minutos. Para cada tempo estudado construiu-se um sensor distinto. As medidas foram realizadas usando uma solução de amoxicilina $0,03 \text{ g.L}^{-1}$.

3. Resultados

3.1 Caracterização do core-shell

Antes de realizar testes com o sensor proposto, foi necessário caracterizar o core-shell para verificar se este foi produzido de forma eficiente. Uma das caracterizações, envolveu a espectroscopia no ultravioleta-visível. Na Figura 4 tem-se os espectros obtidos tanto para a nanopartícula de Fe_3O_4 quanto após seu recobrimento com as nanopartículas de prata para formação do core-shell.

Figura 4. Espectros de UV-Vis obtidos para as nanopartículas de Fe_3O_4 (A) e para o core-shell de $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag$ (B) após diluição em água deionizada (em destaque um recorte do espectro B).

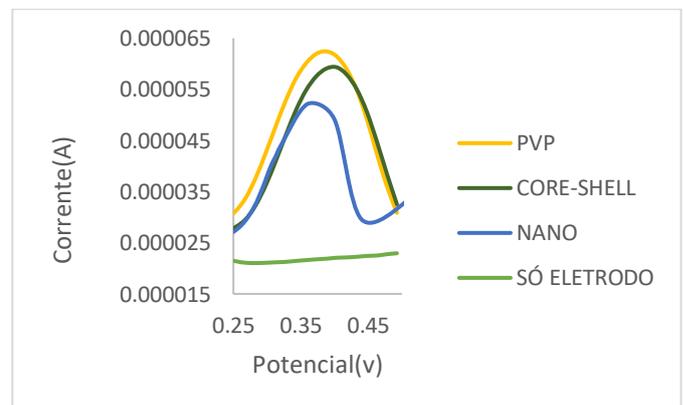


Fonte: Autora (2024).

3.2 Testes iniciais com o sensor

A fim de verificar se a arquitetura proposta para o sensor eletroquímico era eficiente, foram obtidos voltamogramas de pulso diferencial, em solução de amoxicilina, em quatro configurações distintas do dispositivo: (A) somente o eletrodo impresso de carbono limpo; (B) eletrodo contendo nanopartículas de Fe_3O_4 ; (C) eletrodo contendo o core-shell $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag$ e (D) eletrodo contendo o core-shell $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag$ recoberto com PVP. A Figura 5 apresenta os resultados obtidos.

Figura 5. Voltamogramas de pulso diferencial para diferentes configurações de modificação do eletrodo impresso de carbono em solução de amoxicilina $0,03 \text{ g.L}^{-1}$ em tampão fosfato $0,1 \text{ mol. L}^{-1}$, pH 7,0.



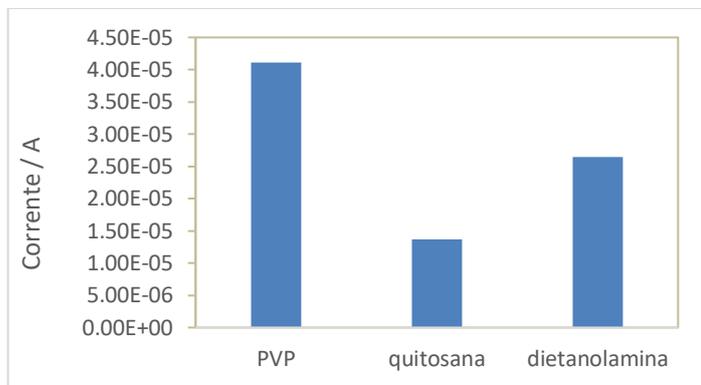
Fonte: Autora (2024)



3.3 Estudo do material de recobrimento do core-shell

Com a finalidade de melhoria da sensibilidade do dispositivo, foram realizados estudos envolvendo o recobrimento do core-shell de $Fe_3O_4@Ag$ com diferentes compostos: Polivinilpirrolidona (PVP), Dietanolamina e Quitosana. Estas substâncias foram selecionadas por serem usadas na literatura para outros analitos, mas pouco ou ainda não usadas para amoxicilina. Então, foram obtidos voltamogramas de pulso diferencial, em solução $0,03 \text{ g.L}^{-1}$ do antibiótico para cada uma das condições supracitadas. A Figura 6 apresenta os resultados obtidos, considerando o valor máximo de corrente.

Figura 6. Correntes máximas obtidas para eletrodos impressos de carbono contendo o core-shell de $Fe_3O_4@Ag$ recoberto com diferentes compostos.



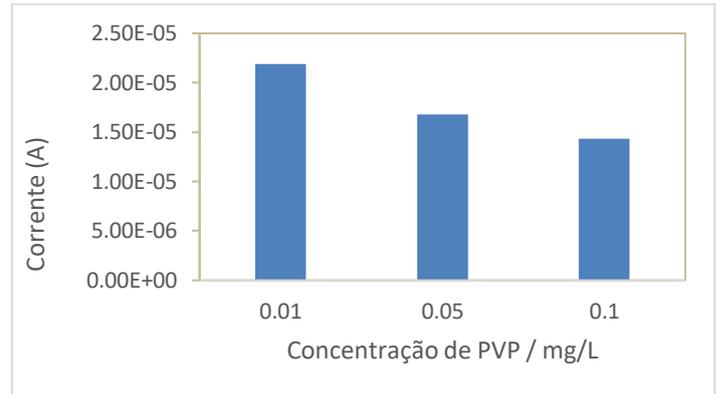
Fonte: Autora (2024).

3.4 SELEÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE POLIVINILPIRROLIDONA (PVP)

Para selecionar a concentração mais adequada de PVP para recobrimento do core-shell de $Fe_3O_4@Ag$, foram realizadas medidas do dispositivo contendo três concentrações distintas do polímero: $0,01$; $0,05$ e $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$. A Figura 7 apresenta as correntes máximas obtidas em cada caso, considerando os voltamogramas de pulso diferencial realizados.

Figura 7. Correntes máximas obtidas com o sensor contendo diferentes concentrações de PVP para recobrimento do core-shell de $Fe_3O_4@Ag$, em solução 300 mg.L^{-1} de amoxicilina em tampão fosfato $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$, pH

7,0.

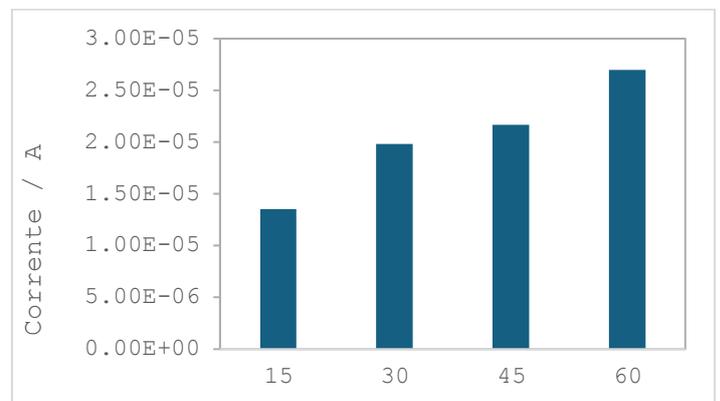


Fonte: Autora (2024).

3.5 Tempo de interação entre a polivinilpirrolidona (PVP) e core-shell

Um outro estudo realizado se refere ao tempo em que o PVP permanece em contato com o core-shell visando seu recobrimento. Os tempos estudados foram: 15, 30, 45 e 60 minutos. A Figura 8 apresenta as correntes máximas obtidas em cada caso, considerando os voltamogramas de pulso diferencial realizados, em solução contendo a amoxicilina $0,03 \text{ g.L}^{-1}$.

Figura 8. Correntes máximas obtidas com o sensor contendo diferentes tempos de interação entre o PVP e o core-shell de $Fe_3O_4@Ag$, em solução $0,03 \text{ g.L}^{-1}$ de amoxicilina em tampão fosfato $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$, pH 7,0.



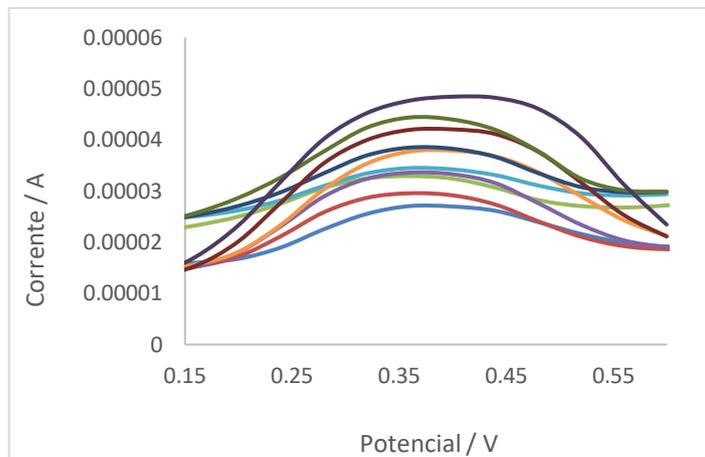
Fonte: Autora (2024).

3.6 Curva de calibração

Após realizar a otimização das condições experimentais, foram obtidos voltamogramas de pulso diferencial do sensor proposto em diferentes concentrações de amoxicilina, que variou de 25 a 250 mg.L^{-1} . A Figura 9 apresenta os resultados obtidos.



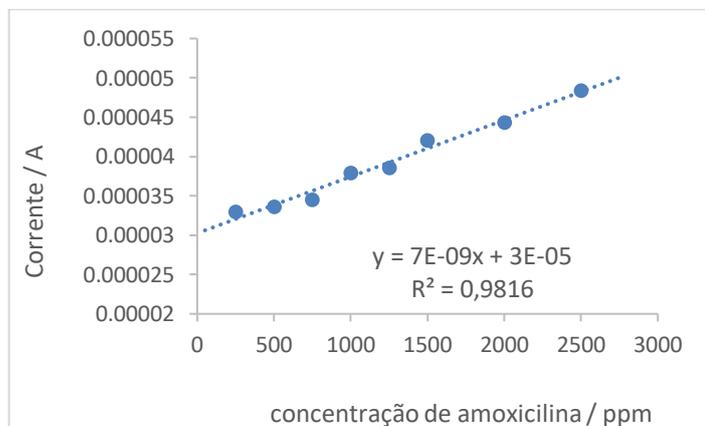
Figura 9. Voltamogramas de pulso diferencial obtido com o sensor proposto em diferentes concentrações da solução de amoxicilina em solução tampão fosfato 0,1 mol. L⁻¹, pH 7,0.



Fonte: Autora (2024).

A partir das correntes encontradas na Figura 9, foi obtida a curva analítica apresentada na Figura 10.

Figura 10. Curva analítica obtida com o sensor proposto em diferentes concentrações de amoxicilina, em solução tampão fosfato 0,1 mol. L⁻¹, pH 7,0.



Fonte: Autora (2024).

É possível verificar que a região linear encontrada compreende 25 a 250 mg. L⁻¹, com uma equação da reta de $y (A) = 7,0 \cdot 10^{-9} x (\text{mg. L}^{-1}) + 3 \cdot 10^{-5}$ ($n=8$), com um R^2 de 0,9816, considerado muito bom.

A partir da curva analítica, pretende-se, futuramente, calcular os limites de detecção e de quantificação.

4. Considerações Finais

Até o momento, é possível observar que o sensor proposto se mostra eficiente na determinação do antibiótico amoxicilina e pode ser uma alternativa aos métodos

clássicos de análise, considerando seu baixo custo, sensibilidade adequada e miniaturização, com possibilidade de medidas em tempo real e em campo. Ainda pretende-se realizar estudos complementares de caracterização do core-shell de Fe₃O₄@Ag, usando termogravimetria e medidas microscópicas. Com relação aos estudos analíticos, pretende-se obter os limites de detecção e quantificação, repetibilidade das medidas, reprodutibilidade de construção do sensor, estudo de seletividade e, enfim, aplicação do dispositivo em amostras reais (comprimido e água de lagoa da região de Campinas fortificada). Após, pretende-se comparar os dados obtidos com o sensor com aqueles obtidos por cromatografia líquida (HPLC).

Referências

- BUSS, P. M.; ALCÁZAR, S.; GALVÃO, L. A. Pandemia pela Covid-19 e multilateralismo: Reflexões a meio do caminho. **Estudos Avancados**, v. 34, n. 99, p. 45–64, 1 maio 2020.
- CARTAXO, A. DA S. B. et al. CONTAMINANTES EMERGENTES PRESENTES EM ÁGUAS DESTINADAS AO CONSUMO HUMANO: OCORRÊNCIA, IMPLICAÇÕES E TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 61814–61827, 2020.
- FELIX, F. S.; ANGNES, L. **Electrochemical immunosensors – A powerful tool for analytical applications**. **Biosensors and Bioelectronics** Elsevier Ltd, , 15 abr. 2018a.
- LEONOR, K. et al. Janeiro-março de 2024. **Julgamento**. **Cien**, v. 10, n. 1, p. 2477–8818, 2021.
- LIMA, K. V. L.; DE JESUS, J. H. F.; NOGUEIRA, R. F. P. **Occurrence of Antibiotics in Aqueous Matrices: An Outlook about the Situation in Brazil**. **Journal of the Brazilian Chemical Society** Sociedade Brasileira de Química, , 2023.

MONTAGNER, C. C.; VIDAL, C.; ACAYABA, R. D. **Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: Cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios**. **Química Nova** Sociedade Brasileira de Química, , 1 set. 2017.

VALENGA, M. G. P. et al. Development and validation of voltammetric method for determination of amoxicillin in river water. **Analytica Chimica Acta**, v. 1138, p. 79–88, 22 nov. 2020.

POURMADADI, M. et al. **Development of Polyvinylpyrrolidone-Based nanomaterials for**



biosensors applications: A Review. Inorganic Chemistry Communications Elsevier B.V., , 1 jun. 2023a.
RABBI, F. et al. Overprescription of antibiotics for treating hospitalized COVID-19 patients: A systematic review & meta-analysis. **Heliyon**, v. 9, n. 10, 1 out. 2023.

SOARES, A. F. S.; SOUZA E SOUZA, L. P.
Contamination of public water supply by emerging pollutants and the right to health. Revista de Direito Sanitario Universidade de Sao Paulo, , 12 maio 2020.

ZHAO, L. et al. Impact of COVID-19 pandemic on profiles of antibiotic-resistant genes and bacteria in hospital wastewater. **Environmental Pollution**, v. 334, 1 out. 2023a.



Uma análise bibliométrica das dissertações do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana

GODOI, N. M. I.¹; GOMES, R. C.¹; LONGO, R. M.²; JACINTHO, A. E. P. G. A.²

1. Pós-doutorandas, terc.natashagodoi@puc-campinas.edu.br; rai.ca@pucampinas.edu.br, PUC-Campinas
2. Doutoradas, regina.longo@puc-campinas.edu.br; anajacinto@puc-campinas.edu.br, PUC-Campinas

Resumo

O aumento populacional e conseqüente crescimento das cidades leva os governantes a demandarem pesquisas que busquem minimizar o impacto das ações humanas no ambiente como um todo. Neste contexto, o Programa de Pós-graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana (PPG-SIU) da Pontifícia Universidade Católica de Campinas é multidisciplinar e conta com pesquisadores de diversas áreas da engenharia e arquitetura, que desenvolvem suas pesquisas com o intuito de melhorar a qualidade de vida da população por meio de ações e processos sustentáveis. Em 2024 o PPG-SIU está completando 10 anos e o presente trabalho levantou todas as dissertações defendidas no período de 2015 a 2023. Verificou-se que algumas linhas de pesquisa sofreram alterações ao decorrer dos anos, no entanto, o termo *sustentabilidade* permanece, bem como sua variável *desenvolvimento sustentável*, não apenas para as pesquisas da área ambiental, mas em todas as linhas de pesquisa, o que permite concluir que o objetivo de contribuir com as cidades para que se tornem inteligentes e sustentáveis, de modo a atender as demandas sociais, está sendo atingido.

Palavras-chave: VOSviewer; Cidades inteligentes; Sustentabilidade; planejamento urbano.

1. Introdução

As necessidades da presente e futuras gerações têm sido alvo do debate sustentável dos últimos anos (MARIEN, 1992), que indicam que o maior desafio tem sido conciliar o desenvolvimento da economia, o equilíbrio ambiental e as demandas sociais (ABDO, 2023). Evidências científicas apontam que as ações humanas são as principais causas dos problemas ambientais verificados atualmente (ABDO, 2023; ALLEGRO, 2012; LIU; YU; WANG, 2015). Diante deste cenário é fundamental que o ambiente urbano seja estudado com o intuito de minimizar os impactos (que podem ser locais, regionais e globais).

Os Sistemas de Infraestrutura Urbana (SIU) influenciam por um longo período o meio ambiente por ter a vida útil consideravelmente extensa, e para que haja um desenvolvimento sustentável das cidades é necessário um planejamento estratégico das infraestruturas urbanas, com investimento contínuo em ações cada vez mais sustentáveis (MALEKPOUR; BROWN; DE HAAN, 2015).

Os SIU são compostos por três principais sistemas, sendo: infraestrutura cinza construída (estradas, edifícios e

construções, calçadas, etc.), infraestrutura azul (lagoas, cursos de água, zonas úmidas, etc.) e infraestrutura verde (parques, espaços abertos, telhados verdes, canteiros, jardins, etc.), sendo estas últimas dependentes entre si (PUCHOL-SALORT et al., 2021); assim, a infraestrutura urbana é composta basicamente pelos itens: água, eletricidade, aquecimento e resfriamento distrital e gás natural, telecomunicações, transporte, resíduos sólidos e edifícios (construções) (DERRIBLE, 2018).

A Infraestrutura Verde Urbana (IVU) refere-se a espaços urbanos que são cobertos por vegetação ligados entre si de forma contígua e desempenham um papel fundamental na gestão das demais infraestruturas urbanas, colaborando para uma urbanização sustentável (BERLAND et al., 2017; HE et al., 2023), A IVU inclui tanto áreas naturais quanto áreas criadas intencionalmente para gerenciar as demais infraestruturas urbanas, principalmente para gestão das águas (TSEGAYE et al., 2019).

A Infraestrutura Azul Urbana (IAU), em tempos de alterações climáticas, destaca-se como um importante componente do meio urbano, que compreende superfícies naturais ou artificiais de ligação de água (corpos de água interiores, como rios, lagos e suas margens, zonas úmidas, águas costeiras, como estuários, deltas e áreas de maré costeiras) permanentes ou temporárias, fornecendo inúmeros serviços ecossistêmicos (abastecimento de água para consumo, agricultura, indústria; arrefecimento do ar e é um elemento importante na adaptação global às alterações climáticas, entre outros.) fundamentais para apoiar o desenvolvimento sustentável das cidades, a saúde pública, o bem-estar social e desenvolvimento das economias regionais (IOJÁ et al., 2021).

Já a Infraestrutura Cinza Construída Urbana (ICU) pode ser definida como a infraestrutura construída para a gestão das águas no ambiente urbano (calhas, drenos, canos, bacias de retenção etc.) ("Green and Gray Infrastructure Research | US EPA", [s.d.]; MAROPO et al., 2019), também estando inserido nesse termo as superfícies construídas impermeáveis (vias, estacionamentos e outras superfícies impermeáveis) (HERZOG; ROSA, 2010; MAROPO et al., 2019).

É importante identificar as linhas de pesquisa de um PPG para verificar se a tendência das pesquisas está conduzindo às necessidades da sociedade almejando sempre a melhoria da qualidade de vida. Para verificar as linhas de pesquisas, os métodos de análises bibliométricas são ferramentas importantes pois permitem estudar a atividade científica, medindo e avaliando quantitativamente o tópico de interesse, auxiliando na identificação das características e pontos críticos que podem auxiliar na



sugestão de linhas de pesquisas no presente e tendências futuras (HERRERA-FRANCO et al., 2021; MA; HO, 2016). Neste sentido, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a atividade científica do PPG-SIU e suas contribuições para a gestão das infraestruturas urbanas no município de Campinas e região, através de uma análise bibliométrica das dissertações defendidas ao longo de nove anos de vigência do programa utilizando como base o Software VOSviewer.

2. Metodologia

O presente trabalho coletou informações sobre as dissertações defendidas pelo PPG-SIU durante o período de 2015 a 2023 para um mapeamento bibliométrico dos autores e linhas de pesquisas abordadas; ao todo foram coletadas 80 dissertações defendidas ao longo desse período; as informações coletadas foram: o nome dos pós-graduandos, orientadores e coorientadores; o título das dissertações (bem como seus subtítulos, quando cabível), o ano de defesa e as palavras-chave. Com estas informações elaborou-se um arquivo no qual todas as informações foram organizadas sistematicamente, formando o banco de dados analisado.

A pesquisa abordou uma metodologia que pode ser compreendida em duas etapas (Figura 1), a primeira consistiu na elaboração do banco de dados e a segunda etapa na análise bibliométrica e formação dos mapas. O banco de dados para a pesquisa foi obtido na base do Repositório Institucional da PUC-Campinas. Após a obtenção dos dados dos autores e palavras-chave elaborou-se, utilizando o Software livre Geany 2.0 ("Home | Geany", [s.d.]), um arquivo compilado para que os dados fossem passíveis de análise pelo Software VOSviewer para então seguir com a análise bibliométrica (Van Eck & Waltman, 2010).

A Tabela 1 apresenta todos os autores do PPG-SIU, sendo organizada pelos professores que orientaram ou coorientaram algum aluno na primeira coluna e na segunda coluna todos os alunos que foram orientados ou coorientados por cada professor. Ressalta-se que existem professores orientadores que já não compõem o grupo de pesquisa do PPG-SIU da PUC-Campinas.

O Software VOSviewer foi utilizado para a construção das representações gráficas dos mapas bibliométricos (HANNA; COMÍN, 2021), demonstrando de forma bidimensional a relação entre os autores e a densidade de ocorrência das palavras-chave. As análises bibliométricas realizadas foram Coautoria (pós-graduandos, orientadores e coorientadores) e co-ocorrência (todas as palavras-chave). O mapa bibliométrico de coautoria foi obtido por meio da seleção de um número mínimo de documentos por autoria, sendo de uma autoria no mínimo; enquanto para a obtenção do mapa bibliométrico de co-ocorrência das palavras-chave, selecionou-se um número mínimo de uma ocorrência e posterior seleção de todas as palavras-chave.

Tabela 1 – Relação de pós-graduandos, orientadores e coorientadores obtida para elaboração do banco de dados e análise bibliométrica. Campinas-SP, 2024.

Orientadores	Orientados / coorientados
Mota A. A.	Coiado L. C.
Mota L. T. M.	Oliveira E. D.; Coiado L. C.; Lemos, I. P.; Blengini Neto, A.; Podeleski, F. S.; Pimenta, C. M. A.; Gregio, R. P.; Chaves, J. V. B.; Pavan, W. R.; Azarias, F. L. F.;
Pezzuto C. C.	Oliveira E. D.; Gãal, L. P. M.; Monteiro, V. S.; Soeira, M. R. C., Poloni, M. P.; Rodrigues, G. K.; Granziera, L. S.; Cotulio, F. H. S. R; Pavan, W. R.; Castello, A. J. P.; Guedes, R. B. N.; Bordim, M. H. S.;
Bettine, S. C.	Coelho, J. P.; Ribeiro, F. H. S.; Canario, P. G. G.; Santos, D. A. A.; Carvalho, N. E.; Pires, J. M. D. C. M.; Moratori Filho, S.;
Souza, E. F.	Petitto, R. M.; Coelho, J. P.
Pimentel, L. L.	Pissolato Júnior, O.; Oliveira, L. C. B.; Rizzo, G. F.; Martins, J. V. R.; Furian, B. O.; Sumitomo, G. S.; Scaquetti, C. C. F.;
Jacinto, A. E. P. G. A.	Ruiz, A. N.; Martins, J. V. R.; Silva, J. B. L. P.; Pissolato Júnior, O.; Casagrande, B.; Cavaliere, I. S. G.; Santos, J. R.; Sumitomo, G. S.; Vianna, N. J.;
Demanboro, A. C.	Trentin, W. R.; Ruschel, R. S.; Patrão, M. F.; Lima, R. P.;
Bianchini, D.	Jordão, K. C. P.; Ortiz, L. N.; Trentin, W. R.;
Branquinho, O. C.	Miyashiro, M. M.; Tozzo, R. G.; Paula, E. C.; Tomasini, O. C.; Matthiesen, E. A. N.
Barbosa, M. P.	Campos, R. S.
Carvalho, M. F. H.	Demattê, R. D.; Podeleski, F. S.; Minorin Baboni, M. P.; Silva, H. S.; Casagrande, B.; Santos, J. R.; Rodrigues, G. K.; Granziera, L. S.; Carlsen, H. V.; Maluf, E. J.,
Oliveira, M. L.	Anguita Junior, R. V.; Amadi, G. F.; Sampaio, A. S.; Cotulio, F. H. S. R; Guedes, R. B. N.
Forti, N. C. S.	Kunz, F. O.; Duarte, I. O.; Fugiyama, M. M.; Vianna, N. J.; Santos, J. D.
Longo, R. M.	Damame D. B.; Gomes, R. C.; Beretta, V. Z.; Garcia, J. M.; Bordim, M. H. S.; Silva, A. L.; Ribeiro, M. C.; Rodrigues, P. T.; Chaves, J. V. B.
Valente, R. K. M.	Beretta, V. Z.; Silva, J. C.; Beatto, T. G.;
Urban, R. C.	Cunha, R. J. G.; Criscuolo, V. G.;
Lunelli, B. H.	Lopes, J. S.
Akabane, A. T.	Vallim, C. H. C.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 1 – Etapas da elaboração dos bancos de dados e posterior análise bibliométrica.



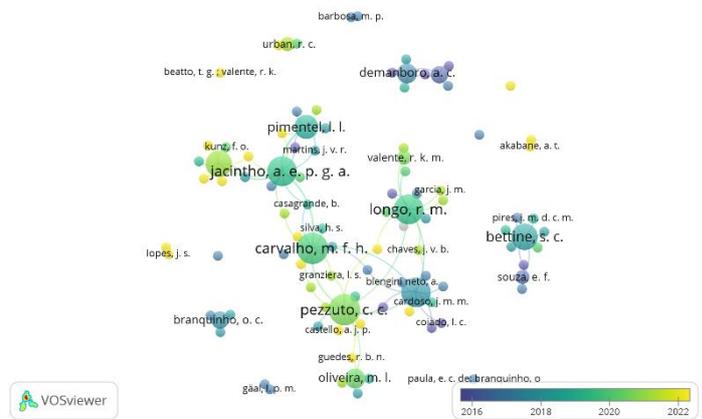
Fonte: Elaborado pelos autores.

3. Resultados

Na análise bibliométrica de coautoria foram contabilizados 100 autores no total das dissertações durante o período de análise. Os autores que apresentaram maior ocorrência de autoria nos documentos avaliados foram: Carvalho, M. F. H. e Pezzuto, C. C. com 10 autorias; Jacintho, A. E. P. G. A., Longo, R. M. e Mota, L. T. M. com 9 autorias; Forti, N. C. S. e Bettine, S. com 7 autorias, e por fim, Pimentel, L. L. com 6 autorias, respectivamente. Os demais autores, aqui não relacionados, apresentaram cinco ou menos ocorrências.

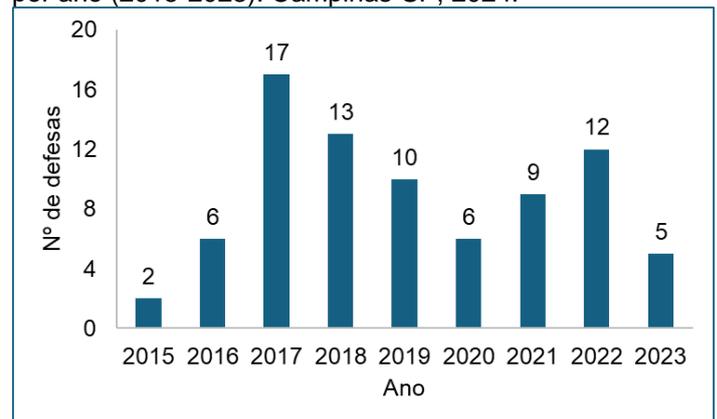
O mapa bibliométrico bidimensional de coautoria por ano de publicação (Figura 2) mostra as correlações entre os pós-graduandos, orientadores e coorientadores; alguns autores se destacam mantendo interrelações com os demais, com isso, pode inferir que os orientadores do PPG-SIU buscam linhar as linhas de pesquisa entre si. Observa-se que houve maiores números de dissertações defendidas pelo programa nos anos de 2017 e 2018, com dezessete e treze dissertações defendidas, respectivamente (Figura 3). O ano de 2015, por ser o primeiro ano do programa, foi o que teve o menor número de dissertações defendidas, totalizando duas defesas, verificou-se também uma queda no número de defesas no ano de 2020, sendo de seis defesas, o que pode ser considerado um reflexo do primeiro ano de pandemia do COVID-19, onde a incerteza sobre a forma de continuação das orientações e pesquisas tomou conta de todo o planeta, conforme demonstrado por Maieski, Casagrande e Alonso (2021). As instituições educacionais precisaram se adequar para que as restrições impostas pela transmissibilidade do vírus do COVID-19 não fossem ainda mais impactantes em todos os níveis de ensino e pesquisa (MAIESKI; CASAGRANDE; ALONSO, 2021; MOREIRA; SCHLEMMER, 2020).

Figura 2 – Análise bibliométrica de coautoria (pós-graduandos, orientadores e coorientadores) presente nas oitentas dissertações defendidas (2015-2023) por ano de publicação. Campinas-SP, 2024.



Fonte: Elaborado pelos autores utilizando o software VOSviewer.

Figura 3 – Análise do número de dissertações defendidas por ano (2015-2023). Campinas-SP, 2024.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Considerando as 80 dissertações defendidas no período estudado, levantou-se um total de 301 palavras-chave, das quais as mais citadas, com um mínimo de 3 ocorrências, foram: *sustentabilidade*, com 5 ocorrências; *concreto*, com 4 ocorrências; *reciclagem*, *rede de sensores sem fio*, *agregado reciclado*, *desenvolvimento sustentável*, *sistema de distribuição de energia elétrica*, *clima urbano*, todas com 3 ocorrências.

O mapa de densidade de ocorrência das palavras-chave é útil para demonstrar essas áreas mais importantes abordadas pelo Programa de Infraestrutura Urbana; foram obtidos no total 45 “clusters” (agrupamentos de palavras-chave), cujos principais podem ser visualizados na Figura 4. A palavra-chave em destaque no centro das discussões das dissertações é *sustentabilidade*, com isso pode-se inferir que o PPG-SIU tem voltado suas dissertações em pesquisas que abranjam ações voltadas na sustentabilidade das infraestruturas urbanas, evidenciado nas ocorrências das demais palavras-chave citadas no documento: *reciclagem*, *agregado reciclado*, *desenvolvimento sustentável*; todos inseridos no “cluster”



da palavra-chave em destaque, *sustentabilidade*. Neste contexto, os autores têm discutido que a sustentabilidade urbana tem sido almejada, considerando diversos fatores, como: desenvolvimento de um índice para avaliação da qualidade de vida da população campineira (COELHO, 2016); apresentação do fresado asfáltico como agregado para a produção de concreto para fins específicos, favorecendo as questões sociais, ambientais e econômicas, conforme preconiza o tripé sustentável (RUIZ, 2017); estudo da utilização de agregado reciclado para a produção de concreto utilizando outras fibras(CAVALIÈRE, 2020; FURIAN, 2019); e a utilização de resíduos orgânicos para a produção de biogás e geração de energia elétrica(LOPES, 2022). Todas as 5 dissertações que apresentaram *sustentabilidade* como palavra-chave apresentaram relação com a reciclagem e/ou reutilização de algum material para transformação em outro, indo totalmente ao encontro daquilo preconizado em seu conceito básico, objetivando a redução de custos, o equilíbrio ambiental com o não descarte de materiais que podem ser utilizados novamente e atendendo a demanda da sociedade (ABDO, 2023).

Observou-se que há dissertações que abordam a sustentabilidade em seus mais diversos temas, inclusive é a justificativa do desenvolvimento das mesmas, no entanto, os autores não têm inserido o termo em suas palavras-chave, o que se destaca aqui como uma possível atenção aos trabalhos futuros, podendo contribuir com o maior alcance de suas próprias pesquisas.

Outra palavra-chave em destaque é *concreto*, e neste contexto, as dissertações desenvolvidas foram: estudo do uso de fresado asfáltico (já mencionada) (RUIZ, 2017); estudo da utilização de agregado reciclado da construção civil na produção de concreto (FURIAN, 2019); estudo dos tipos de concreto para otimizar o sistema de aterramento elétrico em subestações (PIMENTA, 2017)); e o estudo do quanto a utilização de uma água de reuso pode influenciar na durabilidade do concreto (SCAQUETTI, 2021)(SCAQUETTI, 2021).

Por este motivo, ressalta-se a importância das diversas pesquisas sobre esta temática para que se busque a minimização dos efeitos negativos da urbanização no que tange à impermeabilização do solo e utilização de materiais recicláveis (GUEDES, 2023)(GUEDES, 2023).

As demais palavras-chave que foram reincidentes apresentaram 3 ocorrências. A *reciclagem* foi mencionada nos estudos que utilizam os resíduos de construção civil (RCC) para compor solos em áreas a serem recuperadas em conjunto à utilização de espécies vegetais de adubos verdes (RIBEIRO, 2018)(RIBEIRO, 2018); a utilização do agregado do fresado asfáltico como resíduo reciclado para incorporar ao concreto (RUIZ, 2017)(RUIZ, 2017); e um estudo para a elaboração de um modelo que auxilie na elaboração do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos (CRISCUOLO, 2022)(CRISCUOLO, 2022).

Com relação ao termo *agregado reciclado* as pesquisas que o abordam tratam sobre a utilização de RCC para a produção de argamassa de revestimento (PISSOLATO JUNIOR, 2016)(PISSOLATO JUNIOR, 2016); estudo da

viabilidade de uso dos RCC para a confecção de argamassa de uso geral (PETITTO, 2017)(PETITTO, 2017); e o estudo do comportamento mecânico do concreto utilizando agregado reciclado e fibras de aço e vidro(FURIAN, 2019)(FURIAN, 2019).

A reciclagem dos mais diversos materiais é imprescindível para que os impactos da retirada de recursos naturais sejam reduzidos bem como aqueles produtos que já tiveram sua capacidade de uso atingida possam ser reinseridos na cadeia produtiva (BISPO et al., 2020)(BISPO et al., 2020).

Rede de sensores sem fio (RSSF) foi utilizada em pesquisas que buscam avaliar a “internet das coisas (*IoT*)”, voltada ao monitoramento ambiental inteligente e sustentável e controle de possíveis impactos ambientais, principalmente em áreas de difícil acesso e remotas (MATTHIESEN, 2018; TOMASINI, 2018)(MATTHIESEN, 2018; TOMASINI, 2018); ainda foi desenvolvida e implementada a RSSF para o monitoramento de diversos ambientes em edificações (PAULA, 2017)(PAULA, 2017).

A *IoT* é uma área da engenharia que tem contribuído para oferecer milhares de objetos (miniaturas) físicos conectados que colaboram para desenvolvimento compartilhado; dentre as inúmeras aplicações da utilização da *IoT* tem-se um aumento exponencial voltado ao monitoramento ambiental, contribuindo de maneira sustentável para o crescimento econômico e social (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010; MAJID et al., 2022)(ATZORI; IERA; MORABITO, 2010; MAJID et al., 2022).

Quanto ao *sistema de distribuição de energia elétrica* as pesquisas foram sobre a recomposição do sistema por um fluxo ótimo de corrente (PODELESKI, 2017)(PODELESKI, 2017); o estudo para planejamento de expansão de rede considerando a alocação ótima de dispositivos de armazenamento de energia (ANGUITA JUNIOR, 2018)(ANGUITA JUNIOR, 2018)(ANGUITA JUNIOR, 2018); e o estudo sobre a operação de uma rede de distribuição considerando fontes renováveis de geração de energia, bem como a operação e alocação de dispositivos armazenadores da energia gerada (AMADI, 2019)(AMADI, 2019)(AMADI, 2019).

Por fim, o termo *clima urbano* também apresentou 3 ocorrências, sendo as pesquisas voltadas para a avaliação da sua relação com a morfologia urbana (MONTEIRO, 2018)(MONTEIRO, 2018)(MONTEIRO, 2018); o estudo entre a temperatura do ar e o fator de visão do céu (SOEIRA, 2019)(SOEIRA, 2019)(SOEIRA, 2019); e uma avaliação da tendência de temperatura do ar no município de Campinas/SP (COTULIO, 2022)(COTULIO, 2022).

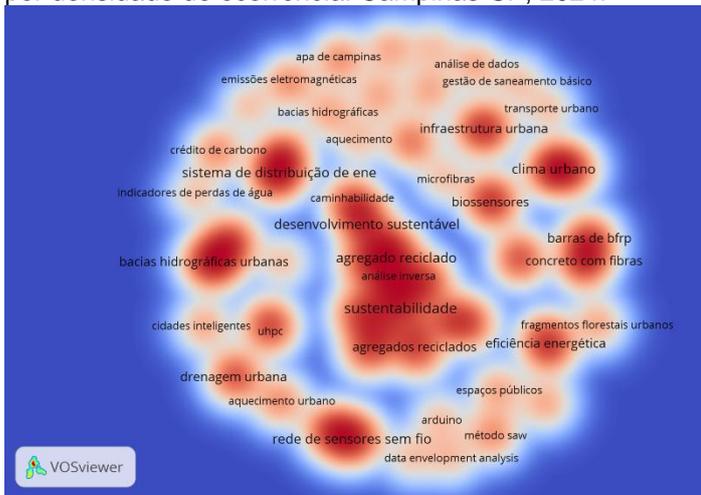
O termo *desenvolvimento sustentável* também teve recorrência significativa, sendo utilizado na pesquisa sobre recuperação de áreas degradadas (RIBEIRO, 2018)(RIBEIRO, 2018)(RIBEIRO, 2018); no estudo sobre a expansão urbana e os impactos na mobilidade (RIBEIRO, 2017)(RIBEIRO, 2017)(RIBEIRO, 2017); e na proposta de implementação de uma certificação ambiental em um campus universitário (PIRES, 2019)(PIRES, 2019)(PIRES, 2019).



Se forem observadas as datas das ocorrências das palavras-chave verifica-se que algumas delas foram mais incidentes nos anos iniciais do programa (2015 a 2019), como *rede de sensores sem fio*, *agregado reciclado*, *desenvolvimento sustentável* e *distribuição de energia elétrica*, isso indica que o PPG-SIU pode estar perdendo a centralidade de suas pesquisas e ampliando as temáticas abordadas, sem perder, no entanto, o foco na *sustentabilidade*.

A análise bibliométrica também aponta que ao longo do período estudado (2015-2023) outros temas são destaques na produção científica do programa, tais como: drenagem urbana, bacias hidrográficas urbanas, eficiência energética, sistema de distribuição de energia e gestão de saneamento básico (Figura 4), onde há a formação de “clusters” nas palavras-chave. Na Figura 4 é possível observar que existem no programa linhas de pesquisas voltadas para a mobilidade urbana, evidenciada pelas palavras-chave: transporte urbano e caminhabilidade. É válido ressaltar, que essas linhas de pesquisa são importantes para auxiliar os gestores municipais na tomada de decisão para a gestão do município, especificamente na região de Campinas.

Figura 4 – Análise bibliométrica das palavras-chave presente nas oitenta dissertações defendidas (2015-2023) por densidade de ocorrência. Campinas-SP, 2024.



Fonte: Elaborado pelos autores utilizando o software VOSviewer.

É válido salientar que considerando os títulos e as palavras-chave levantados no banco de dados existem 13 dissertações que fazem menção direta ao município onde a universidade está inserida (Campinas-SP) e municípios próximos, como: Piracicaba, Santo Antônio de Posse e Jundiaí, o que reforça a importância das pesquisas.

4. Considerações Finais

Os pesquisadores do PPG-SIU têm a preocupação em criar uma rede de autores dentro do programa, buscando integrar as diferentes linhas de pesquisas, além de desenvolver parcerias que visam auxiliar os gestores municipais de Campinas e região.

Ficou explícito que as tendências das pesquisas em algumas áreas foram sendo alteradas ao longo dos anos e o termo mais abrangente é *sustentabilidade*. Ainda, é importante haver um consenso entre os pesquisadores do programa em padronizar algumas palavras-chave para que as pesquisas desenvolvidas possam apresentar um maior alcance científico e social; bem como para poderem ser justificadas como componentes de um programa com o propósito de desenvolver pesquisas que auxiliam os gestores nas tomadas de decisão no que diz respeito à melhoria dos espaços urbanos e construção das cidades inteligentes.

O PPG-SIU tem voltado suas linhas de pesquisa para contribuições à sociedade, por intermédio de estudos que buscam solucionar os problemas em infraestrutura urbana, mobilidade urbana, gestão da água e bacias hidrográficas, desenvolvimento sustentável com pesquisas em agregados reciclados e concreto, entre outros, se mostrando de suma importância dadas suas contribuições à sociedade. Ressalta-se que os artigos científicos, palestras, base de dados, aplicações práticas, participações em feiras e congressos não foram contabilizados neste trabalho, tendo sido utilizadas somente as dissertações produzidas.

Referências

ABDO, A. Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas: como conciliar os objetivos de desenvolvimento sustentável com as operações de serviços hospitalares? 2023.

ALLEGRO, S. Going Green at New York-Presbyterian: Hospitals As Sustainable Businesses. **Student Theses 2001-2013**, 1 jan. 2012.

AMADI, G. F. Operação de uma rede de distribuição considerando fontes de energia renováveis, operação e alocação de dispositivos armazenadores de energia e resposta da demanda. 2019.

ANGUITA JUNIOR, R. V. Planejamento da expansão de sistemas de distribuição de energia elétrica considerando a alocação ótima de dispositivos de armazenamento de energia. 2018.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. **Computer Networks**, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 28 out. 2010.

BERLAND, A. et al. The role of trees in urban stormwater management. **Landscape and Urban Planning**, v. 162, p. 167–177, 1 jun. 2017.

BISPO, A. V. et al. A RECICLAGEM DO PLÁSTICO E SUA IMPORTÂNCIA PARA O MEIO AMBIENTE. **Interfaces do Conhecimento**, v. 2, n. 3, 2020.



CAVALIERE, I. S. G. O Estudo comparativo do módulo de elasticidade de concretos convencionais e concretos com materiais alternativos. 2020.

COELHO, J. P. Avaliação da qualidade de vida no município de Campinas/SP: uma proposta baseada no método de Battelle-Columbus. 2016.

COTULIO, F. H. S. R. Análise da tendência de temperatura do ar: estudo de caso em Campinas-SP. 2022.

CRISCUOLO, V. G. Um modelo baseado em dinâmica de sistemas como critério orientador para gestão de resíduos sólidos urbanos em cidades de médio porte: estudo de caso em Itatiba, Brasil. 26 jan. 2022.

DERRIBLE, S. An approach to designing sustainable urban infrastructure. **MRS Energy and Sustainability**, v. 5, n. 1, p. 1–15, 1 dez. 2018.

FURIAN, B. O. Análise do comportamento mecânico de concreto com agregado reciclado e fibras de aço e vidro AR. 2019.

Green and Gray Infrastructure Research | US EPA.

Disponível em: <<https://www.epa.gov/water-research/green-and-gray-infrastructure-research>>. Acesso em: 27 jul. 2024.

GUEDES, R. B. N. Desempenho térmico e óptico de pavimentos permeáveis e impermeáveis de concreto com colorações diferentes. 2023.

HANNA, E.; COMÍN, F. A. Urban green infrastructure and sustainable development: A review. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 20, p. 11498, 1 out. 2021.

HE, M. et al. Impacts of green-blue-grey infrastructures on high-density urban thermal environment at multiple spatial scales: A case study in Wuhan. **Urban Climate**, v. 52, p. 101714, 1 nov. 2023.

HERRERA-FRANCO, G. et al. Worldwide Research on Geoparks through Bibliometric Analysis. **Sustainability** 2021, Vol. 13, Page 1175, v. 13, n. 3, p. 1175, 22 jan. 2021.

HERZOG, C. P.; ROSA, L. Z. Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. **Revista LABVERDE**, v. 0, n. 1, p. 92–115, 11 set. 2010.

Home | Geany. Disponível em: <<https://www.geany.org/>>. Acesso em: 25 jul. 2024.

IOJĂ, C. I. et al. How about water? Urban blue infrastructure management in Romania. **Cities**, v. 110, p. 103084, 1 mar. 2021.

LIU, Q. Q.; YU, M.; WANG, X. L. Poverty reduction within the framework of SDGs and Post-2015 Development Agenda. **Advances in Climate Change Research**, v. 6, n. 1, p. 67–73, 1 mar. 2015.

LOPES, J. S. Avaliação do uso de nanopartículas no processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos. 2022.

MA, R.; HO, Y. S. Comparison of environmental laws publications in Science Citation Index Expanded and Social Science Index: a bibliometric analysis. **Scientometrics**, v. 109, n. 1, p. 227–239, 1 out. 2016.

MAIESKI, A.; CASAGRANDE, A. L.; ALONSO, K. M. Educação a Distância em Tempos de Pandemia: implicações e perspectivas. **REVELLI - Revista de Educação, Linguagem e Literatura (ISSN 1984-6576)**, v. 13, 22 nov. 2021.

MAJID, M. et al. Applications of Wireless Sensor Networks and Internet of Things Frameworks in the Industry Revolution 4.0: A Systematic Literature Review. **Sensors** 2022, Vol. 22, Page 2087, v. 22, n. 6, p. 2087, 8 mar. 2022.

MALEKPOUR, S.; BROWN, R. R.; DE HAAN, F. J. Strategic planning of urban infrastructure for environmental sustainability: Understanding the past to intervene for the future. **Cities**, v. 46, p. 67–75, 1 ago. 2015.

MARIEN, M. Environmental problems and sustainable futures: Major literature from WCED to UNCED. **Futures**, v. 24, n. 8, p. 731–757, 1 out. 1992.

MAROPO, V. L. B. et al. Planejamento urbano sustentável: um estudo para implantação de infraestrutura verde no Bairro Bancários, João Pessoa-PB, Brasil. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, p. e20180005, 21 fev. 2019.

MATTHIESEN, E. A. N. Proposta de escopo de engenharia de IoT – estudos de caso. 2018.

MONTEIRO, V. S. Zonas climáticas locais e a relação com a morfologia urbana: estudo de caso: Campinas/SP. 2018.

MOREIRA, J. A.; SCHLEMMER, E. Por um novo conceito e paradigma de educação digital onlife. **Revista UFG**, v. 20, 13 maio 2020.

PAULA, É. C. DE. Desenvolvimento e teste de RSSF para monitoramento de ambientes em edificações. 2017.

PETITTO, R. M. Análise da viabilidade de aplicação de resíduos da construção civil da Região Metropolitana de Campinas em argamassas de uso geral por método multicritérios. 2017.



PIMENTA, C. M. A. Avaliação da influência da resistividade elétrica do solo e de tipos de envelopamento no sistema de aterramento elétrico de subestações. 2017.

PIRES, J. M. D. C. M. Proposta para Certificação Ambiental em um Campus Universitário. 2019.

PISSOLATO JUNIOR, O. Argamassa de revestimento utilizando areia proveniente da britagem de resíduo de construção civil. 2016.

PODELESKI, F. DA S. Recomposição de sistema de distribuição de energia elétrica por modelo de fluxo ótimo de corrente. 2017.

PUCHOL-SALORT, P. et al. An urban planning sustainability framework: Systems approach to blue green urban design. **Sustainable Cities and Society**, v. 66, p. 102677, 1 mar. 2021.

RIBEIRO, F. H. S. Expansão urbana e mobilidade: planejando cidades multimodais. 2017.

RIBEIRO, M. C. Crescimento Vegetativo de *Crotalaria juncea* em misturas solo/agregado reciclável visando recuperação de áreas degradadas degradadas. 2018.

RUIZ, A. N. Concreto com fresado asfáltico aplicado em dispositivos de proteção e drenagem de obras viárias. 2017.

SCAQUETTI, C. C. DE F. Influência da água de reuso na durabilidade do concreto. 2021.

SOEIRA, M. R. C. A relação entre o fator de visão do céu e a temperatura do ar em diferentes zonas climáticas locais. 2019.

TOMASINI, O. C. Avaliação de estratégia de sleepmode para rede de sensores sem fio aplicada à monitoração de ambiente. 2018.

TSEGAYE, S. et al. Transitioning from gray to green (G2G)—A green infrastructure planning tool for the urban forest. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 40, p. 204–214, 1 abr. 2019.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523–538, 31 dez. 2010.



ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO E HIDRÁULICO DE CONCRETO PERMEÁVEL PRODUZIDO COM AGREGADOS RECICLADOS

Bárbara Mariana Rosa Santos¹, Lia Lorena Pimentel²

1. Graduanda, barbara.mrs@puccampinas.edu.br, PUC Campinas

2. Prof. Doutora, lialp@puccampinas.edu.br, PUC Campinas

Resumo.

O setor da construção civil é responsável por gerar grandes volumes de resíduos, enquanto o crescimento das áreas urbanas intensifica problemas de infraestrutura, como a sobrecarga dos sistemas de drenagem devido à impermeabilização do solo. Pavimentos de concreto permeável são uma solução viável, pois permitem a infiltração de água no solo, reduzindo picos de cheia, enchentes e acúmulos de água nas vias públicas, além de melhorar o abastecimento dos aquíferos. A inclusão de agregado reciclado no concreto permeável é justificada pela dificuldade de descarte desses materiais e pela redução de custos na extração de agregados naturais. Assim, a produção de pisos de concreto permeável com agregado reciclado ajuda a mitigar três impactos ambientais: extração de recursos naturais, aumento de áreas impermeáveis e depósito de resíduos na natureza ou em aterros. Neste estudo, foram desenvolvidos dois traços de concreto: um utilizando exclusivamente agregados naturais e outro com substituição total por agregados reciclados. As propriedades mecânicas analisadas incluíram a resistência à compressão axial e a resistência à tração na flexão. As características hidráulicas e físicas avaliadas foram a permeabilidade por carga variável, a densidade, o índice de vazios e a absorção de água. Os resultados indicaram que o traço 1:4,44 com 100% de substituição por RCC não atende às normas vigentes para pavimentos de concreto permeável, uma vez que não alcançou a resistência mínima exigida.

Palavras-chave: Concreto permeável, Agregado Reciclado, Permeabilidade.

1 INTRODUÇÃO

Com a movimentação cada vez mais constante de automóveis pelas ruas, ficou mais evidente a necessidade de ruas regulares livres de detritos, assim, a ideia de pavimentação asfáltica se disseminou mais rapidamente. Mesmo com a constante evolução de técnicas construtivas e expansão acelerada das áreas urbanas, as cidades brasileiras possuem uma carência no quesito de infraestrutura urbana.

O rápido crescimento de áreas urbanas nas últimas décadas traz desafios para o planejamento urbano, o qual na maior parte das cidades brasileiras é deficiente, principalmente no tocante a infraestrutura básica necessária. Com isso a impermeabilização do solo nas cidades aumenta sobrecarregando os sistemas de drenagem urbana, o que é potencializado pela ocorrência de eventos climáticos extremos, levando a ocorrência de

pontos de alagamento e à ocorrência de destruição e de perdas de vidas.

O efeito estufa tendo como consequência o aquecimento global, aumenta as possibilidades de precipitações intensas ocorrerem, com agravantes pois, com a alta taxa de impermeabilização do solo, os sistemas de drenagem urbana são sobrecarregados. Com os episódios de eventos climáticos intensos, alagamentos com destruição e perdas de vidas se tornam comum.

A ampliação dos centros urbanos gera cada vez mais superfície impermeabilizada gerando acúmulo de água de chuva em pontos mais baixos causando inundações e a drenagem urbana é responsável por direcionar a água proveniente das chuvas até o destino de captação dela.

Tucci (2003) listou as principais consequências no sistema de drenagem decorrentes do desenvolvimento urbano:

- Aumento das vazões máximas, dos volumes escoados e a antecipação dos picos de cheia devido à impermeabilização das superfícies e a maior capacidade de escoamento através dos condutos e dos canais;
- Redução da evapotranspiração, rebaixamento do lençol freático e redução do escoamento subterrâneo;
- Aumento do quantitativo de sedimentos devido à produção de resíduos sólidos e desproteção natural das superfícies;
- Deterioração da Qualidade da água, devido a ligações clandestinas de esgoto em canalizações pluviais, lavagem de ruas e transporte de material sólido feito pela chuva.

Dentre todos os impactos causados pelo crescimento urbano, pode-se destacar também o aumento na geração de resíduos sólidos provenientes da construção civil. Tais resíduos podem apresentar diferentes composições em função das características da cidade, e no tocante aos resíduos de construção (RCC), em função da técnica construtiva e do estágio da construção.

No Brasil, estima-se que setor da construção civil seja responsável por, pelo menos 40% do consumo de recursos naturais do país e 56% da geração de resíduos sólidos de construção civil, sendo o maior índice desses resíduos provenientes de reformas, demolições e pequenas obras. (ABRELP, 2019). No ano de 2020 a ABRELPE estimou que no Brasil foram coletadas 47 milhões de toneladas de RCD, o equivalente a 221,2 kg por habitante/ano (ABRELPE, 2021).

Segundo a Resolução CONAMA 307 (BRASIL, 2002), os resíduos da Construção Civil (RCC) englobam todos os materiais que são gerados na construção, reforma, reparos e demolições de obras de construção civil, incluindo os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis

A composição do RCC apresenta grande parcela de materiais inertes que podem ser interessantes para a reutilização como substituição parcial da matéria-prima natural. Essas aplicabilidades vêm sendo estudadas ao longo das três últimas décadas, mas apenas com diretrizes de gestão mais rigorosas, esse assunto ganhou notoriedade, como aponta Holtz et al. (2011).

De acordo com Ozalp et al. (2016), a diminuição da perda de materiais, a reutilização e a reciclagem representam o modo mais eficiente e capaz de contribuir para diminuição, ou eliminação, dos problemas com os RCC.

1.1 Agregados reciclados- tipos e normas

A NBR 15116 (ABNT,2021) define o agregado reciclado como sendo todo “material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção classe A, conforme a resolução CONAMA 327:2002, que apresentam características técnicas para a aplicação em obras de edificação e infraestrutura”. E classifica os agregados reciclados em três tipos:

ARCI - agregado reciclado constituído predominantemente por materiais cimentícios diversos (concretos, argamassas, blocos pré-moldados de concreto etc.), podendo incluir teores reduzidos de cerâmica vermelha, de até 10%.

ARCO – agregado reciclado constituído por resíduos de concreto;

ARM – agregado reciclado constituído por uma mistura de materiais cimentícios (concretos, argamassas, blocos pré-moldados de concreto etc.) e materiais cerâmicos (blocos e telhas de cerâmica vermelha etc.)

Visando uma diminuição destes impactos ambientais, a produção de concreto permeável utilizando agregados reciclados da construção civil, é uma alternativa plausível, pois devido ao seu alto índice de vazios é possível a passagem de água, os pisos intertravados de concreto permeável podem reduzir significativamente o problema de impermeabilização do solo.

Em regiões urbanizadas já implantadas, o aumento da permeabilidade do solo pode decorrer da troca de pavimentação, como por exemplo em estacionamentos, calçadas parques, por um pavimento drenante que aumente a infiltração de água no solo, minimizando o impacto sobre o sistema de drenagem (SCHOLZ; GRABOWIECKI, 2006; BATEZINI, 2013 e OLIVEIRA, 2017).

1.2 Concreto permeável

De acordo com NBR 16416 (ABNT, 2015) o concreto permeável consiste em: “concreto com vazios interligados que permitem a percolação de água por ação da gravidade”. O concreto permeável é projetado pensando em permitir a passagem de água através de sua estrutura porosa, em virtude da alta presença de agregados graúdos em sua composição, característica que o difere do convencional já que seu traço possui pouco ou nada de agregados miúdos.

A infiltração de água no solo possibilita a recarga dos aquíferos, que abrange que ao chover a água infiltra no solo, parte dela pode penetrar as camadas do solo e chegar

até os lençóis freáticos, tal ação resulta em um equilíbrio hídrico. Essa recarga tem suma importância, pois, os aquíferos são fundamentais no abastecimento de água potável em muitas regiões, sendo através poços artesianos ou outra extração (GOMES et al, 2022)

1.3 Aplicabilidade

Em detrimento da baixa tenacidade e resistência a fadiga, o concreto permeável não é indicado para tráfegos intensos, mas sim para tráfego leve que é definido na NBR 16416:2015 como “solicitação do tráfego preferencial de veículos leves como ciclomotor, motoneta. Motocicleta, triciclo, quadriciclo, automóvel utilitário, camionete e camioneta, com volume diário médio (VDM) de até 400, podendo existir ocasionalmente o tráfego de ônibus e caminhões em número não superior a um VDM de 20” (ABNT, 2015).

Portanto o concreto permeável é indicado para o uso em estacionamentos, calçada e passeios, áreas recreativas e jardins sempre obedecendo os requisitos de cargas e manutenção adequada.

1.4 Tipos de pavimento permeável com agregado reciclado

Segundo a NBR 16416 (ABNT, 2015), os pavimentos permeáveis podem ser executados em três tipologias diferentes, sendo elas:

- 1) Pavimento intertravado permeável: essa tipologia se divide em três possibilidades de revestimentos:
 - a) Revestimentos de peças de concreto com juntas alargadas, onde a percolação de água ocorre pelas juntas entre as peças, conforme figura 1.

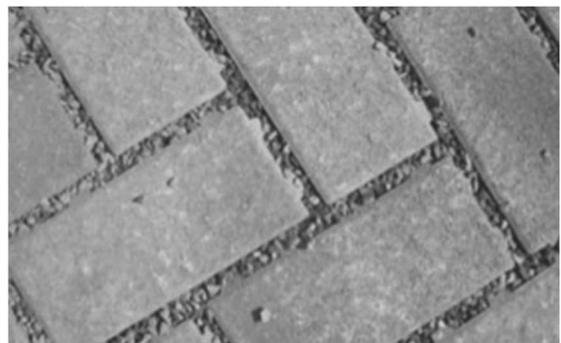


Figura 1- Peças de concreto com juntas alargadas

- b) Revestimentos de peças de concreto com áreas vazadas, onde a percolação de água ocorre por áreas vazadas das peças de concreto, conforme figura 2.
 - c) Revestimentos de peças de concreto permeável, onde a percolação de água ocorre por peças de concreto permeável, conforme figura 3;

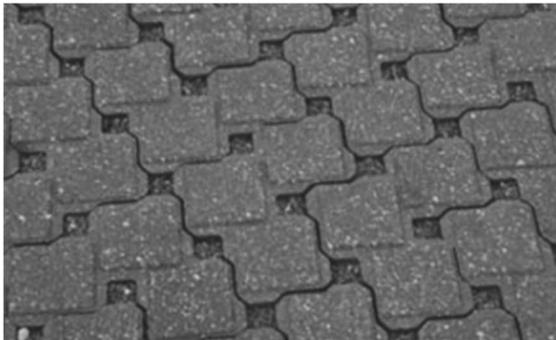


Figura 2- Peças de concreto com áreas vazadas



Figura 3- Peças de concreto permeável

- 2) Revestimento de pavimento de placas de concreto permeável, onde a percolação de água ocorre pela placa de concreto permeável, conforme figura 4.



Figura 4- Placas de concreto permeável

- 3) Revestimento de pavimento de concreto permeável moldado no local, onde a percolação de água ocorre pelo concreto, conforme figura 5.

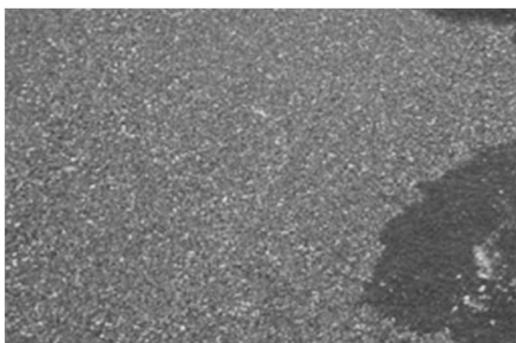


Figura 5- Concreto permeável moldado no local

Todos apresentam vantagens, principalmente na diminuição da quantidade de água de escoamento superficial e a facilidade de remanejamento para reutilização da água coletada. O concreto permeável apresenta, segundo Batezini (2013), menor peso específico quando comparado ao concreto convencional, na ordem de 1.300 a 2.000 Kg/m³, ou seja, em média 30% abaixo do concreto convencional, essa alteração está relacionada com o não emprego dos agregados miúdos e pode variar de acordo com a compactação adotada.

O índice de vazios é diretamente ligado à permeabilidade do concreto permeável, e possui estreita relação às propriedades mecânicas do mesmo, geralmente apresenta um índice de vazios maior em sua parte inferior (BATEZINI, 2013). O material é classificado com baixa porosidade quando apresenta índice de vazios abaixo de 15% e com alta quando demonstra índices acima de 30% e são respectivamente mais e menos resistentes. Recomenda-se a adoção em torno de 20% de índice de vazios para garantir valores aceitáveis nas duas propriedades (BATEZINI, 2013).

Assim, o presente estudo tem como objetivo investigar o comportamento mecânico e hidráulico do concreto permeável produzido com agregados reciclados. Além disso, busca-se comparar seu desempenho com o concreto permeável tradicional, elaborado com agregados naturais, a fim de identificar as potencialidades e limitações de ambos os materiais, com foco na viabilidade de sua aplicação prática em soluções de pavimentação sustentável.

2 METODOLOGIA

2.1 Caracterização dos materiais

Para elaboração do concreto permeável foram usados o cimento tipo CP V ARI. O material se destaca pela capacidade de atingir altas resistências já nos primeiros dias de aplicação e oferece uma maior plasticidade.

A água utilizada foi a fornecida pelo sistema público de abastecimento de Campinas-SP e que atende a de acordo com a norma ABNT NBR 15900-1(2009).

Nesse trabalho foram utilizados dois agregados, sendo eles agregados de concreto reciclado e pedrisco natural. Para ambos foi realizado o ensaio de granulometria conforme descrito na NBR 17054:2022 (figura 6) e classificados de acordo com os parâmetros apresentados na NBR 7211:2022 como pedrisco na faixa 4,72/12,5 (tabela 1).

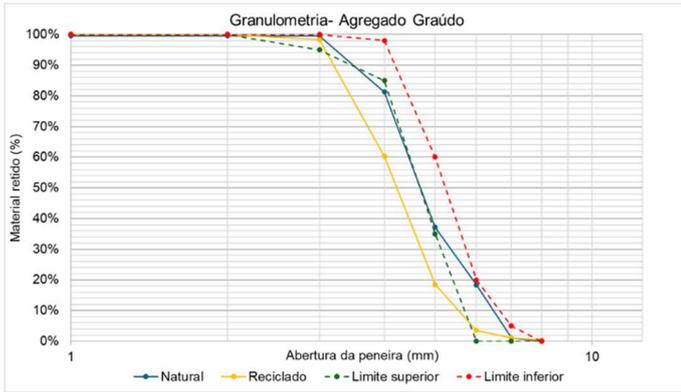


Figura 6- Gráfico da curva granulométrica

Tabela 1- Caracterização dos agregados

Características	Norma	AN	RCC
Diâmetro máximo (mm)	ABNT NBR 17054 (2022)	12,5	12,5
Módulo de finura	ABNT NBR 7211 (2022)	5,95	6,31
Classificação	ABNT NBR 7211 (2022)	Pedrisco 4,75/12,5	Pedrisco 4,75/12,5

Após a análise granulométrica, foram feitos os ensaios para obter as propriedades físicas dos agregados como absorção de água, índice de vazios e massa específica conforme NBR 9778:2009 e NBR 16917:2021, os resultados são apresentados na tabela 2.

Tabela 2- Propriedades físicas dos agregados

Propriedades físicas	Norma	AN	RCC
Densidade do agregado na condição seca (g/cm³)	ABNT NBR 16917 (2021)	2,64	2,43
Densidade do agregado na condição saturado de superfície seca (g/cm³)		2,67	2,55
Absorção de água (%)		1,20	4,78
Índice de vazios (%)	ABNT NBR 9778 (2009)	3,16	11,62
Massa unitária	ABNT NBR 16972 (2021)	1555,56	

2.2 Determinação do traço e moldagem

Foram realizados dois traços, um traço de referência nomeado como T_REF produzido com agregado natural e outro com 100% de substituição do agregado natural pelo reciclado intitulado como T_RCC. Foi executado o traço 1:4,44:0,30 (cimento: agregado: relação água/cimento), usando como referência o mesmo traço estudado por Oliveira (2017), com consumo de cimento de 374 kg/m³.

2.3 Caracterização do concreto permeável

2.3.1 Ensaios físicos e mecânicos

A tabela 3, aponta os ensaios realizados para a determinação das características físicas e mecânicas do concreto permeável aos 28 dias, porém o ensaio de resistência à compressão axial também foi realizado aos 7 dias a título de observação.

Tabela 3- Ensaios físicos e mecânicos

Tipo	Ensaio	Norma	Corpo de prova
Físico	Massa específica	ABNT NBR 9778 (2009)	Cilindro (10x20cm)
	Índice de vazios		
	Absorção	ABNT NBR 16917 (2021)	
Mecânico	Resistência à compressão axial	ABNT NBR 5739 (2018)	Prisma (40x10x10cm)
	Resistência à tração por flexão	ABNT NBR 12142 (2010)	

De acordo com Batezini (2013) uma baixa resistência tem ligação direta com índice de vazios baixo. Então, a fim de medir o índice do concreto, foi utilizada a norma ABNT NBR 9778:2009.

2.3.2 Ensaio hidráulico

Para analisar o comportamento hidráulico do concreto permeável, quando os corpos de prova atingiram 28 dias foram realizados os ensaios presentes na tabela 4.

Tabela 4- Ensaios hidráulicos

Ensaio	Norma	Corpo de prova
Determinação do coeficiente de permeabilidade por carga variável	ABNT NBR 14545 (2000)	Cilindro (10x20cm)

Para realizar o ensaio de determinação do coeficiente de permeabilidade através de uma carga variável, foi feita uma adaptação da ABNT NBR 14545:2000.

Foi usado um permeâmetro conforme ilustrado na figura 7, onde foi inserido o corpo de prova cilíndrico, a fim de direcionar o fluxo de água apenas para a amostra foi feita

uma vedação do canal, viabilizando que água percorra apenas ao longo do comprimento da amostra.



Figura 7- Permeâmetro de carga variável

O cálculo do coeficiente de permeabilidade pela carga variável consiste no volume de água que passa pela amostra em determinado tempo, juntamente com a altura de carga hidráulica que é aplicada, conforme equação 1.

$$p = \frac{a \cdot L}{A \cdot t} * \ln \frac{h_1}{h_2} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde,

p: Coeficiente de permeabilidade [cm/s];

a: Seção transversal da amostra [cm²];

l: Comprimento da amostra [cm];

A: Área da seção transversal da amostra [cm²];

t: Tempo dispenso na infiltração [s];

h1: Nível inicial da água [cm];

h2: Nível final da água [cm];

3 RESULTADOS

3.1 Concreto permeável

3.1.1 Propriedades físicas

A fim de analisar as propriedades físicas do concreto permeável em estado endurecido, foi realizado os ensaios para obtenção da capacidade de absorção de água, índice de vazios e massa específica, os resultados são apresentados na tabela 5.

Tabela 5- Propriedades físicas do concreto permeável aos

28 dias

Traço	Massa específica no estado seco (g/cm ³)	Absorção (%)	Índice de vazios (ABNT NBR 9778:2009) (%)
T_REF	1,67	2,62	4,37
T_RCC	1,68	2,90	4,87

Ao analisar a massa específica dos traços de concreto, observou-se que a diferença entre eles foi mínima, com o T_RCC apresentando uma massa específica 0,59% superior à do T_REF. Tal resultado pode decorrer em consequência da menor resistência do agregado reciclado, que no processo de moldagem ao ser compactado tem suas partículas esmagadas assim gerando um aumento do

teor de finos do concreto permeável. Também tal aumento pode ser atribuído à presença de materiais densos no RCC, como fragmentos de concreto endurecido.

De acordo com a análise da massa específica, a absorção de água e o índice de vazios do traço com agregado reciclado (T_RCC) foram, respectivamente, 10,67% e 11,44% superiores aos valores observados no traço com agregado natural (T_REF). Esses resultados podem ser explicados pela maior porosidade do agregado reciclado, que possui partículas irregulares que frequentemente contém materiais que possuem afinidade com água, como argamassa e tijolos. Tal irregularidade das partículas contribuem diretamente para o aumento do índice de vazios.

3.1.2 Propriedades mecânicas

Na figura 8, são apresentados os resultados dos ensaios de resistência a compressão axial e resistência à tração por flexão, ambos ensaios realizados aos 28 dias de idade. A fim de analisar a cura do concreto permeável, foram ensaiados corpos de provas com 7 dias de idade para resistência à compressão axial (figura 9).

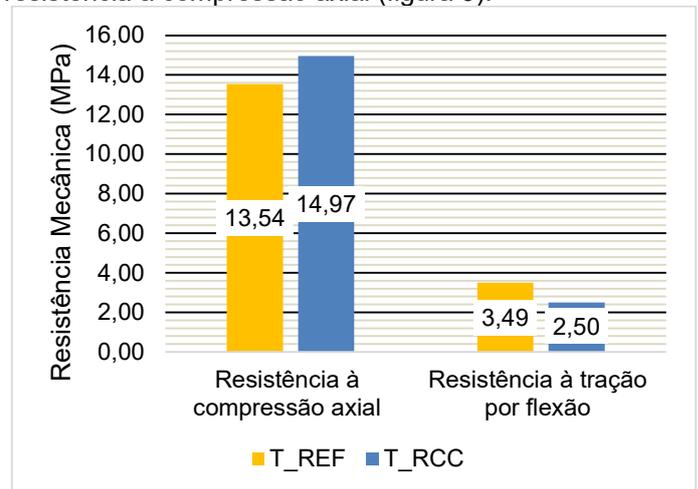


Figura 8- Resultados dos ensaios mecânicos

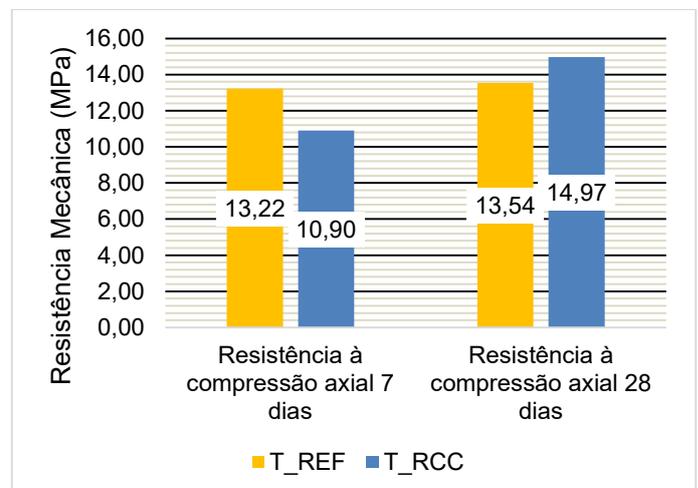


Figura 9- Comparativo de resistência axial à compressão em 7 e 28 dias



O concreto permeável T_RCC demonstrou uma resistência à compressão 10,56% superior à do T_REF. Em contrapartida, a resistência à tração na flexão do T_REF foi 39,60% maior que a do T_RCC. A melhora observada na resistência à compressão do T_RCC pode ser atribuída ao maior teor de finos, que resulta do esmagamento das partículas de agregado reciclado durante o processo de compactação. Esse aumento do teor de finos promove uma maior quantidade de argamassa, melhorando a coesão entre os elementos constituintes e, conseqüentemente, elevando a capacidade de resistência do concreto.

Conforme a norma ACI 522R (2010), citada por Muda et al. (2023), os limites mínimos e máximos de resistência para concretos permeáveis variam entre 2,8 MPa e 28 MPa. Dessa forma, o concreto produzido estaria adequado para aplicações como pavimentos de tráfego leve, estacionamentos, ruas residenciais e calçadas pavimentadas. No entanto, os resultados dos ensaios indicam que esse concreto não atende aos requisitos estabelecidos pela norma ABNT NBR 9781:2013, que exige resistências mínimas de 35 MPa para pavimentação de vias com tráfego comercial ou de transporte público, e 50 MPa para tráfego de veículos especiais ou condições que impliquem em abrasão significativa.

A análise comparativa apresentada mostra que o T_RCC obteve um ganho de resistência de 37,34% entre 7 e 28 dias de cura, em contraste com o ganho de 2,42% observado no T_REF. Esse comportamento pode ser explicado pela maior capacidade de absorção de água dos agregados reciclados em comparação aos agregados naturais, influenciando o desenvolvimento da resistência ao longo do tempo.

3.1.3 Propriedades hidráulicas

Foram utilizados três corpos de prova cilíndricos, submetidos a três ensaios de permeabilidade sob carga variável. A variação da coluna de água foi padronizada em 20 cm para todos os testes, assegurando a consistência das condições experimentais. Os resultados obtidos estão apresentados na figura 10.

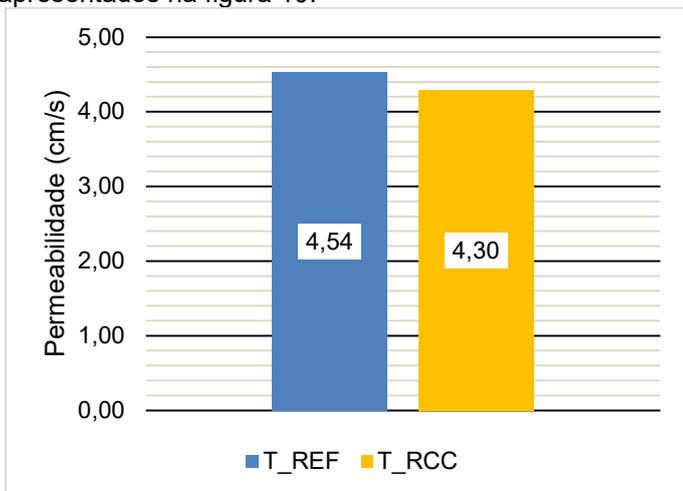


Figura 10- Permeabilidade por carga variável

O concreto produzido com agregado reciclado apresentou uma permeabilidade 5,58% inferior àquela observada no concreto com agregado natural. Essa diminuição na permeabilidade pode ser atribuída à maior presença de finos no agregado reciclado, resultante do processo de esmagamento das partículas durante a produção. A presença desses finos tende a obstruir parcialmente os poros, reduzindo a conectividade entre eles e, conseqüentemente, a capacidade de permeabilidade do concreto. Em contraste, os agregados naturais são geralmente mais uniformes e contêm uma quantidade menor de finos, o que facilita uma melhor interconexão entre os poros e promove uma permeabilidade mais eficiente.

3.2 Piso intertravado de concreto permeável

3.2.1 Propriedades físicas

Para analisar as propriedades físicas dos pisos intertravados de concreto permeável em estado endurecido, foram realizados ensaios para determinar a capacidade de absorção de água, o índice de vazios e a massa específica. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 6.

Tabela 6- Propriedades físicas do piso intertravado de concreto permeável aos 28 dias

Traço	Massa específica no estado seco (g/cm ³)	Absorção (%)	Índice de vazios (ABNT NBR 9778:2009) (%)
T_REF	1,45	2,32	3,37
T_RCC	1,74	3,18	5,51

A análise das propriedades físicas dos pisos intertravados de concreto permeável revelou resultados consistentes com os ensaios realizados em corpos de prova cilíndricos. Observou-se uma diferença significativa na massa específica entre os traços analisados, com o T_RCC apresentando um valor 20% superior ao do T_REF. No que se refere à absorção de água e ao índice de vazios, o traço com agregado reciclado (T_RCC) demonstrou valores significativamente superiores aos do traço com agregado natural (T_REF), sendo 37,07% maior na absorção de água e 63,50% maior no índice de vazios, conforme a ABNT NBR 9778:2009. Esses resultados corroboram as análises prévias das características físicas do concreto permeável.

3.2.2 Propriedades mecânicas

A figura 11 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial e Fpk,est dos pisos intertravados de concreto permeável, realizados aos 28 dias de idade. Foram utilizados seis corpos de prova retangulares (20x10x8cm) de cada traço para os ensaios de compressão.

Os resultados do traço T_REF apresentou resistência à compressão significativamente maior que a do T_RCC, com uma diferença de aproximadamente 30%. Tal resultado

pode ser conferido à qualidade inferior do agregado reciclado, que tende a apresentar maior porosidade e menor coesão entre as partículas em comparação ao agregado natural. Tais fatores propiciam negativamente a capacidade do concreto de resistir a cargas compressivas, refletindo-se na menor resistência do T_RCC.

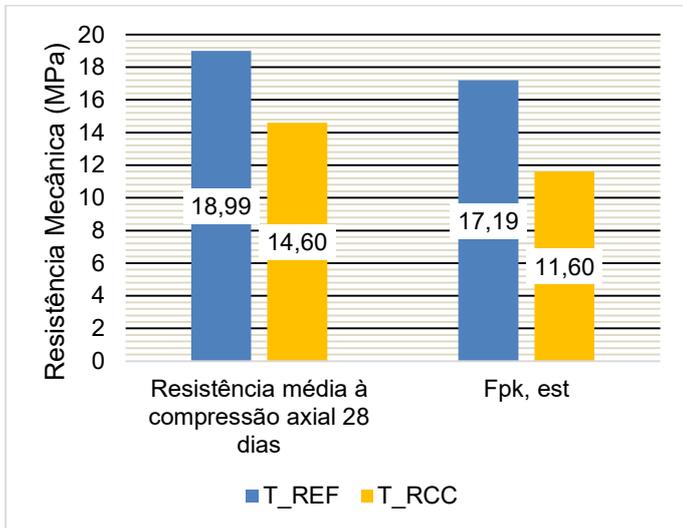


Figura 11- Resultados dos ensaios mecânicos

Semelhantemente a resistência característica estimada segue a mesma tendência observada na resistência à compressão, com o T_REF apresentando um valor significativamente maior. A diferença é ainda mais acentuada, com o T_REF sendo cerca de 48% superior ao T_RCC. Tal discrepância pode ser justificada pela heterogeneidade dos materiais reciclados, que possuem variações na composição e qualidade, resultando em um desempenho mecânico inferior.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos neste estudo, conclui-se que a substituição do agregado natural (AN) pelo agregado reciclado de concreto (RCC) acarreta mudanças significativas nas propriedades do concreto permeável (tabela 7). Devido à presença de materiais mais frágeis em sua composição, o RCC gera um maior teor de finos durante a moldagem, resultando em um concreto permeável que, apesar de apresentar maior resistência à compressão, exibe uma permeabilidade reduzida. Essa redução de permeabilidade, associada à maior porosidade do RCC, limita sua aplicação em pavimentos permeáveis, conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 9781 (2013).

Adicionalmente, a análise dos pisos intertravados de concreto permeável reforça essa limitação, uma vez que os resultados de resistência à compressão axial não atenderam aos requisitos mínimos para a viabilidade de utilização desse tipo de material. Dessa forma, os pisos intertravados de concreto permeável com agregado reciclado de concreto mostram-se inviáveis para aplicações em pavimentação.

Tabela 7- Resumo das Características do Concreto

Característica	Permeável			
	T_REF	T_RCC	Paver T_REF	Paver T_RCC
Índice de Vazios (%)	4,37	4,87	3,37	5,51
Permeabilidade (cm/s)	4,54	4,30	-	-
Resistência à Compressão (MPa)	13,54	14,97	18,99	14,60

Referências

- ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. São Paulo, 2019.
- ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. São Paulo, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR16917: Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro-RJ, 2021
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15116: Construção Civil –Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil – Utilização Em Pavimentação e Preparo de Concreto sem Função Estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro-RJ, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16416. Pavimentos permeáveis de concreto — Requisitos e procedimentos ABNT, Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17054: Agregados- Determinação da composição granulométrica- Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16973: Agregados- Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto - Requisitos. Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação- Especificações e métodos de ensaio, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12142: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14545: Solo – Determinação do Coeficiente de Permeabilidade de Solos Argilosos a Carga Variável. Rio de Janeiro, 2000.



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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
NBR 15900-1: Água para amassamento do concreto Parte
1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
NBR 16972:2021. Cimento Portland e outros materiais em
pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro,
2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
NBR 5739: Concreto – Ensaio de Compressão de corpos
de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

BATEZINI, R., “Estudo preliminar de concretos permeáveis
como revestimento de pavimentos para áreas de veículos
leves”. Dissertação (Mestrado em Engenharia de
Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo, São Paulo, 2013, pp. 133

BRASIL. Resolução CONAMA nº. 307, de 05 de julho de
2002. “Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para
a gestão dos resíduos da construção civil”, Diário Oficial da
República Federativa do Brasil, 2002.

GOMES, U. A. F. *et al.* DICIONÁRIO DE SANEAMENTO
BÁSICO: Pilares para uma gestão participativa nos
municípios. Belo Horizonte: Sanbas, 2022.

HOLTZ, F. *et al.* APLICAÇÃO DE CONCRETO
PERMEÁVEL NA DRENAGEM DE ZONAS
URBANAS. Anais do 53º Congresso Brasileiro do Concreto,
Porto Alegre, 2011.

MUDA, M. M.; LEGESE, A. M.; URGESSA, G.; BOJA, T..
Strength, Porosity and Permeability Properties of Porous
Concrete Made from Recycled Concrete
Aggregates. Construction Materials, v. 3, p. 81-92, 7 fev.
2023

OLIVEIRA, L. C. B. ANÁLISE DA PERMEABILIDADE E DA
COLMATAÇÃO EM CONCRETOS PERMEÁVEIS COM
AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO Dissertação
apresentada ao Programa de Mestrado em Sistemas de
Infraestrutura Urbana, PUC Campinas, 2017, 108p.

OZALP, F; YILMAZ, H.D; KARA, M;SAHIN,A. Effects of
recycled aggregates from construction and demolition
wastes on mechanical and permeability properties of paving
stone, kerb and concrete pipes. Construction and Building
Materials, v 110, p 17-23,2016

SCHOLZ, M.; GRABOWIECKI, P. REVIEW OF
PERMEABLE PAVEMENT SYSTEMS. Elsevier, UK, 2006.

TUCCI, C. E. M. Parâmetros dos Hidrogramas Unitário para
Bacias Urbanas Brasileiras. Revista Brasileira de Recursos
Hídricos, Porto Alegre, v. 8, n.2, p. 195-199, 200

Sistema de controle de temperatura em biodigestor anaeróbio e analisador de gases de baixo custo

Leandro Zuin Quibao¹, Ademar Takeo Akabane².

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

Resumo: A busca por fontes de energia alternativas é fomentada pela crescente demanda energética, devido ao enorme interesse em substituir o uso de combustíveis fósseis por fontes renováveis e menos poluentes como o biogás, um forte candidato na transformação sustentável da matriz energética mundial. Vale ressaltar que ainda é um desafio técnico e econômico a aplicação do biogás em geração de energia elétrica ou térmica de forma eficiente como substituição ao gás natural do petróleo, demandando processos de geração eficientes que minimizem a utilização de energia e potencializem sua eficiência. Ao buscar parâmetros de controle de temperatura que melhor estimule a geração de biogás em modelo próprio de biodigestor, a pesquisa contribui para o desenvolvimento de processos mais eficientes e sustentáveis habilitados por métodos de controle e monitoramento acessíveis e de baixo custo para a gestão de um modelo de geração de biogás em pequena escala no controle de temperaturas do biodigestor. A proposta é então de se avaliar a mistura gasosa quantificando os elementos CO₂ e CH₄ utilizando sensores de baixo custo, dos quais os resultados serão validados através de análises em laboratório.

Palavras-chave: biodigestor, sensores, temperatura.

1. Introdução

O uso de combustíveis fósseis associados a altas taxas de desmatamentos e utilização de fertilizantes e protetivos agrícolas, contribuíram significativamente para o aumento da concentração de gases da classe que compõe o efeito estufa. (BLUNDEN & BOYER, 2021). É crescente o interesse em fontes alternativas de energia, estimulado pela busca por sustentabilidade e características que as classificam como renováveis, presentes em biocombustíveis como o bioetanol, biodiesel e biogás (MONLAU et al. 2015).

O elemento combustível que mais contribui para o poder calorífico do biogás é o metano (CH₄), e quanto maior sua concentração, maior será o potencial energético de sua queima. Ao contrário, uma maior concentração do componente CO₂ no biogás reduz o seu poder calorífico (SAFARI & DINCER, 2019).

A partir de reações bioquímicas realizadas durante o processo da digestão anaeróbia, uma mistura gasosa denominada Biogás é liberada. A composição é variável de acordo com condições ligadas à composição do digestato além da temperatura e do pH interno do biodigestor, contudo é sempre composto primariamente por metano (CH₄) em teores de 40 a 75% e dióxido de carbono (CO₂)

em fração complementar de 15 a 60%, podendo conter outros gases em menor proporção e até mesmo vapor de água. (SRINJANPAN et al. 2019).

Ao reconhecer que a característica principal almejada no biogás é seu potencial combustível, e que ela é proporcionada pelo elemento CH₄, pode-se afirmar que quanto maior sua concentração, melhor será o potencial calorífico e energético, da mesma forma que altas concentrações de compostos incombustíveis como o CO₂ reduz o poder calorífico do biogás bruto. (SAFARI & DINCER, 2019).

Ao reconhecer que uma faixa de temperatura adequada é um dos principais fatores que garante a ocorrência da metanogênese, esse artigo demonstra a configuração de um sistema de controle de temperatura de um modelo de biodigestor em pequena escala, sendo suportado pela construção de um sistema de monitoramento e controle de temperatura, bem como um dispositivo de análise de gases para avaliação da ocorrência da metanogênese através da presença de metano e dióxido de carbono na amostra.

Ao trabalhar na frente prática experimental e teórico investigativa, será desenvolvido um sistema de monitoramento e controle que possa viabilizar a operação do modelo de geração de biogás através de um biodigestor de pequena escala, com foco no controle estável de temperatura que garanta a manutenção do processo de metanogênese de bactérias mesofílicas.

2. Metodologia

Foi desenvolvido um projeto de biodigestor de pequena escala como representado na Figura 1, respeitando o espaço disponível em laboratório e tendo a dimensão máxima representada pela base inferior quadrada com lado de medida 380 mm e altura de 530 mm da base até a parte superior.

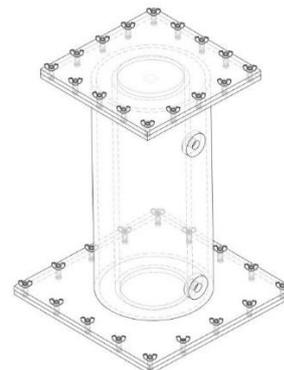


Figura 1 - Representação em 3D do biodigestor

A construção do dispositivo é em material polietileno de alta densidade (PEAD), composta por um tubo central envolvido por outro de maior diâmetro, com tampas em suas extremidades. A parede externa possui dois orifícios que permitem a entrada e saída de água.

O espaço disponível entre os tubos concêntricos pode ser visualizado na representação interna também apresentada pela Figura 1, por onde circula um fluxo contínuo de água bombeado a partir de um reservatório de aquecimento.

Após a construção, foram realizados testes de estanqueidade com ar comprimido na câmara interna, bem como no espaço por onde circula a água, garantindo que não há possibilidade de vazamento da câmara interna e nem o escape de água para o espaço interior ou exterior do biodigestor.

A principal variável monitorada e controlada em um biodigestor é a que foi selecionada para este estudo é a temperatura interna, garantindo a condição de maior eficiência para a codigestão anaeróbia. Foram posicionados 3 sensores de temperatura da Figura 2 no dispositivo, correspondendo a medição da temperatura da câmara interna, entrada e saída de água. Para fins de comparação, um sensor de mesmo modelo é fixado na estrutura metálica de suporte e mede a temperatura ambiente.

Foram utilizados 4 unidades do sensor DS18B20 com encapsulamento do tipo sonda que confere resistência a imersão completa, característica essencial para aplicação.



Figura 2 – Sensor de temperatura DS18B20

A sua faixa de medição que vai de -55°C a 125°C possui acurácia de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ entre -10°C a $+85^{\circ}\text{C}$, abrangendo toda a faixa de operação do sistema com ótima precisão. Cada sensor possui um identificador único e permite que todos os pontos de medição compartilhem um único barramento de comunicação denominado 1-Wire, simplificando a montagem, passagem de cabos e integração com o dispositivo registrador de dados. Com apenas 3 fios, sendo a alimentação 5 Volts, GND e sinal, não se faz necessário nenhum circuito de condicionamento de sinais e alimentação específica, o que torna a escolha desse sensor ainda mais apropriada para a aplicação de monitoramento e controle comandada por um Arduino UNO representado na Figura 3. Os balões numéricos apresentados nessa figura serão detalhados em seguida.

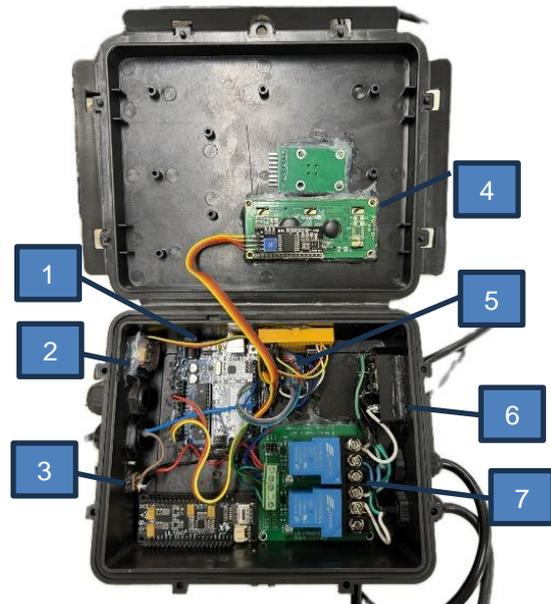


Figura 3 - Dispositivo de controle e aquisição de dados

Todo o sistema de controle e monitoramento do biodigestor está contido na caixa representada pela Figura 3, acondicionando o controlador Arduino Uno (1), módulo RTC DS1307 (2), entrada de energia 5VDC (3), display de LCD de 16x2 caracteres com módulo i2C (4), módulo de conexão para cartões de memória MicroSD (5), entrada de energia 220 VAC (6) e módulo de relês 2 canais (7).

O dispositivo aquecedor é constituído por uma resistência submersa em reservatório de água. A placa controladora aciona por meio de relês a bomba de circulação de água, bem como a resistência de aquecimento conforme o set-point da temperatura. Uma chave bóia garante que o funcionamento da bomba e da resistência aconteça apenas quando o tanque está preenchido com água, evitando assim superaquecimento e danos ao sistema que é representado na Figura 4.



Figura 4 - Sistema de aquecimento do Biodigestor

A digestão anaeróbia na maioria dos reatores ocorre nas temperaturas mesofílicas ou termofílicas, sendo respectivamente otimizadas em 37°C e 55°C respectivamente. A Tabela 1 adaptada de Gerardi (2003) apresenta algumas bactérias metanogênicas e as respectivas temperaturas ótimas de operação.

Tabela 1 - Faixas de temperatura para cada gênero de bactéria

Faixa de temperatura	Gênero	Temperatura ótima (°C)
Mesofílica	<i>Methanobacterium</i>	37–45
	<i>Methanobrevibacter</i>	37–40
	<i>Methanosphaera</i>	35–40
	<i>Methanolobus</i>	35–40
	<i>Methanococcus</i>	35–40
	<i>Methanosarcina</i>	30–40
	<i>Methanocorpusculum</i>	30–40
	<i>Methanoculleus</i>	35–40
	<i>Methanogenium</i>	20–40
	<i>Methanoplanus</i>	30–40
	<i>Methanospirillum</i>	35–40
	<i>Methanococcoides</i>	30–35
	<i>Methanolobus</i>	35–40
	<i>Methanohalophilus</i>	35–45
Termofílica	<i>Methanohalobium</i>	50–55
	<i>Methanosarcina</i>	50–55

Ao levar em consideração que a maior parcela dos gêneros catalogados é correspondente a faixa de temperatura mesofílica, alia-se ao fato de que temperaturas mais baixas requerem menor custo energético em aquecimento do sistema, uma das premissas em se manter a eficiência do processo. Visto que 37°C é a menor temperatura que abrange todos os gêneros mesofílicos estudados, será definida como parâmetro alvo na temperatura interna do biodigestor.

O sistema proposto para controle de temperatura do biodigestor leva em consideração a temperatura interna da câmara para o acionamento da resistência. As temperaturas de entrada e saída de água são monitoradas e o controlador desligará o aquecimento se qualquer uma das temperaturas estiver maior do que 40 °C, garantindo que a temperatura interna não supere a faixa mesofílica dos gêneros observados, bem como esteja em uma faixa que não traga riscos ao contato e estejam abaixo dos limites operacionais dos materiais.

A fim de avaliar a presença de metano e dióxido de carbono em uma amostra gasosa proveniente do biodigestor, é necessária a medição das concentrações dos gases contidos na mistura através de sensores, que acontecerá em um dispositivo construído especificamente para esse fim. Um Kitassato com 2L de capacidade foi selecionado de

forma que pudesse acondicionar as placas de prototipagem que interligam os sensores de dióxido de carbono, pressão e metano em um Arduino Nano. Visto que o microcontrolador utilizado opera em 5 Volts, foi utilizado um conversor de nível lógico para adequar o sinal dos sensores digitais que operam em 3,3 Volts a essa tensão. Após inserir sílica gel no interior do recipiente a fim de garantir menor nível de umidade relativa do ar no interior do dispositivo, a placa de prototipagem foi posicionada e o bocal superior selado com uma rolha. O cabo de conexão do dispositivo de medição passa pela rolha com vedação garantida por um prensa-cabos. A montagem resultante é apresentada na Figura 5.



Figura 5 - Kitassato com sensores de análise de gás

A presença de sílica gel no interior do dispositivo garante uma melhor resposta do sensor de metano, visto que a umidade relativa do ar afeta negativamente a sua sensibilidade de acordo com os dados do fabricante.

O módulo sensor SCD30 mostrado na Figura 6 possui a tecnologia de medição por luz infravermelha, detectando concentrações de dióxido de carbono garantindo precisão de ± 30 ppm entre 400 e 10.000 ppm e podendo realizar medições em valores que podem alcançar 40.000 ppm. A comunicação é proporcionada por uma interface digital I²C que permite a associação de outros sensores no mesmo barramento de comunicação, simplificando a conexão e garantindo a interoperabilidade.



Figura 6 - Sensor SCD30 de umidade, temperatura e CO₂

Também está presente no mesmo módulo um sensor de temperatura e umidade utilizados nas rotinas de calibração interna do sensor. Levando em consideração que esse sensor estará posicionado dentro do reservatório analisador de gases, isso também permitirá o registro com precisão de $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ para temperaturas na faixa operacional, bem como $\pm 3\%$ para umidade.

A tensão de alimentação desse sensor é de 3,3VDC, de forma que um conversor de nível lógico será necessário caso se deseje um interfaceamento com microcontroladores que operam em 5VDC, garantindo as tensões operacionais adequadas.

O BMP280 mostrado na Figura 7 é um sensor barométrico de alta precisão amplamente utilizado em aplicações que requerem precisão, baixo consumo de energia e capacidade de medir pressão e temperatura. Com uma faixa operacional de pressão entre 300 hPa e 1100 hPa e uma faixa de temperatura entre -40°C e $+85^{\circ}\text{C}$, a precisão do BMP280 é notável com um erro absoluto de ± 1 hPa para medições de pressão e $\pm 1^{\circ}\text{C}$ para medições de temperatura. (Bosch Sensortec, 2020)

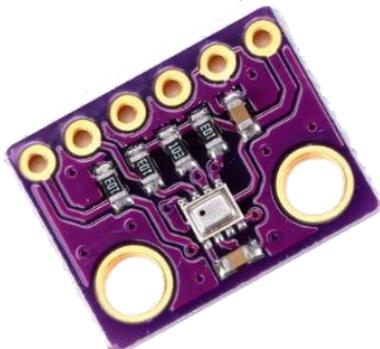


Figura 7 - Sensor de pressão BMP280

A estabilidade a longo prazo do BMP280 reduz a necessidade de recalibração frequente, característica essencial para um dispositivo confiável de aquisição de dados como o que está sendo desenvolvido neste projeto. Apesar do sensor oferecer dados de temperatura, estes serão desconsiderados frente a maior precisão absoluta de outros sensores de temperatura presentes no sistema, como por exemplo o do módulo SCD30.

O método de comunicação I²C oferece flexibilidade na comunicação e integração com o barramento de

comunicação de outros sensores, permitindo a comunicação com o microcontrolador utilizando apenas 2 fios. Assim como o SCD30, possui tensão nominal de trabalho por volta de 3,3VDC, também necessitando de um conversor de nível lógico caso seja conectado em microcontroladores 5VDC.

A série de sensores MQ é composta por sensores eletroquímicos que possuem a capacidade de serem sensibilizados por determinados gases. O sensor MQ-4 mostrado na Figura 8 é responsável pela capacidade de detectar a presença de gás metano em concentrações entre 200 a 10000 ppm em umidade relativa de até $65\% \pm 5\%$. Quanto menor a umidade relativa presente na amostra a ser analisada, maior será a acurácia desse sensor.

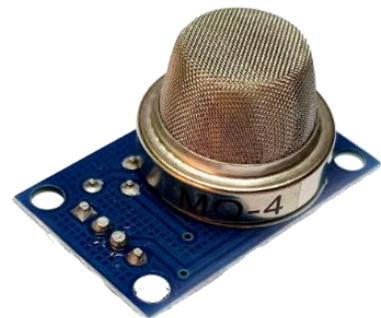


Figura 8 - Sensor MQ-4 de gás metano

O MQ-4 envia sinais de medição através de um sinal analógico, variado proporcionalmente à concentração de metano detectada e que pode ser diretamente interpretado pela leitura desse sinal em microcontroladores. Por ser alimentado com 5VDC, o sinal emitido será compatível a sua faixa de leitura e pode ser diretamente conectado em dispositivos que suportam até 5 Volts, como o Arduino Nano por exemplo.

A Figura 9 demonstra as ligações dos sensores no analisador de gases proposto. A comunicação e aquisição dos dados bem como a alimentação do dispositivo é realizada através da conexão USB com um computador, e os dados das leituras são transmitidas em intervalos de 2 segundos para um *software* terminal serial.

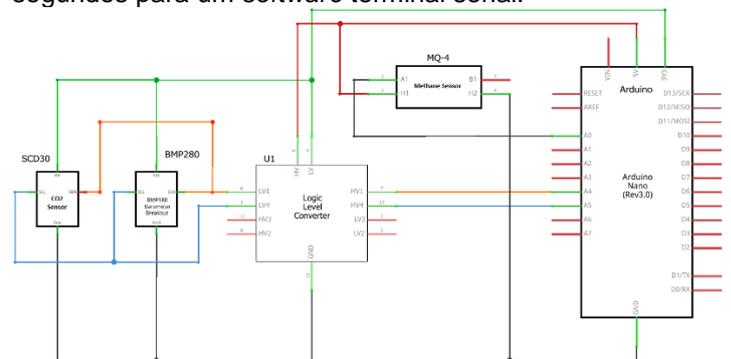


Figura 9 - Diagrama de ligação dos sensores

A lista de materiais referentes ao sistema de monitoramento e controle do biodigestor, bem como a análise de gases, é representada pela Tabela 2.



Tabela 2 - Lista de componentes

Subsistema	Componente	
Biodigestor	DS18B20	4
	Display 16x2 com i2C	1
	Arduino UNO	1
	Módulo cartão MicroSD SPI	1
	Módulo relês 30A, 5 Volts, 2 canais	1
	Módulo RTC DS1307	1
	Analisador de gases	SCD30
BMP280		1
MQ-4		1
Conversor de nível lógico		1
Arduino Nano		1
Protoboard 240 pontos		3

3. Resultados

No dia 13 de maio de 2024, foi realizada a carga de material orgânico no biodigestor representado por restos de alimento e dejetos suínos. O sistema operou no controle de temperatura interna com um setpoint de 37°C e no dia 4 de junho foram coletadas amostras com volume de 10mL do conteúdo gasoso do biodigestor. O analisador de gases foi ligado e após a inicialização e calibração nas condições de ar limpo, foram injetados o conteúdo da seringa para análise no dispositivo.

A Figura 10 apresenta os dados de temperatura coletados entre os dias 27 de maio de 2024 e 4 de junho de 2024. O sistema de controle realiza a coleta a cada 10 segundos e o gráfico resultante mostra as temperaturas interna, entrada e saída de água.



Figura 10 - Gráfico das temperaturas interna, entrada e saída de água

A temperatura interna estava configurada em um setpoint de 37 graus, de forma que o pico de temperatura se deu em 38,13 °C e a menor temperatura sendo 36,44°C.

Apesar da variação da temperatura ambiente mostrada na Figura 11 com a máxima em 23,62 °C e mínima de 19,55 °C, a temperatura interna já apresentada na Figura 10 demonstra que a estabilidade térmica do sistema operou nos níveis esperados de setpoint independentemente de condições externas

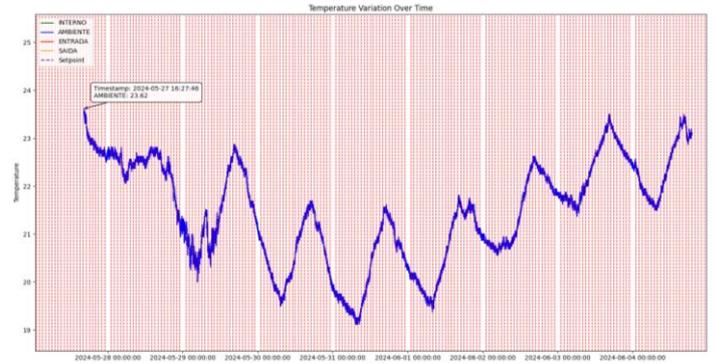


Figura 11 - Temperatura ambiente

É importante citar também que, apesar da pequena variação da temperatura interna durante a operação, esta permaneceu a todo momento dentro da faixa de temperaturas descritas na Tabela 1 proposta por Gerardi (2003) que corresponde às faixas de temperatura otimizadas e recomendadas para a atuação de todos os gêneros mesofílicos relatados.

Após a avaliação positiva da estabilidade térmica, foi realizada a análise para avaliar se no interior do sistema ocorreu a geração de biogás e se estaria em concentrações passíveis de serem detectadas ao menos qualitativamente através dos sensores de baixo custo selecionados.

No dia 4 de junho de 2024, foram retiradas duas amostras do conteúdo gasoso do biodigestor utilizando uma seringa de 10 mL. As amostras retiradas foram injetadas na entrada lateral do Kitassato enquanto o analisador de gases realizava a leitura dos sensores e os dados eram exibidos a cada segundo no terminal serial do computador. O processo de coleta e injeção no dispositivo de medição foi repetido por três vezes, e os dados lidos pelo dispositivo foram transcritos na Tabela 3 que mostra os valores iniciais de leitura e o valor após a estabilização alcançada em um tempo de 2 minutos, sempre representados na escala de ppm.

Tabela 3 - Valores iniciais e finais da análise gasosa

	Inicial (t=0)		Final (t=120s)	
	CO ₂ (ppm)	CH ₄ (ppm)	CO ₂ (ppm)	CH ₄ (ppm)
Amostra 1	415	33	5313	3510
Amostra 2	420	32	5226	3447
Amostra 3	417	30	5390	3564

De acordo com os valores da Tabela 3, a grande variação na amplitude dos valores medidos pelos sensores indica que houve estímulos que indicam a presença na amostra dos elementos descritos, bem como que a



concentração de CO₂ está maior se comparada com a concentração de CH₄. A presença de metano na amostra indica que está ocorrendo o processo de metanogênese no interior do biodigestor.

Apesar dos sensores possuírem a capacidade de realizar a medida quantitativa em ppm, considera-se nessa primeira análise apenas a avaliação da presença de metano e dióxido de carbono pelos valores apresentados dos sensores, reservando-se apenas à conclusão de que havia a presença dos referidos gases através da perceptível variação no estímulo de cada sensor. Será necessária a realização de calibração com concentrações conhecidas, bem como a análise de mesma amostra por métodos analíticos.

A razão das concentrações detectadas de CO₂ com relação a CH₄ é por volta de 60/40, de forma que a concentração de dióxido de carbono é maior que a de metano na mistura gasosa. A elevada concentração de CO₂ compromete o poder combustível desse gás, inclusive falhando no teste de queima. Métodos de remoção de dióxido de carbono devem ser associados a saída desse sistema, bem como a avaliação de outras cargas orgânicas que melhor contribuam na performance da metanogênese, especialmente com relação as concentrações de carbono e nitrogênio.

4. Considerações Finais

Ao selecionar parâmetros para aplicação no desenvolvimento do sistema de geração de biogás, espera-se obter um cenário inicial para posterior otimização através do controle das variáveis de processo, em um primeiro momento avaliando e combinando o que é trazido pela literatura, podendo expandir para novas configurações de acordo com as características técnicas do sistema. Os resultados parciais da análise gasosa indicam que está ocorrendo processo de metanogênese no interior do biodigestor, bem como os registros de temperatura mostram que o sistema está operando como o esperado no que se refere a estabilidade térmica e a manutenção de parâmetros ideais para ocorrência da fase metanogênica em bactérias mesofílicas.

A principal contribuição do artigo é atuar no suporte ao desenvolvimento de sistemas de controle para gestão de biodigestores, buscando apresentar um panorama das características controláveis do sistema e que atuam diretamente em sua eficiência.

O biodigestor e o analisador de gases construído irão atuar como parte do sistema de geração e análise da performance de um sistema de purificação de biogás através do uso de microalgas, de forma que as características desses microorganismos de adsorver CO₂ durante a fotossíntese pode significar uma possibilidade viável e eficiente de remediação do biogás a fim de melhorar a concentração do CH₄ na mistura, significando um aumento em seu poder calorífico e eficiência energética através de método econômico e sustentável.

Referências

- ALASWAD, A.; DASSISTI, Michele; PRESCOTT, T.; OLABI, Abdul Ghani. Technologies and developments of third generation biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 51, p. 1446-1460, 2015. DOI: 10.1016/j.rser.2015.07.058.
- BLUNDEN, J.; BOYER, T. State of the Climate in 2021. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 103, p. S1-S465, 2022. <https://doi.org/10.1175/2022BAMSSStateoftheClimate.1>.
- GERARDI, Michael H. Methane-forming Bacteria. In: SCHWARTZ, M. Principles of Electrodynamics. New York: Wiley, 2003. p. 17-29. ISBN 978-0471206934.
- MONLAU F. et al. (2015) New opportunities for agricultural digestate valorization: current situation and perspectives. *Energy Environ Sci* 8:1–20.
- Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B. (2018). Fundamentos da termodinâmica de engenharia. John Wiley & Filhos
- SAFARI F., DINCER I. (2019) Development and analysis of a novel biomass-based integrated system for multigeneration with hydrogen production. *International Journal Hydrogen Energy*



Argamassa autonivelante geopolimérica a partir da ativação alcalina do metacaulim

Luiz Ricardo Weimann Araujo

1. Engenheiro Civil, lrweimannl@gmail.com, UDESC

Resumo: A produção do cimento é responsável por aproximadamente 5% da emissão de dióxido de carbono na atmosfera, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais, são realizados estudos em busca de viabilizar materiais sustentáveis alternativos e que tenham propriedades de resistência e durabilidade equivalentes ao concreto. A produção da argamassa autonivelante requer um elevado consumo de cimento para se obter as propriedades requeridas de fluidez e consistência. O metacaulim é utilizado como adição parcial no concreto e argamassa, proporcionando melhorias em suas propriedades físicas como diminuição da porosidade e permeabilidade e aumento da resistência. Muitos estudos na área de geopolímeros utilizam o metacaulim como precursor em concreto e argamassa, preparado com variados tipos de ativadores e concentrações, porém poucos estudos abordam sua utilização em argamassa autonivelante. O presente artigo busca desenvolver argamassa autonivelante, variando-se os parâmetros que alteram as suas propriedades tais como teor de álcalis, relação sólidos/líquido, concentração molar do ativador, quantidade de água e utilizando-se combinação de ativadores a fim de se obter as melhores propriedades. Este estudo experimental avaliará o impacto ambiental das misturas, verificando-se a premissa utilizada em variados estudos sobre o tema de geopolímeros: sustentabilidade. O conhecimento apresentado nesse estudo busca embasar novas pesquisas na área de geopolímeros.

Palavras-chave: Metacaulim, Geopolímero, Argamassa.

1. Introdução

A classe de materiais álcali ativados é produzida a partir da ativação alcalina de classes de ligantes subdivididos de acordo com sua composição química: ricos em cálcio e os ricos em aluminossilicatos, o qual faz parte a classe dos geopolímeros (MARVILA et al., 2021). O material geopolimérico é uma alternativa amplamente estudada ao cimento Portland, contudo há poucos estudos que exploram a utilização do material como argamassa autonivelante. O material geopolimérico é desenvolvido a partir de precursores com adequadas razões molares entre os seus

óxidos reagentes. A produção de geopolímero não exige a calcinação à alta temperatura, como o cimento Portland, com isso contribuem para o desenvolvimento sustentável (DAVIDOVITS, 2002).

Nesse contexto, a produção de argamassa autonivelante convencional demanda grande quantidade de cimento (25 à 45% da massa total), sendo a substituição por argamassa geopolimérica uma possibilidade de material que possa agregar ao desenvolvimento sustentável.

As argamassas autonivelantes são produzidas com grande fluidez sendo capazes de nivelar a superfície pela ação do seu peso próprio, sem requerer nenhuma energia de compactação. São argamassas com baixa viscosidade, aplicadas em camadas finas de 1- 10mm para produzir um substrato liso e uniforme, sobre o qual pode ser aplicado um revestimento final (DE GASPARO et al., 2009).

Os geopolímeros trazem a possibilidade do reaproveitamento de resíduos ou subprodutos industriais, que seriam descartados ou lançados à natureza, para a produção de cimentos de menor impacto ambiental, comparativamente ao processo de produção do cimento Portland (VARGAS et al., 2015). São obtidos pela policondensação em meio alcalino, desde que observados critérios de escolha dos materiais precursores, parâmetros de dosagem e condições de cura (LIVI; REPETTE, 2015).

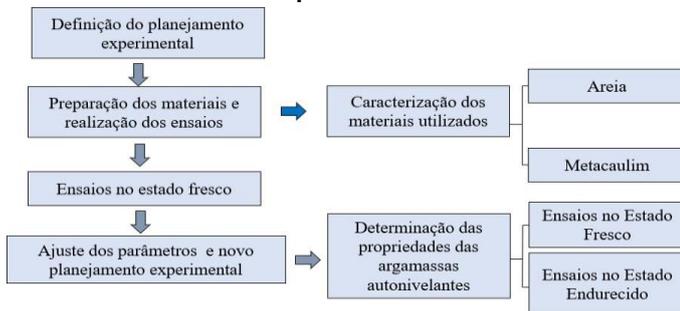
Nas devidas proporções entre os aluminossilicatos e ativadores poderá ser conseguida uma policondensação eficiente dos aluminossilicatos, obtendo desta forma um material sólido com propriedades mecânicas interessantes para a construção civil (VARGAS et al., 2015). Na Figura 1 é apresentado o fluxograma do mecanismo de geopolimerização.

2. Metodologia

O planejamento experimental envolve diversas etapas, desde a elaboração do traço inicial baseado em estudos análogos sobre o tema à realização dos ensaios nos estados fresco e endurecido. Em virtude da escassez de material sobre argamassa autoadensável geopolimérica, utilizou-se de base estudos realizados com concreto autoadensável. A Figura 1 esquematiza o fluxograma do planejamento experimental.



Figura 1 – Fluxograma resumido do planejamento experimental



Fonte: O Autor (2023).

A produção dos geopolímeros será baseada em composições com metacaulim como precursor e fonte de aluminossilicato; o hidróxido de sódio e de potássio como ativadores; silicato de sódio como fonte adicional de sílica e a água atuando como meio para dissolução dos materiais. O traço proposto no estudo foi de 1:1,7:2,55 (precursor, agregado miúdo e agregado graúdo) em massa, os ativadores foram fixados em 0,25:0,50 (hidróxido de sódio e silicato de sódio) em massa. A molaridade da mistura foi fixada em 12 mol/L.

Definido os traços iniciais, os materiais: areia e metacaulim são misturados secos e paralelamente é preparada a solução ativadora. Os ensaios de espalhamento inicial e retenção de fluxo serão realizados com um cilindro de 30 mm x 50 mm, chamado de anel de escoamento – flowing sobre uma base quadrada de vidro com as dimensões de 400 mm x 400 mm x 6 mm.

De acordo com a norma C 1708 (ABNT, 2016) o espalhamento mínimo deve ter diâmetro de 125 mm. A quantidade de água deve ser ajustada para que não ocorra segregação dos materiais.

As misturas que atingirem o espalhamento mínimo de 125 mm serão avaliadas nos ensaios no estado fresco: Retenção de fluxo – C 1708 (ASTM, 2019), Tempo de regeneração – C 1708 (ASTM, 2019), Tempo de pega automático – NBR 12128 (ABNT, 2019); Calor de Hidratação – Calorímetro; Reometria rotacional.

O ensaio realizado para determinação do tempo de regeneração é realizado conforme a Norma C 1708 (2016) e consiste em realizar cortes na argamassa até que ela não retorne ao seu estado original. A argamassa é depositada em uma fôrma retangular normatizada, com dimensões de 210 mm x 210 mm x 9 mm. Os cortes iniciam após 10 minutos da mistura dos componentes da argamassa, os demais cortes são realizados com a periodicidade de 5 em 5 minutos

O tempo de início e fim de pega é obtido de forma automática pelo aparelho de Vicat, que registra o tempo em que a penetração da agulha na amostra corresponde a 25mm. As medições iniciam 30 minutos após a mistura da argamassa, o intervalo entre as medições pode ser ajustado conforme a necessidade do ensaio. O tempo final é obtido a partir do momento que a agulha não penetra na pasta, ou seja, final de pega.

O ensaio de calorimetria avalia o comportamento das reações de hidratação no decorrer do tempo de cura das argamassas, objetiva representar a curva de fluxo de calor da argamassa ao longo do tempo.

Para a realização dos ensaios de Reometria rotacional, será utilizado o reômetro HAAKE Viscotester iQ AIR, com o objetivo de se obter as curvas das argamassas a partir de modelos reológicos.

Para a realização dos ensaios de resistência à compressão serão preparados três corpos de prova cilíndricos com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura para cada traço, ensaiados com 1, 3, 7 e 28 dias de idade. Para a realização do ensaio de resistência à flexão serão moldados três corpos de prova prismáticos de 40 mm x 40 mm x 160 mm para cada idade, 3 e 28 dias de idade para cada traço da argamassa.

Com o objetivo de analisar a estabilidade dimensional das argamassas, será utilizado o ensaio normatizado pela NBR 15261 (2005). O ensaio consiste em analisar linearmente a expansão ou retração de argamassas até o tempo de cura de 28 dias.

Os ensaios para determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica das argamassas no estado endurecido serão realizados através de dois corpos de prova prismáticos com dimensões de 40 mm x 40 mm x 160 mm para cada mistura ensaiada, seguindo os procedimentos da NBR 9778.

Os ensaios de ataque ácido serão realizados para 1N dos ácido acético e ácido clorídrico (HCl), em prismas de dimensões 4x4x16 cm durante 1 mês para obtenção da perda de massa, registrando a variação semanal.

Com o objetivo de validar as misturas no ponto de vista da sustentabilidade do material, premissa adotada na maioria dos estudos sobre o tema, será utilizado o modelo proposto no artigo Environmental Impact Assessment for Performance-Oriented Geopolymer Concrete (TALAAT; EMAD; KOHAIL, 2023) que colaciona formulações para estimar a emissão de CO₂ dos geopolímeros.

3. Resultados

O principal objetivo deste trabalho é a obtenção de argamassa geopolimérica que atenda aos requisitos de resistência e trabalhabilidade indicado nas normas



técnicas. Além disso, espera-se a redução do impacto ambiental das misturas em relação ao método convencional; aumento da durabilidade das argamassas; aumento da resistência a compressão e a tração com aumento da concentração do ativador e bom desempenho mecânico, principalmente nas idades iniciais.

4. Considerações Finais

Este estudo experimental avaliará o impacto ambiental das misturas, verificando-se a premissa utilizada em variados estudos sobre o tema de geopolímeros: sustentabilidade. O conhecimento apresentado nesse estudo busca embasar novas pesquisas na área de geopolímeros.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12653: Materiais Pozolânicos - Requisitos. Rio de Janeiro, p. 10. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16541. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 15573-3, Edificações habitacionais — Desempenho Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos, Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5751. Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2006.

De Gasparo, M. Herwegh, R. Zurbruggen, K. Scrivener, Quantitative distribution patterns of additives in self-leveling flooring compounds (underlayments) as a function of application, formulation, and climatic conditions. *Cem. Concr. Res.* 39 (2009) 313–323, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.12.009>.

DAVIDOVITS, J. 30 Years of Successes and Failures in Geopolymers Applications. Market Trends and Potential Breakthroughs. Geopolymer 2002 Conference, Melbourne, Austrália, 2002.

JINDAL, B. B. et al. Geopolymer concrete with metakaolin for sustainability: a comprehensive review on raw material's properties, synthesis, performance, and potential application. *Environmental Science and Pollution Research*, 9 jan. 2022.

LIVI, C. N.; REPETTE, W. L. Ligante geopolimérico produzido com cinza volante e hidróxido de sódio. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 15, n. 3, p. 7-18, jul./set. 2015.

LUO, Y.-P. et al. Mechanical and microstructural properties of MK-FA-GGBFS-based self-compacting geopolymer concrete composites. *Journal of Building Engineering*, v. 77, p. 107452–107452, 1 out. 2023.

MARVILA, M. T. et al. Performance of geopolymer tiles in high temperature and saturation conditions. *Construction and Building Materials*, v. 286, p. 122994, jun. 2021.

MENDES, Gabriela Azambuja. Dosagem de argamassa autonivelante com adição de resíduos do corte de mármore e graníticos: Análise das propriedades físicas e mecânicas. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville, 2019.

Metacaulim do Brasil – Disponível em: <https://metacaulim.com.br/impermeabilizantes-metacaulim-hp-ultra.html>. Acessado em 11/11/2023.

RIBEIRO, DANIEL VÉRAS. Princípios da Ciência dos Materiais Cimentícios: Produção, Reações, Aplicações e Avanços Tecnológicos. 1. ed. Curitiba: Appris, 2021. 569 p.

SILVA, Sarah Honorato Lopes da. Desenvolvimento de formulações de argamassas autonivelantes para pisos e avaliação da retração por secagem. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

SHILAR, F. A. et al. Preparation and validation of sustainable metakaolin based geopolymer concrete for structural application. v. 371, p. 130688–130688, 1 mar. 2023.

SINGH, B. et al. Geopolymer concrete: A review of some recent developments. *Construction and Building Materials*, v. 85, p. 78–90, jun. 2015.

TALAAT, A.; EMAD, A.; KOHAIL, M. Environmental Impact Assessment for Performance-Oriented Geopolymer Concrete Research. v. 35, n. 1, 1 jan. 2023.



X Simpósio do Pesquisa em Sistemas de Infraestrutura Urbana SPINFRA 2024
23 e 24 de setembro de 2024

VARGAS, A. S. de et al. Argamassas geopoliméricas à base de cinzas volantes álcali-ativadas contendo areia de fundição. Cerâmica, São Paulo, v. 2015, n. 09, p.317-322, 2015.



Estudo bibliométrico sobre utilização de termografia infravermelha para análise de patologia em revestimento cerâmico

Jaqueline Andrade Corrêa¹, Lia Lorena Pimentel², Denise Helena Lombardo Ferreira³

1. Programa de Pós-graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana da PUC Campinas; jaqueline.ac3@puccampinas.edu.br

2. Programa de Pós-graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana da PUC Campinas; lialp@puc-campinas.edu.br

3. Programa de Pós-graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana da PUC Campinas; lombardo@puc-campinas.edu.br

Resumo: A crescente conscientização sobre a qualidade e durabilidade das construções tem levado à adoção de práticas de gestão da qualidade na construção civil, reconhecendo a importância de inspeções para detectar manifestações patológicas, especialmente em revestimentos cerâmicos utilizados em fachadas. A aplicação de ensaios não destrutivos, como a termografia infravermelha, surge como uma solução para identificar tais problemas. Diante da necessidade de compreender melhor a utilização desta tecnologia e visando preencher lacunas de conhecimento nessa área foi realizado um estudo bibliométrico sobre o tema. A metodologia contemplou a definição de uma *string* de busca, a seleção de bases de dados relevantes, estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão, *download* e manipulação dos dados, seguidos pela análise dos resultados obtidos. Foram identificados 158 artigos na base Scopus e 26 na base Web of Science. Os gráficos elaborados contribuíram para uma ampla visão sobre o que tem sido pesquisado na utilização de termografia infravermelha para inspeção de revestimento cerâmico. Os resultados indicam uma tendência crescente na produção de artigos sobre o tema. A Scopus se sobressai como a base de dados mais representativa, e as palavras-chave mais frequentes nos artigos refletem a relevância dessa tecnologia.

Palavras-chave: Ensaios Não Destrutivos, Termografia Infravermelha, revestimento cerâmico, manifestações patológicas e estudo bibliométrico.

1. Introdução

1.1 Legislação, normas técnicas e a importância das inspeções para qualidade e durabilidade das construções

A conscientização sobre a importância da qualidade e da durabilidade das construções tem se intensificado entre construtores e incorporadores que buscam atender às crescentes exigências do mercado imobiliário. Segundo Gomide *et al.* (2020), as determinações legais relativas à qualidade dos produtos evoluíram significativamente desde a promulgação da Lei Federal nº 8.078 de 1990, denominada Código de Defesa do Consumidor (CDC). De acordo com o art. 4º, item IId, desse código, é estabelecida a "garantia dos produtos e serviços com padrões adequados de qualidade, segurança, durabilidade e desempenho". Portanto, atender aos requisitos de qualidade e durabilidade é fundamental para o cumprimento da lei.

A gestão da qualidade na construção civil, conforme definida e abordada pela NBR ISO 9001 (ABNT, 2015), começou a ser adotada na indústria da construção durante a primeira metade da década de 1990. De acordo com Grossi (2021) essa iniciativa marcou o início da prática sistematizada da inspeção de serviços durante a obra, antes realizada de forma não sistematizada e sem registros. Nesse mesmo contexto foi publicada a NBR 5671 (ABNT, 1990, p. 8), cujo item 5.16.1 informa que "é de responsabilidade do adquirente vistoriar o imóvel e apontar formalmente, por escrito, quaisquer defeitos observados antes de tomar posse do mesmo". Além disso, o inciso II do Art. 26 do Código de Defesa do Consumidor (Brasil, 1990) estipula um prazo de 90 dias para reclamação de vícios aparentes, garantindo que os defeitos causados por materiais ou processos construtivos sejam distintos daqueles resultantes do uso inicial do imóvel pelos usuários (Grossi, 2021).

Sendo assim, em todas as fases de desenvolvimento de uma obra de construção civil há a necessidade de investigações técnicas que forneçam uma avaliação holística do estado de uma edificação, permitindo a detecção precoce de manifestações patológicas e outros problemas que possam comprometer sua integridade (Gomide, 2017). Essas avaliações não apenas resguardam os investimentos dos proprietários, mas também conferem prolongada durabilidade e contribuem significativamente para a preservação do patrimônio construído, segurança e bem-estar dos ocupantes.

1.2 Manifestações patológicas associadas aos revestimentos cerâmicos

Uma vez apresentada a importância das inspeções nas construções, este artigo expõe os principais motivos pelos quais os revestimentos cerâmicos são utilizados em edifícios, quais são as principais manifestações patológicas associadas ao emprego deste material e de que forma elas podem ser analisadas previamente a fim de promover maior durabilidade, sustentabilidade, segurança e bem-estar dos indivíduos.

Os revestimentos cerâmicos são comumente utilizados em fachadas porque oferecem maior proteção à edificação contra os agentes de deterioração e corrosão, sendo importante em meios com condições ambientais agressivas, como cidades litorâneas. É um sistema que possibilita facilidade de limpeza e manutenção, proporciona estanqueidade, isolamento térmico e acústico, variedade de cores e flexibilidade de composições. Ou seja, promove elevada durabilidade, desempenho térmico, acústico e

possibilidade estética (Esquivel, 2001; Pezzato, 2010; Pacheco & Vieira, 2017; Pessanha *et al.*, 2019; Saraiva *et al.*, 2021).

O reconhecimento das vantagens técnicas das placas cerâmicas encontra respaldo em um setor industrial que possui posição de destaque em nível mundial. De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento (ANFACER), o Brasil atualmente ocupa a terceira posição global tanto em produção quanto em consumo (ANFACER, 2023).

Além disso, a garantia da qualidade desse setor é assegurada através de organismos de avaliação de conformidade, como o Centro Cerâmico do Brasil (CCB), órgão acreditado pelo INMETRO para a certificação de produtos cerâmicos e sistemas de gestão da qualidade (CCB, 2020).

Por outro lado, o sistema de revestimento cerâmico é composto por diversas camadas: chapisco, emboço, argamassa colante, placa cerâmica e rejunte, conforme NBR 13755 (ABNT, 2017), sendo que cada camada é constituída por materiais com características divergentes entre si, como coeficientes de dilatação e tempo de cura por exemplo. Dessa forma, mesmo que a disponibilidade de materiais cerâmicos seja de alta qualidade, trata-se de um sistema que está sujeito a falhas executivas, de projetos e que se encontra mais exposto aos agentes de degradação por estar na fachada em comparação a outros elementos que compõem o edifício, contribuindo para o surgimento de patologia (Bauer & Souza, 2022; Saraiva *et al.*, 2021).

Entre as principais manifestações patológicas verificadas em fachadas com revestimento cerâmico pode-se citar descolamento e deslocamento do revestimento, deterioração das juntas, infiltração e presença de aberturas, sendo que a anomalia do descolamento cerâmico é a mais recorrente (Figura 1) (Bauer, Castro e Silva, 2015; Rocha, Tancredi e Menna, 2017; Pacheco; Vieira, 2017; Varella *et al.*, 2017; Almeida *et al.*, 2021; Bauer & Souza, 2022), e a mais grave, podendo gerar riscos aos usuários (Figura 2).

Figura 1 – Principais manifestações patológicas associadas aos revestimentos cerâmicos. Fonte: Rocha, Tancredi e Menna (2017).

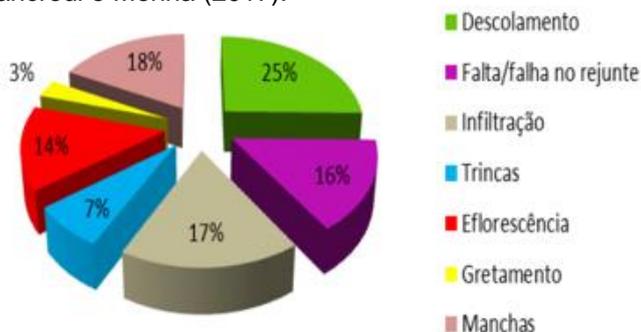


Figura 2 – Notícia de 14/07/2023 que evidencia o risco aos usuários. Fonte: Bento (2023, s/p).



1.3 Métodos de ensaios não destrutivos e a termografia infravermelha

Entre os possíveis métodos de análise das manifestações patológicas estão os ensaios não destrutivos (END), métodos utilizados para avaliar as propriedades e integridade de materiais, componentes ou estruturas sem causar danos permanentes ou comprometer sua utilidade, não havendo limite para o número de testes. Por esse motivo eles têm sido amplamente utilizados para identificação de manifestações patológicas em edifícios que fazem parte do patrimônio histórico. Sendo assim, entende-se que a utilização desta técnica desempenha papel crucial nas intervenções para garantia da reabilitação, restauração e preservação de estruturas icônicas (Wong, 2019; Fort *et al.* 2022; Tejedor *et al.*, 2022; Pescari, Budau e Vilceanu, 2023).

De acordo com *The American Society for Nondestructive Testing* (ASNT, 2024) existem até 16 tipos diferentes de ensaios não destrutivos, classificados de acordo com o tipo de sinal ou o equipamento utilizado, sendo que cada um deles apresenta suas próprias capacidades e limitações, a exemplo do ensaio visual remoto, ensaio ultrassônico, ensaio a laser e infravermelho. Segundo Garrido *et al.* (2020), quando o objetivo é retardar ou interromper o impacto negativo das manifestações patológicas mais graves e caracterizar termicamente as regiões danificadas ou não danificadas de uma infraestrutura a metodologia mais apropriada é a Termografia Infravermelha.

Uma vez que o descolamento do revestimento cerâmico é uma das manifestações patológicas mais graves e recorrentes, entende-se que é crucial empregar técnicas apropriadas de avaliação visando mitigar ou erradicar estes problemas. Embora a verificação da presença de sonoridade cava deva ser realizada em toda fachada através de inspeção sonora por meio do teste de percussão realizado com material não contundente, conforme especificado na NBR 13755 (ABNT, 2017), é possível identificar descolamento de revestimento cerâmico através de termografia infravermelha com drone.

Essa técnica de inspeção possibilita acesso a locais com dificuldade de visibilidade, são capazes de avaliar a gravidade e a extensão dos descolamentos e infiltrações, bem como prever sua possível evolução. Trata-se de uma

maneira de viabilizar a inspeção e a avaliação do estado de conservação das construções de forma econômica e eficiente, minimizando as chances de falha humana durante a realização do ensaio, sem a subjetividade e a lentidão dos métodos tradicionais como o alpinismo de fachada (Lorenzi, Reginato e Filho, 2016; Garrido *et al.*, 2020; Garrido *et al.*, 2022; Ballesteros & Lordsleem, 2021).

De acordo com Tanaka & Pavon (2021), a identificação do descolamento é possível em função da espessura relativamente pequena da maioria dos materiais de revestimento e à presença de ar entre as camadas aplicadas como resultado da perda de aderência com o substrato, fatos que justificam o estudo desse fenômeno. A presença de ar perto da superfície gera nessa área diferenças de temperatura quando comparado com uma área vizinha em condições normais, o que permite a identificação dessa manifestação patológica.

Porém, à medida que o área de descolamento das placas cerâmicas diminui, a identificação de áreas defeituosas se torna mais difícil e, em alguns casos, pode levar a um resultado falso-positivo. Além disso, informações cruciais como distância e ângulo de aquisição de dados não são abordadas de forma completa na literatura (De Melo, Da Paz e Mesquita, 2024). A ausência de norma técnica brasileira específica sobre utilização de termografia infravermelha para identificação de manifestações patológicas em revestimento cerâmico é outro fator que justifica o estudo sobre a aplicação dessa tecnologia no Brasil.

Sendo assim, a fim de proporcionar uma ampla visão sobre o que tem sido pesquisado na utilização de termografia infravermelha para inspeção de revestimento cerâmico, foi desenvolvido um estudo bibliométrico que consiste em um processo de busca por literatura justamente para esse fim (Melo, Granja e Ballard, 2013). A partir de publicações e trabalhos existentes foi possível identificar e analisar a quantidade, o tipo e os assuntos que têm sido discutidos nos estudos encontrados. Conseqüentemente, trata-se de um método eficaz na identificação de lacunas de conhecimento acerca de um tema específico (Ruiz & Granja, 2013).

2. Metodologia

A realização do estudo bibliométrico se deu a fim de proporcionar uma ampla visão sobre a área de pesquisa na utilização de termografia infravermelha para inspeção de revestimento cerâmico.

Foi utilizado como referência para realização do mapeamento sistemático o método elaborado por Ruiz & Granja (2013). Tais pesquisadores definiram que o processo de aplicação deveria ser composto por cinco etapas principais, mas julgou-se pertinente adicionar uma etapa ao processo, sobre como manipular os artigos depois de tê-los salvado. A sequência de etapas que foram cumpridas pode ser verificada através do fluxograma apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma das seis etapas principais do Mapeamento Sistemático de Literatura. Fonte: Adaptado de Ruiz & Granja (2013).



A primeira etapa (O que buscar?) está relacionada à construção de uma boa *string* de busca, ou seja, a escolha de um termo que deve ser utilizado para buscar os artigos nas bases de dados. A palavra-chave escolhida deve ser realmente aderente ao tema para alcançar a maior quantidade de publicações sem abranger conteúdo irrelevante para a pesquisa. Para o presente estudo definiu-se os seguintes descritores: *Non Destructive* (não destrutivo), *Infrared Thermography* (termografia infravermelha) e *ceramic* (cerâmica).

A segunda etapa (Onde buscar?) está associada à identificação da bibliografia, ou seja, a definição das bases de dados a serem realizadas a pesquisa a partir da *string*. Foram selecionadas duas bases para busca, considerando que elas contêm quantidade relevante de artigos relacionados à área de Engenharia Civil: Scopus e *Web of Science*.

A terceira etapa (Como buscar?) consiste em declarar critérios de inclusão ou exclusão para que os dados de saída sejam coerentes com os dados de entrada na pesquisa avançada (*advanced search*). Nessa etapa é preciso definir o tipo de texto e determinar um período específico de busca.

Sabe-se que a utilização de operadores booleanos (AND, OR, AND NOT e OR NOT) informa ao sistema como combinar os termos a fim de ampliar ou restringir a busca. Ao empregar o termo “AND” a base mostra apenas os registros que contenham todas as palavras digitadas, restringindo a amplitude da pesquisa. Ao utilizar “AND NOT” a base de dados exclui os registros que contenham certas palavras de busca (Web of science, 2020).

De acordo com o Guia Rápido do Portal de Periódico da Capes, Capes (2019), a utilização de caracteres especiais também pode ampliar ou restringir a busca. O emprego do asterisco no final da palavra tem a função de recuperar as variações dos sufixos.

Sendo assim, a fim de alcançar o maior número de publicações pertinentes ao tema, definiu-se a busca por *Infrared AND Thermography, AND ceramic, AND non AND destructive, NOT dent**. Ao excluir *dent** foram removidos diversos artigos da área da odontologia que apresentavam as palavras *dental* ou *dentistic* por exemplo. Por fim, estabeleceu-se que seriam considerados apenas artigos de periódicos (*journal article*) e determinou-se o período de análise de 2000 a 2024.



A quarta etapa (Como salvar?) compreende os métodos existentes para salvar os dados de saída. Uma vez realizado o acesso na CAFe (Comunidade Acadêmica Federada), basta selecionar e fazer o download dos artigos em PDF, CSV ou BibTeX. Os dados da Scopus foram baixados em CSV e o dados do Web of Science em BibTeX em função da restrição apresentada pela plataforma que será apresentada na sequência.

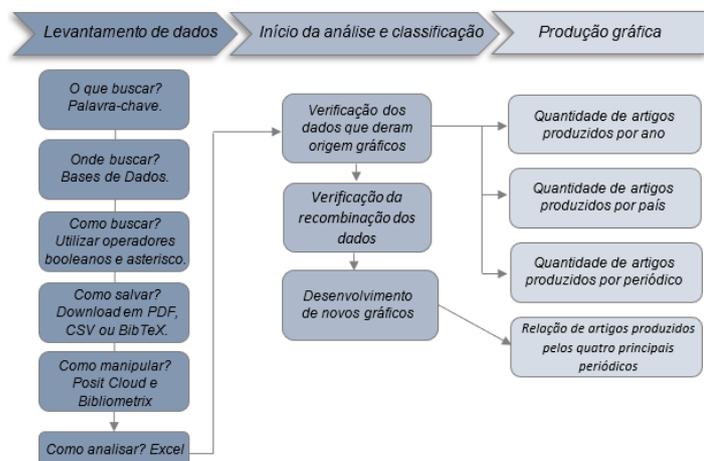
A quinta etapa (Como manipular?) corresponde a manipulação dos artigos. Após baixar as publicações das bases de dados nos formatos apresentados elas foram inseridas na plataforma Bibliometrix, uma plataforma que conta com uma extensão do software R e o pacote Biblioshiny, fornecendo ampliadas funcionalidades para análise bibliométrica (Aria; Cuccurullo, 2017). O Bibliometrix apresenta algumas possibilidades de entrada de dados, sendo as bases Scopus e Web of Science duas delas. Esta plataforma organiza diversas informações em tabelas e gráficos que podem ser exportadas no formato CSV.

A sexta e última etapa (Como analisar?) consiste na verificação dos dados e adaptação dos gráficos para apresentação das informações mais pertinentes através do software Microsoft Excel.

3. Resultados

A Figura 4 esquematiza todos os processos do mapeamento sistemático de literatura. Finalizado o levantamento de dados, deu-se início à análise e classificação. Por fim, uma série de gráficos foram produzidos. A partir da produção gráfica foi possível identificar a tendência da produção de artigos sobre utilização de termografia infravermelha para análise de manifestações patológicas em revestimento cerâmico, quais são os países e periódicos de maior destaque.

Figura 4 - Sequência dos processos do mapeamento sistemático de literatura. Fonte: autor.



Ao utilizar a *string* de busca apresentada anteriormente foram localizados 158 artigos científicos na base de dados Scopus e apenas 26 artigos científicos na base de dados Web of Science. A fim de obter gráficos e análises mais

abrangentes, optou-se por descartar o levantamento realizado na base Web of Science para a produção gráfica. Sendo assim, todos os dados apresentados na sequência são referentes aos artigos encontrados na base Scopus.

A Figura 5 revela que a área de pesquisa sobre termografia infravermelha para análise de revestimento cerâmico tem crescido desde 2000. A linha pontilhada crescente representa a linha de tendência da produção de artigos. Vale mencionar que o levantamento foi realizado em maio de 2024, por isso estima-se que até o fim do ano a produção de artigos seja consideravelmente maior quando comparada ao período anterior (2023).

A Figura 6 relaciona a produção científica ao país de origem a partir da nacionalidade dos autores. A partir desses dados, verificou-se que o país que contabiliza o maior número de publicações sobre o tema em questão é a China, com 158 artigos publicados. Na sequência estão França (82), Estados Unidos (46), Itália (44), Espanha (33) e Brasil (28).

Figura 5 – Produção de artigos de 2000 a 2024. Fonte: autor.

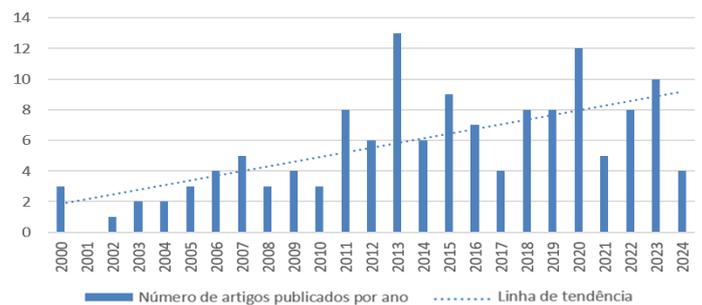


Figura 6 – Produção científica em relação aos países. Fonte: autor.



Os artigos também foram quantificados de acordo com o periódico em que foram publicados (Figura 7). Notou-se que quatro revistas se destacaram nas publicações sobre termografia infravermelha para análise de revestimento cerâmico, pois publicaram 20 artigos, enquanto os outros 138 artigos encontrados foram publicados em 88 periódicos diferentes, como pode ser observado através da Figura 8. A Figura 9 ilustra a capa das quatro principais revistas identificadas.



- ASNT. American Society for Nondestructive Testing. Nondestructive Testing Methods. 2024. Disponível em: https://www.asnt.org/MajorSiteSections/About/Discover_Nondestructive_Testing/NDT_Methods.aspx. Acesso em: 10 mai. 2024.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, 11 (4), 959-975. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>.
- BALLESTEROS, R. D.; LORDSLEEM JUNIOR, A. C. Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para inspeção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, 21(1), p. 119-137, 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000100497>. Acesso em: 28 abr. 2023.
- BAUER, E.; SOUZA, A. L. R. Failure patterns associated with facade zones and anomalies in the initiation and propagation of degradation. **Construction and Building Materials**. 347, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128563>
- BAUER, E.; CASTRO, E. K.; SILVA, M. N. B. Estimativa da degradação de fachadas com revestimento cerâmico: estudo de caso de edifícios de Brasília. 61(358), 151–159, 2015. **Revista Cerâmica**. <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613581786>
- BENTO, Brenda. Moradores escapam de acidente após queda de revestimentos de prédio no litoral de SP. **G1 Santos**. 14 jul. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2023/07/14/moradores-escapam-de-acidente-apos-queda-de-revestimentos-de-predio-no-litoral-de-sp-video.ghtml>. Acesso em: 10 mai. 2024.
- BRASIL. **Lei no. 8.078, de 11 de setembro de 1990**. Código de Defesa do Consumidor. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8078.htm.
- CCB. **Centro Cerâmico do Brasil**. Há mais de 20 anos trazendo qualidade ao setor da construção civil por todo o país! Sobre o CCB. Nossa trajetória e as perspectivas para o futuro. 2020. Disponível em: <https://www.ccb.org.br/pt/sobre-o-ccb>. Acesso em: 29 abr. 2024.
- CAPES. Guia Rápido do Portal de Periódicos CAPES.2019. Disponível em: https://www.periodicos.capes.gov.br/images/documents/Portal_Periodicos_CAPES_Guia_2019_4_oficial.pdf
- DE MELO, Sisy Brenda; DA PAZ, Rosineide Fernando; MESQUITA, Esequiel. Recent advances on infrared thermography for ceramic tiles detachments diagnosis: literature review. 9, 2024.
- ESQUIVEL, Juan Francisco Temoche. **Avaliação do uso de revestimentos cerâmicos de fachada em edifícios residenciais multifamiliares em São Paulo**: Estudo de caso região sul – 1994-1998. Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (USP) para obtenção do grau de Mestre em Estruturas Ambientais Urbanas. 2001.
- FORT, R.; FEIJOO, J.; MURIEL, M. J. Varas; NAVACERRADA, M. A.; BARBRO BARRERA, M. M.; PRIDA, D. De La. Appraisal of non-destructive in situ techniques to determine moisture- and salt crystallization-induced damage in dolostones. **Journal of Building Engineering** 53, 2022 <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104525>.
- GARRIDO, Ivan; LAGUELA, Susana; OTERO, R; ARIAS, P. Thermographic methodologies used in infrastructure inspection: A review – Pos processing procedures. **Applied Energy** 266, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114857>.
- GARRIDO, Iván; BARREIRA, Eva; ALMEIDA, Ricardo; LAGUELA, Susana. Introduction of active thermography and automatic defect segmentation in the thermographic inspection of specimens of ceramic tiling for building façades. **Infrared Physics and Technology**. 121, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2021.104012>.
- GOMIDE, Tito Lívio Ferreira. Engenharia Diagnóstica: Novos Estudos. **Instituto de Engenharia**. 2017. Disponível em: <https://www.institutodeengenharia.org.br/site/wp-content/uploads/2017/10/arqnot10706.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2023.
- GOMIDE, Tito Lívio Ferreira; GULLO, Marco Antonio.; NETO, Jerônimo Cabral P. F.; FLORA, Stella Marys D. **Inspeção predial total**. Oficina de Textos. 3ª edição. ISBN: 978-85-7975-343-5. 2020.
- GROSSI, Marcos Vinícius Fernandes. **Inspeção e recebimento de obras**: edificações habitacionais. 1ª ed. Editora Leud, São Paulo. 2021.
- LORENZI, Alexandre; REGINATO, Luciani; FILHO, Luiz. Emprego de ensaios não destrutivos para inspeção de estruturas de concreto. *Revista de Engenharia Civil IMED*. 3(1), 3-13, 2016. DOI: 10.18256/2358-6508/rec-imed.v3n1p3-13.
- MELO, Reymard. S. S., GRANJA, Ariovaldo. D., & BALLARD, Glenn. (2013). Collaboration to extend target costing to non-multi-party contracted projects: Evidence from literature. 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2013, IGLC 2013, 21–30.



- PACHECO, C. P.; VIEIRA, G. L. Análise quantitativa e qualitativa da degradação das fachadas com revestimento cerâmico. **Revista Cerâmica**. 2017, 432-445. <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132017633682156>
- PESCARI, Simon; BUDAU, Laurentiu; VILCEANU, Clara Beatrice. Rehabilitation and restauration of the main façade of historical masonry building –Romanian National Opera Timisoara. **Case Studies in Construction Materials** 18, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e01838>
- PESSANHA, D. F.; ALEXANDRE, J.; LIMA, J. A. P.; AZEVEDO, A. R. G.; ZANELATO, E. B. Ensaio não destrutivo em revestimento cerâmico utilizando um protótipo para detecção de patologia. **Revista Matéria**. 24(4), 2019. DOI: 10.1590/s1517-707620190004.0835
- PEZZATO, L. M. **Patologias no sistema de revestimento cerâmico**: um estudo de caso em fachadas. 2010. 162f. Dissertação (Mestrado) - Escola Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. Disponível: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-30042010-101558/publico/leila_pezzato.pdf. Acesso em: 05 out. 2023.
- RUIZ, Joyce. D. A., & GRANJA, Ariovaldo D. (2013). Um mapeamento sistemático da literatura sobre a relação entre valor e colaboração na construção. SIBRAGEC - Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, Inovação e Sustentabilidade, 1, 14.
- ROCHA, P.; TANCREDI, T.; MENNA, M. 282 quantificação, avaliação e levantamento de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachadas. **EURO ELECS**. 2017.
- SARAIVA, Iury.; OLIVEIRA, Maria; LEITE, Guilherme; ANDRADE, Elysson. Manifestações Patológicas em Revestimentos Cerâmicos de Fachadas: Uma Revisão Bibliográfica." **IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering**. (IOSR-JMCE), 18(3), 2021, 01-09. DOI: 10.9790/1684-1803030109.
- TANAKA, Diandra.; PAVON, Elier. Influência das dimensões dos descolamentos de revestimentos cerâmicos na avaliação com termografia de infravermelho. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, 21(3), 133-146, 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000300542>.
- TEJEDOR, Blanca; LUCCHI, Elena; HUERTAS, David; NARDI, Iole. Non-destructive techniques (NDT) for the diagnosis of heritage buildings: Traditional procedures and futures perspectives. **Energy & Buildings**. 263, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112029>.
- VARELLA, L.; SAHADE, R.; TEIXEIRA, E. TECSIS - 2017. **Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos**. 2017.
- WEB OF SCIENCE. 2020. Ajuda. Clarivate Analytics. Disponível em: https://images.webofknowledge.com/WOKRS534DR1/help/pt_BR/WOS/hs_search_operators.html. Acesso em: 10 mai. 2024.
- WONG, Chung Wan. **Applications of Non-destructive Tests for Diagnosis of Heritage Buildings**: Case Studies from Singapore and Malaysia. 2019.



PRODUÇÃO DE CONCRETOS PERMEÁVEL UTILIZANDO AGREGADOS RECICLADOS

Prof.^a Dr.^a Lia Lorena Pimentel¹, Arturo Santiago Contreras Montilla²

1. Programa de Pós Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana – POSINFRA – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, liaalp@puc-campinas.edu.br

2. Colégio de Aplicação Pio XII, asc.montilla@mail.com

Resumo:

O estudo é uma pesquisa de tipo bibliográfica que investiga a utilização de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição (RCD) na produção de concreto permeável, com o objetivo de avaliar a relação entre o coeficiente de permeabilidade e a resistência à compressão. Motivada pela crescente geração de RCD no Brasil, que ultrapassa 24 milhões de toneladas anualmente, a pesquisa busca soluções sustentáveis para a impermeabilidade do solo nas áreas urbanas. A metodologia adotada consiste em uma revisão abrangente da literatura, analisando resumos expandidos de Iniciações Científicas desenvolvidos entre 2015 e 2020. O estudo examina as características dos agregados reciclados e sua influência no desempenho do concreto permeável. Os resultados indicam que o uso de agregados reciclados pode melhorar o coeficiente de permeabilidade do concreto, embora a resistência à compressão diminua, alcançando uma resistência máxima de 13,75 MPa, em comparação com 21,8 MPa do agregado natural. Esses achados sugerem que, apesar das limitações em áreas sujeitas a cargas elevadas pela baixa resistência à compressão do material, o concreto permeável com agregados reciclados representa uma alternativa viável para a gestão sustentável de resíduos e a mitigação de problemas de drenagem urbana.

Palavras-chave: Concreto Permeável, Agregados Reciclados, Resíduos de Construção e Demolição (RCD).

1. Introdução

A crescente importância da gestão de resíduos de construção e demolição (RCD) está intrinsecamente ligada ao compromisso global com o desenvolvimento sustentável. A Agenda 2030 da ONU, um plano de ação para o desenvolvimento sustentável, inclui 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Dentre esses objetivos, destaca-se o ODS 11: “Cidades e Comunidades

Sustentáveis”, que visa à acessibilidade, inclusão e sustentabilidade das áreas urbanas.

O concreto, como o segundo material mais consumido no mundo após a água, desempenha um papel crucial na construção civil. No entanto, enfrentamos um desafio significativo relacionado ao descarte de resíduos. Somente no sudeste do Brasil, mais de 24 milhões de toneladas de RCD são geradas anualmente, conforme dados da ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) em 2021.

Uma abordagem sustentável para lidar com esses resíduos é a utilização de agregados reciclados provenientes do RCD na produção de concreto. Essa prática não apenas reduz o desperdício, mas também contribui para a mitigação dos impactos ambientais. Os resíduos de construção e demolição que podem ser reutilizados como “classe A” (conforme a ABNT NBR-15116:2021) incluem componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas), argamassa, concreto e peças de pré-moldagem.

Além disso, o desenvolvimento urbano atual enfrenta outro desafio: a impermeabilidade do solo nas áreas urbanas. O uso extensivo de asfalto, calçamento de ruas e edificações impede a infiltração natural da água, sobrecarregando os sistemas de drenagem. Um exemplo local é a Avenida Princesa do Oeste, em Campinas, onde

chuvas intensas causam enchentes perigosas devido à inadequada capacidade de drenagem.

Uma solução viável é a implementação de concreto permeável, que permite a infiltração da água no solo. Isso reduz o risco de enchentes e contribui para a sustentabilidade urbana. Além disso, o uso de agregado reciclado para esse concreto permeável possibilita a reutilização sustentável das milhões de toneladas anuais de resíduos gerados na construção civil.

Este estudo visa explorar as características dos agregados reciclados de RCD para uso em concreto



permeável. Buscamos encontrar a melhor relação entre o coeficiente de permeabilidade e a resistência à compressão, a fim de viabilizar sua aplicação em áreas urbanas. A pesquisa baseia-se em revisão bibliográfica de resumos expandidos de Iniciações Científicas desenvolvidas entre 2015 e 2020, incluindo a dissertação de Oliveira (2017) e outros pesquisadores.

A estrutura deste artigo inclui uma breve exposição metodológica, comparação dos resultados encontrados e conclusões finais.

2. Metodologia

Este estudo adota uma abordagem de **pesquisa bibliográfica** para investigar a utilização de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição (RCD) no concreto permeável. A metodologia envolveu os seguintes passos:

Definição do Escopo: Inicialmente, delimitamos o escopo da pesquisa, concentrando-nos na relação entre o coeficiente de permeabilidade e a resistência à compressão dos agregados reciclados.

Revisão Bibliográfica: Realizamos uma revisão abrangente da literatura, examinando resumos expandidos de Iniciações Científicas desenvolvidas entre 2015 e 2020. Além disso, consultamos dissertações, artigos científicos e outras fontes relevantes para obter informações sobre as características dos agregados reciclados e sua aplicação no concreto permeável.

Análise Comparativa: Com base nos dados coletados na revisão bibliográfica, realizamos uma análise comparativa das propriedades dos diferentes tipos de agregados reciclados. Isso nos permitiu identificar tendências e correlações relevantes.

Interpretação dos Resultados: Interpretamos os resultados da análise e discutimos suas implicações para a viabilidade e eficácia dos agregados reciclados no contexto do concreto permeável.

3. Resultados

Correlações entre algumas propriedades

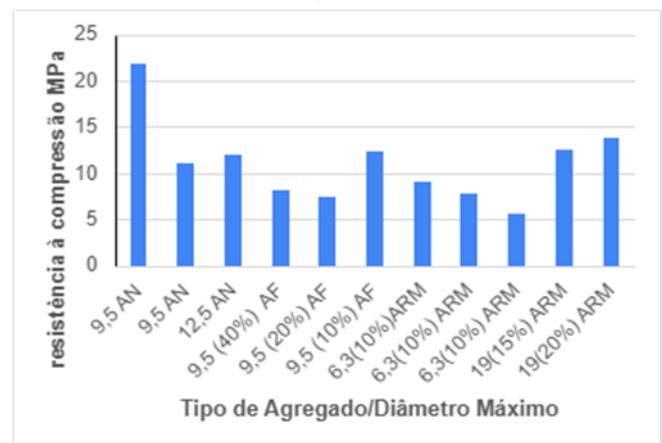
A figura 1 correlaciona o tipo de agregado e o diâmetro máximo com a resistência à compressão do concreto. Conforme mostrado no gráfico, o agregado reciclado de maior porcentagem de substituição e diâmetro maior (ARM) apresenta a melhor resistência à

compressão. Em comparação, o agregado fino (AF) alcança uma resistência semelhante à do ARM, mas apenas quando a porcentagem de substituição é menor.

Tabela 1 Tipo de agregado/diâmetro máximo X resistência à compressão

Diâ.Máximo(mm)	Resistência à compressão (MPa)
9,5 AN	21,8
9,5 AN	11
12,5 AN	11,95
9,5 (40%) AF	8,2
9,5 (20%) AF	7,4
9,5 (10%) AF	12,4
6,3(10%)ARM	9,05
6,3(10%) ARM	7,85
6,3(10%) ARM	5,56
19(15%) ARM	12,44
19(20%) ARM	13,75

Figura 1 Tipo de agregado/diâmetro máximo X resistência à compressão



O agregado reciclado com a maior porcentagem de substituição (ARM) apresenta melhor resistência à compressão, quando possui um diâmetro maior. Por outro lado, outros agregados recicláveis, como o Fresado asfáltico (AF), apresenta melhor resistência com porcentagem de substituição menor, devido à sua fragilidade.

A figura 2 ilustra a relação entre o índice de vazios e a resistência à compressão. Observa-se que o

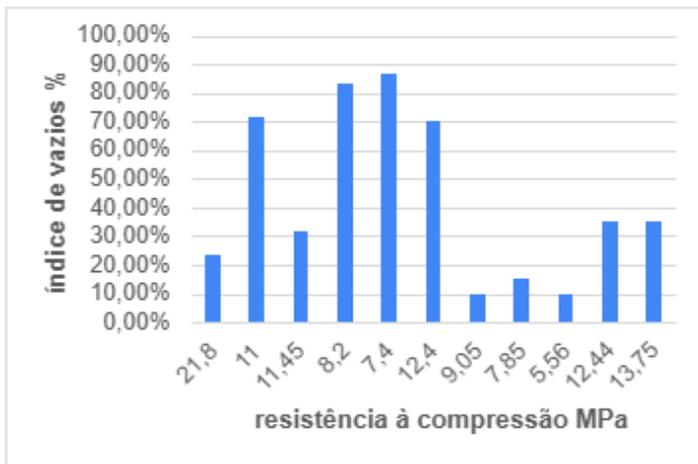


ARM. com média de 35% de índice de vazios apresenta uma resistência à compressão superior em comparação aos outros corpos de prova que também utilizam agregado reciclável.

Tabela 2 Índice de vazios X resistência à compressão

Diâ.Máximo(mm)	Índice de Vazios	Resistência à compressão (MPa)
9,5 AN	23,30%	21,8
9,5 AN	71,30%	11
12,5 AN	31,70%	11,45
9,5 (40%) AF	83,30%	8,2
9,5 (20%) AF	86,60%	7,4
9,5 (10%) AF	70%	12,4
6,3(10%)ARM	10%	9,05
6,3(10%) ARM	15%	7,85
6,3(10%) ARM	10%	5,56
19(15%) ARM	35,10%	12,44
19(20%) ARM	34,90%	13,75

Figura 2 Índice de vazios X resistência à compressão



O corpo de prova com índice de vazios de 35% com ARM apresentou a maior resistência de todos os corpos de prova com substituição de agregado reciclado. Mas essa resistência ainda era 60% inferior aos 21,8 MPa do agregado natural.

A figura 3 apresenta uma comparação entre traços de concreto e sua resistência à compressão. Embora os traços que utilizam agregado reciclado mostrem resistência inferior, o traço ARM 1:4,5 com relação

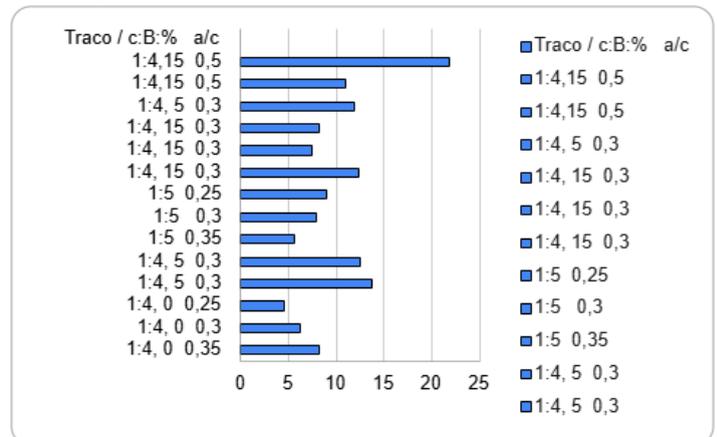
água/cimento de 0,3 destaca-se com os melhores resultados entre ele.

Observa-se melhores resultados na resistência com o traço 1:4,5 com 0,3, isto porque os agregados reciclados geralmente têm uma maior quantidade de poros em comparação com agregados naturais. Quando a relação água-cimento é menor, há menos água disponível para preencher esses poros, resultando em uma menor porosidade no concreto endurecido. Isso melhora a resistência à compressão. Além de melhorar a integração entre o agregado e a matriz do concreto causando uma estrutura mais resistente.

Tabela 3 traços de concreto X resistência à compressão

Traço / c:B:% a/c	resistência à compressão (MPa)
1:4,15 0,5 AN	21,8
1:4,15 0,5 AN	11
1:4, 5 0,3 AN	11,95
1:4, 15 0,3 AF	8,2
1:4, 15 0,3 AF	7,4
1:4, 15 0,3 AF	12,4
1:5 0,25 ARM	9,05
1:5 0,3 ARM	7,85
1:5 0,35 ARM	5,56
1:4, 5 0,3 ARM	12,44
1:4, 5 0,3 ARM	13,75
1:4, 0 0,25 ARM	4,61
1:4, 0 0,3 ARM	6,24
1:4, 0 0,35 ARM	8,22

Figura 3 traços de concreto X resistência à compressão



Também foi relacionado a característica do material com sua permeabilidade. Ulloa-Mayorga et al.



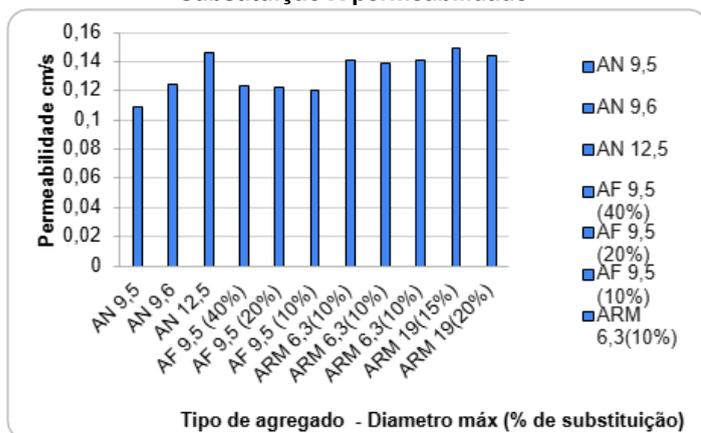
(2018) e Tavares e Kazmierczak (2016) e Vinicius.C (2021) observaram nas suas pesquisas valores superiores de coeficiente de permeabilidade para concretos com agregados reciclados.

Na Figura 4, compara-se o tipo de agregado, o diâmetro máximo e a porcentagem de substituição com a permeabilidade do concreto. Observa-se uma melhora na permeabilidade no concreto com agregados reciclados (ARM). O agregado reciclado possui como característica física uma menor resistência mecânica, mas apresenta boa absorção de água, o que resulta em um melhor coeficiente de permeabilidade.

Tabela 4 tipo de agregado/diâmetro máximo/% de substituição X permeabilidade

Tipo de agregado/Diâ.Máximo(mm)/%Sub	Permeabilidade cm/s
AN 9,5	0,109
AN 9,6	0,125
AN 12,5	0,146
AF 9,5 (40%)	0,124
AF 9,5 (20%)	0,122
AF 9,5 (10%)	0,12
ARM 6,3(10%)	0,141
ARM 6,3(10%)	0,139
ARM 6,3(10%)	0,141
ARM 19(15%)	0,149
ARM 19(20%)	0,144

Figura 4 tipo de agregado/diâmetro máximo/% de substituição X permeabilidade



Amostras com ARM mostram coeficientes de permeabilidade mais altos, como pode ser observado. Vinicius C. (2021) também afirma que o agregado

reciclado produz coeficientes de permeabilidade mais altos. Os resultados do AF neste caso não foram surpreendentemente altos. Isso pode ser atribuído ao fato de que os poros do corpo de prova foram entupidos durante o processo de compactação, o que dificultou a passagem da água no teste de permeabilidade.

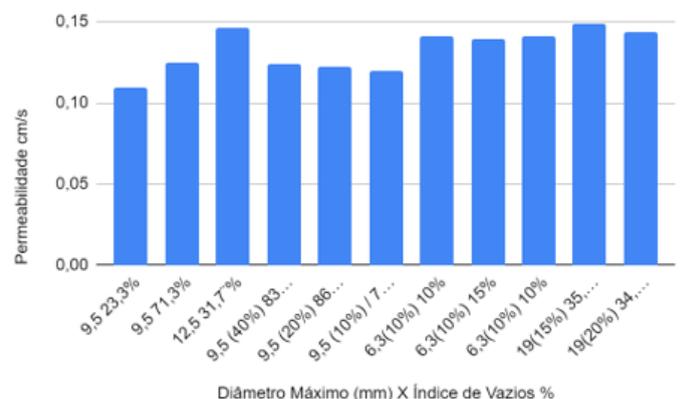
No entanto, o agregado reciclado (AF) continua apresentando alta permeabilidade como característica do material, enquanto o agregado natural obtém sua permeabilidade devido à sua granulometria. Ulloa-Mayorga et al. (2018) e Tavares e Kazmierczak (2016) também observaram valores superiores de absorção de água em agregados reciclados, conforme mostrado no gráfico.

Na Tabela 5e, apresenta-se a relação entre o diâmetro máximo e o índice de vazios com a permeabilidade. Observa-se, assim como na figura anterior, que o agregado reciclado possui maior permeabilidade. No caso do agregado natural, a permeabilidade se iguala à do agregado reciclado apenas quando possui granulometria de 12,5 mm.

Tabela 5 diâmetro máximo/índice de vazios X permeabilidade

Diâ.Máximo(mm)/Índice de Vazios	Permeabilidade cm/s
9,5 23,3%	0,109
9,5 71,3%	0,125
12,5 31,7%	0,146
9,5 (40%) 83,3%	0,124
9,5 (20%) 86,6%	0,122
9,5 (10%) / 70%	0,120
6,3(10%) 10%	0,141
6,3(10%) 15%	0,139
6,3(10%) 10%	0,141
19(15%) 35,1%	0,149
19(20%) 34,9%	0,144

Figura 5 Diâmetro máximo/índice de vazios X permeabilidade





A permeabilidade está diretamente relacionada ao índice de vazios. Amostras com granulometria maior tendem a ter um índice de vazios mais elevado, resultando em maior permeabilidade. Por exemplo, o ARM com granulometria de 19 mm apresenta uma permeabilidade 73% superior à do AN com granulometria de 9,5 mm. No entanto, o AN com granulometria de 12,5 mm, ao aumentar o tamanho dos poros entre as partículas, permite um fluxo de água mais elevado, igualando sua permeabilidade à do ARM sob essas condições.

4. Considerações Finais

A partir da pesquisa bibliográfica e da comparação dos resultados, foram obtidas as seguintes observações:

Assim como Vinicius.C (2021) demonstrou, o agregado reciclado apresenta coeficiente de permeabilidade superior em comparação com o agregado natural. A alta absorção de água do agregado reciclado contribui para essa superioridade no coeficiente de permeabilidade.

No entanto, o agregado natural possui maior resistência à compressão, atingindo 21,8 MPa, enquanto o agregado reciclado, com 20% de substituição de agregado reciclado miúdo (ARM), alcançou uma resistência máxima de 13,75 MPa. Essa diferença de 37% impede a utilização de concreto permeável com agregado reciclado em áreas sujeitas a cargas elevadas.

Dentre os agregados recicláveis, observou-se que o ARM com menor índice de vazios apresentou melhor resistência, enquanto o agregado fino (AF) precisou de 70% de índice de vazios para atingir 12,4 MPa, 44% inferior ao agregado natural.

Além disso, constatou-se que os agregados reciclados (AF e ARM) apresentaram coeficientes de permeabilidade superiores ao limite estipulado pela norma brasileira (0,001 cm/s). Portanto, o uso de concreto com agregado reciclável é uma opção sustentável para sistemas de drenagem urbana. No entanto, devido à baixa resistência à compressão, recomenda-se sua aplicação em áreas como calçadas, para evitar danos ao material e dificultar a passagem da água

Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15116. Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. ABNT, Rio de Janeiro, 2021.

BATEZINI, R., BALBO, J. T., Estudo da Condutividade Hidráulica com Carga Constante e Variável em Concretos Permeáveis, *Revista IBRACOM de Estruturas e Materiais* Volume 8, Number 3 (June 2015) p. 248-259.

DE PAULA, O. F.; PIMENTEL, L. L. CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO PERMEÁVEL - DOSAGEM 1:4,0 COM AGREGADOS RECICLADOS E FIBRAS Anais do XXV Encontro de Iniciação Científica e do X Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, 29 e 30 de setembro de 2020.

FERNANDES FILHO, V. E.; PIMENTEL, L. L. AVALIAÇÃO HIDRÁULICA E MECÂNICA DE PISOS DE CONCRETO PERMEÁVEL ELABORADOS COM AGREGADOS DE RCD Anais do XXII Encontro de Iniciação Científica e do VII Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, 19 e 20 de setembro de 2017.

GONÇALVES, B. F.; PIMENTEL, L. L. CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO PERMEÁVEL – DOSAGEM DE 1:4,5 COM AGREGADOS RECICLADOS E FIBRAS. Anais do XXV Encontro de Iniciação Científica e do X Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, 29 e 30 de setembro de 2020.

KERTIS, T. B.; BARBOSA, M. P. AVALIAÇÃO DA PERMEABILIDADE E DA QUALIDADE DA ÁGUA EM PISOS DE CONCRETO PERMEÁVEL COM E SEM AGREGADOS DE RESÍDUOS DE FRESADO ASFÁLTICO. Anais do XXI Encontro de Iniciação Científica e do VI Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação – ISSN 2237-0420 20 e 21 de setembro de 2016

OLIVEIRA, L. C. B. ANÁLISE DA PERMEABILIDADE E DA COLMATAÇÃO EM CONCRETOS PERMEÁVEIS COM AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO Dissertação apresentada ao Programa de mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana da PUC Campinas, 2017

PEREIRA, K. K.; BARBOSA, M. P. DESENVOLVIMENTO DE COMPOSIÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL COM AGREGADOS ORIUNDOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL DA REGIÃO DE CAMPINAS Anais do XX Encontro de Iniciação Científica e do V Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação – ISSN 2237-0420 22 e 23 de setembro de 2015

QUADRELLI, A. C.; BARBOSA, M. P. DESENVOLVIMENTO DE COMPOSIÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL COM AGREGADOS ORIUNDOS DE FRESADOS ASFÁLTICOS Anais do XX Encontro de Iniciação Científica e do V Encontro de



Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação -
22 e 23 de setembro de 2015

STORARI, T. M.; PIMENTEL, L. L. CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO PERMEÁVEL – DOSAGEM 1:5,0 COM AGREGADOS RECICLADOS E FIBRAS Anais do XXV Encontro de Iniciação Científica e do X Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, 29 e 30 de setembro de 2020.

SUMITOMO, G. de S.; PIMENTEL, L. L. CONCRETO COM AGREGADO RECICLADO E ADIÇÃO DE FIBRAS – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS. Anais do XXIII Encontro de Iniciação Científica e do VIII Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação – 25 e 26 de setembro de 2018

SUMITOMO, G. de S.; PIMENTEL, L. L. PAVIMENTOS DE CONCRETO PERMEÁVEL – AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE COLMATAÇÃO Anais do XXIV Encontro de Iniciação Científica e do IX Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação –24 a 26 de setembro de 2019

VIDAL, A. dos S. *Caracterização de Concreto Permeável Produzido com Agregados Reciclados de Construção e Demolição para Utilização em Pavimentação Permeável em Ambiente Urbano*, Dissertação Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

VÍNICIUS, C. *Estudo de concreto permeável de cimento portland com agregado reciclado*, Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia, 2021.



SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E PAGAMENTOS POR SERVIÇOS AMBIENTAIS: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA ENTRE 2002 E ABRIL DE 2024 NA BASE DE DADOS ELSEVIER (SCOPUS).

Danielle de Sousa Cordeiro¹, Ediane de Santana Assis², Denise Helena Lombardo Ferreira³, Regina Márcia Longo⁴

1. Engenheira Ambiental e Sanitarista, danielle.sc3@pucampinas.edu.br, PUC-Campinas

2. Engenheira Ambiental e Sanitarista, ediane.assis15@gmail.com, PUC-Campinas

3. Prof.(a) Dr.(a), lombardo@puc-campinas.edu.br, PUC-Campinas

4. Prof.(a) Dr.(a), regina.longo@puc-campinas.edu.br, PUC-Campinas

Resumo: Este estudo concentra-se na revisão bibliográfica da literatura existente, adotando uma abordagem abrangente e confiável para analisar os trabalhos já realizados sobre um tema específico. O foco principal recai sobre áreas emergentes como serviços ecossistêmicos e pagamento por serviços ambientais (PSA). Estes temas investigam como os seres humanos se beneficiam da natureza e como é possível proteger o meio ambiente. A compreensão da literatura existente é crucial, pois permite aprender com estudos anteriores, descobrir novas ideias e identificar informações confiáveis. Isso, por sua vez, contribui para a realização de pesquisas mais robustas e para a tomada de decisões mais informadas em relação à conservação ambiental. O objetivo deste estudo é realizar uma avaliação quantitativa do estado da arte sobre os temas de PSA e serviços ecossistêmicos. A análise foi realizada utilizando a base de dados Scopus, cobrindo produções de diversos países entre 2002 e abril de 2024. Observou-se uma tendência de crescimento na produção de literatura voltada para esses temas, com destaque para a China como líder mundial na produção científica e o Brasil como principal contribuidor na América do Sul.

Palavras-chave: Revisão bibliográfica da literatura, Pagamentos por serviços ambientais, Serviços ecossistêmicos.

1. Introdução

Revisar a literatura científica significa analisar o que já foi estudado sobre um assunto específico. Existem diferentes maneiras de fazer isso. Uma delas é a revisão sistemática, que organiza muitos documentos de forma lógica e quantitativa. Ela busca s estudos disponíveis sobre um tema, usando métodos claros e avaliando a qualidade deles (Galvão; Pereira, 2014).

Comparada à revisão tradicional, a revisão bibliográfica é a mais completa, transparente e confiável. Ela responde a perguntas específicas de pesquisa e pode ser repetida por outros pesquisadores (Bertolozzi; De-la-Torre- Ugarte-Guanilo; Takahashi, 2011).

Ter conhecimento das referências da literatura é muito importante, especialmente em áreas novas como serviços ecossistêmicos e pagamento por serviços ambientais. Esses temas abordam como os humanos se beneficiam da natureza e como podem protegê-la (Leitão; Silva, 2022).

Os serviços ecossistêmicos representam os benefícios que os seres humanos obtêm dos ecossistemas, como a polinização, a regulação do clima e a purificação da água. O PSA, por sua vez, é um mecanismo econômico que reconhece e compensa os provedores de serviços ecossistêmicos pela conservação e fornecimento desses serviços. Ambos os conceitos têm implicações significativas para a gestão sustentável dos recursos naturais e a conservação da biodiversidade (Muñoz; Freitas, 2017).

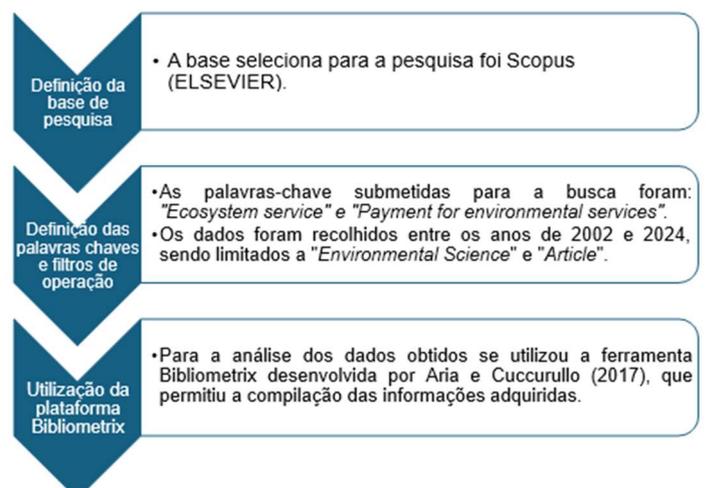
Ao ler essas referências, podemos aprender com estudos anteriores, encontrar novas ideias e saber quais informações são confiáveis. Isso nos ajuda a fazer pesquisas melhores e a tomar decisões mais informadas para cuidar do nosso ambiente.

O presente estudo tem como objetivo realizar uma avaliação quantitativa do estado da arte sobre os temas de pagamentos por serviços ambientais (PSA) e serviços ecossistêmicos em uma base de dados com produções de diversos países e apresentar dados visuais além de apresentar uma discussão sobre a importância da revisão da literatura.

2. Metodologia

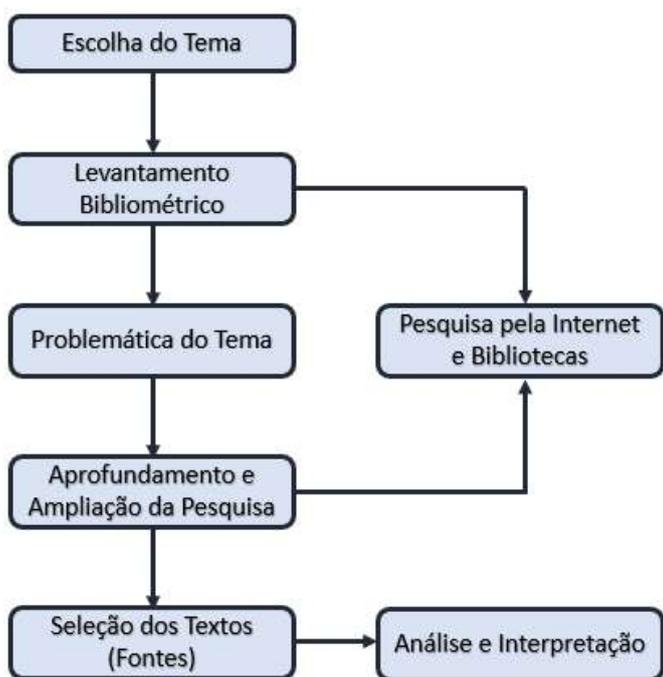
A metodologia foi desenvolvida a partir da análise quantitativa de artigos selecionados que estão relacionados ao tema de interesse. Para a obtenção dos dados foi aplicado as etapas da **Figura 1**:

Figura 1 - Método aplicado para a obtenção dos dados avaliados no trabalho.



Para Gil (1999), o método científico é um conjunto de procedimentos intelectuais e técnicos utilizados para atingir o conhecimento. Para que seja considerado conhecimento científico, é necessária a identificação dos passos para a sua verificação, ou seja, determinar o método que possibilitou chegar ao conhecimento. Segundo o autor, já houve época em que muitos entendiam que o método poderia ser generalizado para todos os trabalhos científicos. Os cientistas atuais, no entanto, consideram que existe uma diversidade de métodos, que são determinados pelo tipo de objeto a pesquisar e pelas proposições a descobrir. Eco (1977) complementa dizendo que, ao fazer um trabalho científico, o pesquisador estará aprendendo a colocar suas ideias em ordem, no intuito de organizar os dados obtidos. Sendo o objetivo de um trabalho científico atender a um determinado propósito pré-definido, o uso de um método específico torna-se essencial para garantir o alcance do que foi planejado. As etapas de desenvolvimento deste presente estudo encontram-se na **Figura 2**.

Figura 2 - Etapas do desenvolvimento do estudo



Fonte: Elaboração própria

Na pesquisa quantitativa, a determinação da composição e do tamanho da amostra é um processo no qual a estatística tornou-se o meio principal. Como, na pesquisa quantitativa, as respostas de alguns problemas podem ser inferidas para o todo, então, a amostra deve ser muito bem definida; caso contrário, podem surgir problemas ao se utilizar a solução para o todo (MALHOTRA, 2001). Apresenta-se um panorama dos artigos científicos que abordam o instrumento econômico PSA. Este panorama inclui informações sobre dados bibliográficos e geográficos (origem) dos artigos, bem como sobre as características

dos casos de PSA estudados, metodologias empregadas e formas de condução das pesquisas. Para orientar a busca desses artigos, foram formuladas perguntas norteadoras, tais como: Qual a relevância das pesquisas sobre PSA? Quais instituições são responsáveis pelo desenvolvimento das pesquisas sobre PSA? Existe uma tendência no número de publicações por ano ou no periódico escolhido para publicação? Em quais países o PSA está sendo mais estudado? As pesquisas referentes ao PSA estudados estão relacionados a quais temas? Com base nessas perguntas, foram definidos os termos de busca e os critérios de elegibilidade dos trabalhos (PULLIN; STEWART, 2006; CEE, 2018).

3. Resultados

Durante o período de 2002 a 2024, foram selecionados um total de 1236 artigos, conforme demonstrado na **Tabela 1**:

Tabela 1 - Principais informações obtidas na análise de dados.

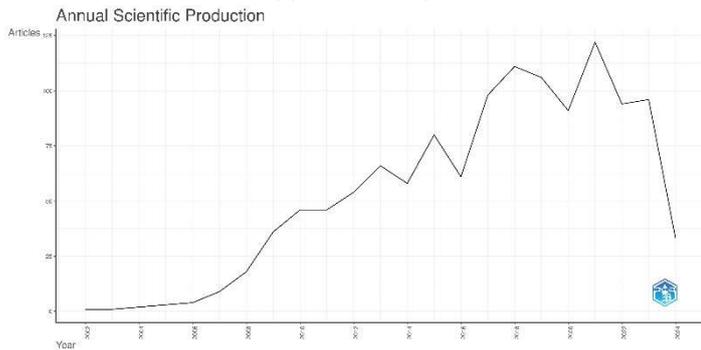
Descrição	Resultados
Intervalo de tempo	2002:2024
Fontes	249
Documentos	1236
Taxa de crescimento anual (%)	17,23
Idade média dos documentos	6,87
Média de citação por documentos	36,75
Referências	65422
Conteúdo do documento	Resultados
Palavras-chaves	4350
Palavras-chaves do Autor	3359
Autores	3965
Autores com documentos de autoria única	94
Colaboração entre autores	Resultados
Documentos com autoria única	110
Co-Autores por documentos	4,19
Percentual de co-autoria internacional	38,67
Tipos de documentos	Resultados
Artigos	1236

Fonte: Elaboração própria

Dentre os 1236 documentos analisados destacam-se as variadas fontes, e a alta taxa de crescimento anual e o grande valor de referências presentes nos trabalhos analisados. Quanto à produção científica anual é possível observar que há um aumento regular de artigos que debatem os temas de serviços ecossistêmicos e pagamentos por serviços ambientais, sendo que entre 2002 e 2024 a produção de artigos era quase nula e durante o passar dos anos há um crescimento constante do interesse científico em tais áreas. Conforme a **Figura 3** é possível constatar que o topo da produção ocorreu entre 2021 e 2022, o que demonstra a atualidade do tema.



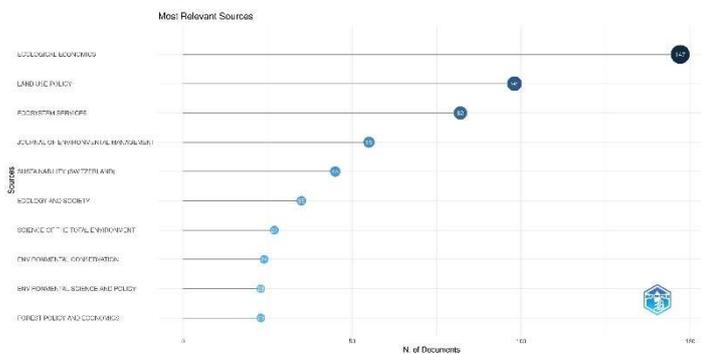
Figura 3 - Produção científica anual entre 2002 e abril 2024.



Fonte: Elaboração própria

Na **Figura 4** apresenta as 10 fontes internacionais mais relevantes.

Figura 4 - Fontes mais relevantes.

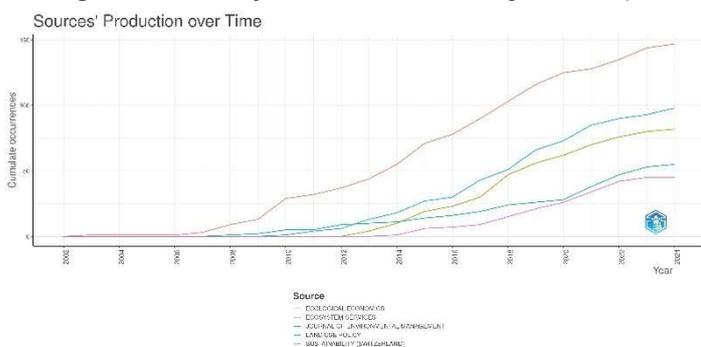


Fonte: Elaboração própria

O periódico “Ecological Economics” destaca-se como o maior produtor de literatura relacionado ao tema com 147 artigos publicados entre 2002 e abril 2024, já o periódico “Land Use Policy” ocupa a segunda posição com 98 artigos e “Ecosystem Services” com 82 publicações.

Já a **Figura 5** indica a produção das fontes mais relevantes entre o período de 2002 a abril 2024. Durante esse intervalo de tempo, observou-se um aumento significativo na produção de informações por essas fontes, abrangendo diversos tópicos e áreas de interesse.

Figura 5 - Produção das fontes ao longo do tempo.

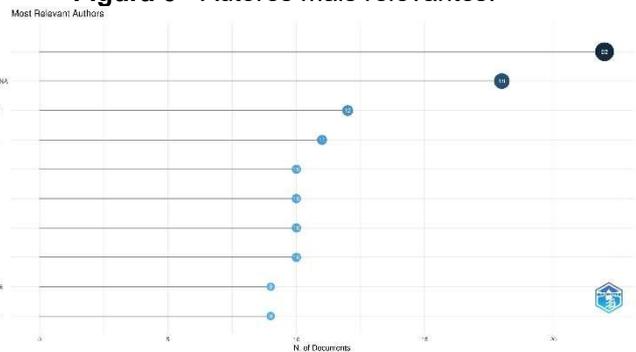


Fonte: Elaboração própria

Segundo os dados obtidos o padrão de crescimento das fontes mais importantes é similar ao padrão de crescimento anual, porém a revista “Ecological Economics” destaca-se não só como a fonte com mais literatura sobre o tema, mas também como a que mais produziu artigos ao longo do tempo. Vale destacar ainda que a linha de tendência vem aumentando com indicadores de crescimento entre 2023 e abril de 2024.

Ainda sobre as maiores contribuições, temos na **Figura 6** os autores mais relevantes e com maior número de publicações. Em primeiro lugar está o pesquisador alemão Sven Wunder, com 22 artigos publicados, em seguida a alemã Bettina Matzorf com 18 artigos, e em terceiro lugar o chinês Chen Xiaodong.

Figura 6 - Autores mais relevantes.



Fonte: (Aria; Cuccurullo, 2017)

A **Figura 7** ilustra os termos que mais se destacam na literatura sobre o tema. Dos quase 50 tópicos, os que mais aparecem são: Ecosystem service (serviço ecossistêmico), Environmental economics (valoração ambiental), Biodiversity (biodiversidade) e Ecosystems (ecossistemas).

Figura 7 - Nuvem de palavras.



Fonte: (Aria; Cuccurullo, 2017)

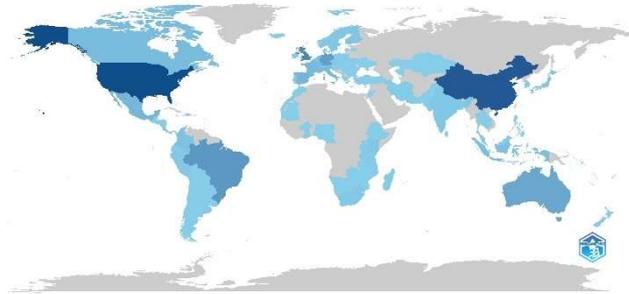
Na **Figura 8** são apresentadas as produções científicas entre os países, sendo que Estados Unidos e China ocupam posições de destaque (azul escuro no mapa), disso o tema tem ganhado destaque na América do Sul, sendo o Brasil o maior produtor de literatura voltada ao assunto. Na Europa os países de destaque são Alemanha e Reino



Unido; Na Oceania o maior produtor é a Austrália. Na África, países de maior destaque estão na região subsaariana.

Figura 8 - Produção científica entre países.

Country Scientific Production



Fonte: Elaboração própria

4. Discussão

4.1. Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA)

Daily (1997) foi um dos primeiros autores a definir serviços ecossistêmicos (SEs) como “os serviços prestados pelos ecossistemas naturais e as espécies que os compõem, na sustentação e preenchimento das condições de permanência da vida humana na Terra.”. Um conceito muito similar a este, apresentado pela Avaliação Ecossistêmica do Milênio (Millenium Ecosystem Assessment, MEA, 2005), é o mais utilizado atualmente e define serviços ecossistêmicos como “os benefícios que o ser humano obtém dos ecossistemas”.

A expressão ‘serviços ambientais’ (SA) foi introduzida pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) em seu relatório “State of Food and Agriculture” (FAO, 2007). Nesse contexto, os serviços ambientais são considerados um subconjunto dos serviços ecossistêmicos que podem ser gerados como externalidades positivas das atividades humanas. Um exemplo disso ocorre quando sistemas de produção agropecuária, além de fornecer alimentos, fibras ou energia, também contribuem para a manutenção da qualidade da água e do solo, a beleza cênica ou a preservação de espécies.

A Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (Lei nº 14.119/2021) foi recentemente sancionada pelo governo brasileiro. Essa lei é de extrema importância para o avanço do desenvolvimento sustentável do país, pois estabelece um diálogo e alinhamento entre a agricultura e o meio ambiente. Além disso, ela segue o exemplo de diversos países da América Latina que já possuem legislação para regulamentar e orientar os Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA). Essa Política institui que Pagamento por Serviços Ambientais, podem ser classificados nas seguintes modalidades:

a) serviços de provisão: os que fornecem bens ou produtos ambientais utilizados pelo ser humano para consumo ou comercialização, tais como água, alimentos, madeira, fibras e extratos, entre outros;

b) serviços de suporte: os que mantêm a perenidade da vida na Terra, tais como a ciclagem de nutrientes, a decomposição de resíduos, a produção, a manutenção ou a renovação da fertilidade do solo, a polinização, a dispersão de sementes, o controle de populações de potenciais pragas e de vetores potenciais de doenças humanas, a proteção contra a radiação solar ultravioleta e a manutenção da biodiversidade e do patrimônio genético;

c) serviços de regulação: os que concorrem para a manutenção da estabilidade dos processos ecossistêmicos, tais como o sequestro de carbono, a purificação do ar, a moderação de eventos climáticos extremos, a manutenção do equilíbrio do ciclo hidrológico, a minimização de enchentes e secas e o controle dos processos críticos de erosão e de deslizamento de encostas;

d) serviços culturais: os que constituem benefícios não materiais providos pelos ecossistemas, por meio da recreação, do turismo, da identidade cultural, de experiências espirituais e estéticas e do desenvolvimento intelectual, entre outros.

4.2. Importância Ecológica

A importância ecológica dos ecossistemas é frequentemente discutida por cientistas naturais em relação às interações entre diferentes partes de um sistema. Por exemplo, pode-se considerar o papel de uma espécie arbórea específica no controle da erosão, ou como uma espécie pode ser crucial para a sobrevivência de outras espécies ou do ecossistema como um todo (Farber et al., 2002). Em uma perspectiva global, os diversos ecossistemas e suas espécies desempenham funções variadas na manutenção de processos vitais, como a conversão de energia, a ciclagem biogeoquímica e a evolução (MA, 2003). Indicadores ecológicos de valor, como integridade, ‘saúde’ ou resiliência, são essenciais para definir limites críticos e requisitos mínimos para a provisão de serviços ecossistêmicos. Esses indicadores ecológicos diferem dos valores econômicos, pois, apesar de contribuírem para o bem-estar, não são facilmente incorporados nas preferências individuais devido à sua complexidade, embora sejam fundamentais para a sobrevivência humana. O conceito relacionado de valor pode ser descrito como a importância atribuída por pessoas a um ambiente ecologicamente estável e saudável, tanto por sua contribuição para a sobrevivência humana (valor instrumental) quanto por razões intrínsecas (valores). Apesar das discussões em torno do valor ecológico, é crucial reconhecer o ‘valor’ dos ecossistemas naturais e seus componentes em termos de sua contribuição para a manutenção da vida na Terra, incluindo a sobrevivência humana por si mesma (Farber et al., 2002).

4.3. Exemplos internacionais de PSA

Para o melhor entendimento do PSA, faz-se necessário realizar um breve estudo de diferentes casos internacionais de utilização do sistema de pagamentos de serviços ambientais. Assim, selecionaram-se dois casos que se



espera sejam ilustrativos da experiência prática e das dificuldades e sucessos na instalação de uma política pública de PSA ou de um mercado privado no qual são negociados esses serviços.

Costa Rica: O Programa Fundo Nacional de Financiamento Florestal (Fonafifo), tem abrangência nacional em Costa Rica, remunerando os serviços ambientais de conservação de água, biodiversidade, beleza paisagística, bem como sequestro de carbono. As atividades financiadas são o reflorestamento e a conservação das florestas, sendo que os interessados em ser beneficiários do programa devem com provar a titularidade da terra, demonstrar que não realizaram desmatamentos nos últimos dois anos e apresentar um plano de manejo certificado por um técnico florestal autorizado.

Equador: Profafor (Programa Face de Florestação) é uma empresa privada equatoriana que é uma extensão da Fundação Face (Florestas para a Absorção das Emissões de Dióxido de Carbono), criada para compensar as emissões de carbono de uma termoelétrica construída na Holanda. O serviço ambiental remunerado é o reflorestamento para fins de sequestro de carbono, e o programa é realizado nas Províncias de Imbabura, Pichincha, Chimborazo, Cañar, Azuay e Loja, Manabí, Esmeraldas, sendo beneficiários proprietários privados e comunitários, utilizando o reflorestamento com árvores nativas.

4.4. Exemplos nacionais de PSA

Do mesmo modo, há programas no Brasil que já se utilizam do sistema de PSA, sendo importante estudar os modelos já existentes para que eles possam ser aperfeiçoados e para que seja proposta uma política pública nacional de PSA, levando em consideração os êxitos e fracassos dos programas locais em andamento.

Proambiente: O Programa de Desenvolvimento Socioambiental da Produção Familiar Rural (Proambiente) teve início por iniciativa da sociedade civil em 2000 e perdurou até 2003, quando então foi incluído no Plano Plurianual da União de 2004/2007 e renovado no Plano Plurianual de 2008/2011. Ele é aplicado na Amazônia Legal, tendo 11 polos e aproximadamente 300 famílias em cada, remunerando os seguintes serviços ambientais: desmatamento evitado, sequestro de carbono, conservação do solo e da água, preservação da biodiversidade e redução da inflamabilidade da paisagem. São beneficiários produtores familiares, incluindo agricultores familiares, pescadores artesanais, extrativistas, populações tradicionais e comunidades indígenas, devendo atender aos seguintes requisitos: 1) utilizar mão de obra predominantemente familiar, permitindo-se a contratação de trabalhadores temporários quando a atividade sazonal exigir; 2) renda bruta anual de até R\$ 100.000,00 (cem mil reais), sendo 80% dessa renda advinda de atividades rurais; 3) possuir residência fixa há pelo menos um ano; 4) explorar área de até quatro módulos fiscais no caso de

agricultores familiares e seis módulos rurais no caso de agropecuaristas; 5) no caso de pescadores, será considerada a modalidade de pesca e os apetrechos usados; 6) povos indígenas aldeados ou reconhecidos pela FUNAI não estão condicionados a estas regras.

O Proambiente agrega o controle social das políticas através de um Conselho Gestor Nacional e Conselhos Gestores em cada polo, bem como uma adesão coletiva através de cooperativas ou associações, e uma elaboração de um Plano de Desenvolvimento do Polo que é uma análise do contexto socioeconômico e ambiental local e um Plano de Utilização das Unidades de produção que contém entre outros, dados do estabelecimento rural e objetivos de manejo sustentável. Além disso, são realizados Acordos Comunitários de Serviços Ambientais, nos quais constam as formas de medições da prestação dos serviços ambientais, a avaliação de desempenho de cada membro da comunidade e os processos comunitários de resolução de conflitos.

Os dados apresentados mostram que a pesquisa tem desempenhado um papel crucial no avanço do conhecimento e das práticas relacionadas ao Programa de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Essas pesquisas podem ter diversas implicações para os programas de PSA, incluindo a definição de novas abordagens e a adoção de métodos e práticas inovadoras. As publicações resultantes são fontes valiosas de conhecimento e diretrizes para a implementação e aprimoramento desses programas. As recomendações e descobertas desses estudos são especialmente relevantes e influentes para formuladores de políticas, gestores e outras partes interessadas.

O crescimento contínuo na produção de literatura sugere que a pesquisa sobre PSA está em constante evolução, o que pode levar ao surgimento de novas tendências e melhores práticas. Baseando-se nas contribuições desses autores, programas de capacitação e formação para profissionais envolvidos em PSA podem aproveitar esses novos conhecimentos e práticas recomendadas para melhorar a eficácia dos programas. Isso pode resultar em estratégias mais eficazes para a conservação e sustentabilidade ambiental.

Em suma, esses dados ressaltam a importância de acompanhar as pesquisas e publicações mais recentes. Assim, os programas de PSA podem ser atualizados com as melhores práticas e evidências disponíveis, garantindo sua eficácia e sucesso a longo prazo.

5. Considerações Finais

O presente trabalho realizou uma revisão bibliométrica de 1236 documentos sobre serviços ecossistêmicos e pagamentos por serviços ambientais (PSA), publicados entre 2002 e 30 de abril de 2024. Observou-se um aumento regular na produção científica anual, com um pico entre 2021 e 2022. O periódico "*Ecological Economics*" foi a principal fonte de literatura sobre o tema.



Os autores mais relevantes foram Sven Wunder, Bettina Matzorf e Chen Xiaodong. Os termos mais destacados na literatura foram “serviço ecossistêmico”, “avaliação ambiental”, “biodiversidade” e “ecossistemas”. A produção científica variou entre países, com destaque para os Estados Unidos, China, Brasil, Alemanha, Reino Unido e Austrália.

O estudo buscou fornecer uma visão abrangente do estado da arte em serviços ecossistêmicos e PSA, destacando a crescente importância desses temas na literatura científica. Os resultados reforçam a necessidade de pesquisas contínuas para informar políticas e práticas eficazes na gestão e conservação de ecossistemas, pois apesar das várias experiências nacionais, o PSA ainda enfrenta desafios para se tornar uma solução eficiente na conservação da natureza, pois apresenta lacunas significativas. Para preenchê-las, a pesquisa, o desenvolvimento e a inovação (PD&I) nesse campo são de grande relevância.

É essencial adaptar os modelos de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) às condições locais, levando em consideração as particularidades sociais, econômicas, culturais e ambientais de cada país e região. Cada local apresenta características únicas que devem ser levadas em conta, assim como as necessidades das comunidades e as prioridades de conservação.

Outra recomendação importante é promover a cooperação internacional e o compartilhamento de experiências entre países. A colaboração entre nações é vital para o aprendizado mútuo e para a disseminação das melhores práticas relacionadas aos programas de PSA.

Outro ponto essencial é a definição de critérios bem definidos para a elegibilidade e a medição dos serviços ambientais. É fundamental estabelecer indicadores precisos e métodos de monitoramento eficazes para assegurar que os pagamentos sejam direcionados para atividades que realmente contribuam para a conservação e a recuperação dos ecossistemas.

Adicionalmente, a participação ativa de todas as partes interessadas é vital para o êxito dos programas de pagamento por serviços ambientais. A colaboração entre governos, comunidades locais, organizações não governamentais, setor privado e instituições acadêmicas pode criar uma base sólida para a implementação bem-sucedida desses programas. A transparência e a prestação de contas são cruciais para garantir a confiança e o engajamento de todos os envolvidos.

Essas ações contribuirão para fortalecer o uso dos Pagamentos por Serviços Ambientais como uma ferramenta efetiva na proteção dos ecossistemas.

Referências

ARIA, M.; CUCCURULLO, C., 2017. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of**

Informetrics, v. 11, n. 4, 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>.

Balmford, A., Bruner, A., Cooper, P., Costanza, R., Farber, S., Green, R., Jenkins, M., Jefferiss, P., Jessamay, V., Madden, J., Munro, K., Myers, N., Naeem, S., Paavola, J., Rayment, M., Rosendo, S., Roughgarden, J., Trumper, K. and Turner, R. K. (2002) '**Economic reasons for conserving wild nature**', *Science*, vol 297, pp950–953

BRASIL. LEI Nº 14.119, DE 13 DE JANEIRO DE 2021: **Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis nº 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política.**, Brasil, 13 jan. 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/14119.htm. Acesso em: 27 jul. 2024.

CEE. COLLABORATION FOR ENVIRONMENTAL EVIDENCE. 2018. **Guidelines and Standards for Evidence synthesis in Environmental Management**. Version 5.0 (AS Pullin, GK Frampton, B Livoreil & G Petrokofsky, Eds). Disponível em <<http://www.environmentalevidence.org/information-for-authors>>. Acesso em 02 set. 2024.

DAILY, G. C. (Ed.). **Nature's services: societal dependence on natural ecosystems**. Washington, DC: Island Press, 1997.

ECO, U. **Como se faz uma tese**. São Paulo: Perspectiva, 1977.

FAO. **The state of food and agriculture: paying farmers for environmental services**. Rome, 2007. 222 p. (FAO Agriculture Series, 38).

GALVAO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiol. Serv. Saúde**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 183-184, 2014.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 1999.



LEITÃO, A. M.; DA SILVA, L. F. Payments for environmental and ecosystem services for water production. **Nativa**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 269–276, 2022.

MALHOTRA, N. **Pesquisa de marketing**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

MA (Millennium Ecosystem Assessment) (2003) **Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment**, Island Press, Washington, DC

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA). **Ecosystems and human well-being**: synthesis. Washington, DC: Island Press, 2005. 137 p. Disponível em: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2024.

MUÑOZ, A. M. M.; FREITAS, S. R. Importância dos Serviços Ecosistêmicos nas Cidades: Revisão das Publicações de 2003 a 2015. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 89–104, 2017.

PULLIN, A.; STEWART, G. **Guidelines for systematic review in environmental management**. Conservation Biology. The journal of the Society for Conservation Biology, v.20, p.1647–56, 2006.



BLOCOS DE CONCRETO PRODUZIDOS COM AGREGADOS RECICLADOS

Prof.^a Dr.^a Lia Lorena Pimentel ¹, Ana Júlia Anhaia ²

1. Programa de Pós-graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana – POSINFRA – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, lialp@puc-campinas.edu.br
2. Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, anajulianhaia@hotmail.com

Resumo:

O crescimento dos centros urbanos tem refletido um aumento significativo da geração de resíduos de construção. Esta expansão exacerbou a pressão sobre os recursos naturais e os sistemas de gerenciamento de resíduos. A característica artesanal da construção civil brasileira contribui para esse cenário, resultando em uma produção considerável de resíduos Classe A. Nesse contexto, a utilização de agregados reciclados em blocos de concreto, oferece uma solução sustentável. Além de reduzir a dependência dos recursos naturais, o uso de agregados reciclados contribui para a diminuição do volume de resíduos destinados a aterros sanitários, aliviando a pressão sobre o meio ambiente. O objetivo deste trabalho é avaliar as características de blocos de concreto produzidos com agregado reciclado. Foram utilizados três diferentes tipos de agregados reciclados: agregado misto (ARM), agregado cimentício (ARCI) e resíduo de louça sanitária (LS). No traço com ARM foi feita uma substituição de 50% do pedrisco natural pelo pedrisco reciclado misto. No traço com agregado reciclado cimentício (ARCI), a substituição foi de 59% do pó de pedra e 41% do pedrisco por material reciclado produzido pela empresa. Já no traço com resíduo de louça sanitária (LS), a substituição foi de 10% do pó de pedra pela louça sanitária. Após a caracterização dos agregados foram produzidos os blocos, cuja avaliação foi feita determinando-se as características de absorção de água, massa específica e resistência à compressão. Observou-se que o uso do resíduo de louça sanitária teve um impacto significativo, aumentando consideravelmente a resistência dos blocos. Todos os blocos atenderam aos requisitos das normas NBR 6136:2016 para blocos classe B. A substituição parcial do pedrisco natural pelo pedrisco reciclado misto no traço T-ARM e a substituição do pó de pedra pela louça sanitária moída no traço T-LS resultaram em resistências significativamente maiores do que o esperado. O traço T-LS se destacou com a maior resistência à compressão, alcançando 10,93 MPa, devido às propriedades pozolânicas do material.

Palavras-chave: Sustentabilidade, pré-fabricados, agregados reciclados.

1. Introdução

Os resíduos da construção civil, provenientes de construções, reformas, reparos e demolições, são classificados em quatro categorias de acordo com a resolução Conama nº 307 de 2002. A Classe A abrange os resíduos reutilizáveis ou recicláveis; a Classe B compreende resíduos recicláveis em outras cadeias produtivas; a Classe C inclui resíduos para os quais não existem tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a reciclagem/recuperação; e a Classe D engloba resíduos perigosos oriundos do processo de construção. Segundo dados apresentados pela ABRELPE, em 2021, os municípios coletaram mais de 48 milhões de toneladas de RCD, representando um aumento de 2,9% em relação ao período anterior. A quantidade coletada por habitante foi de cerca de 227 kg por ano e, em grande parte, consistiu em resíduos de construção e demolição abandonados em vias e áreas públicas.

A utilização de agregados reciclados na fabricação de novos blocos de concreto é fundamental para a sustentabilidade na construção civil. Ao incorporar resíduos de construção na produção de blocos, reduz-se significativamente a necessidade de extração de recursos naturais, como areia e brita, além de diminuir a quantidade de resíduos destinados a aterros sanitários. Esta abordagem promove a reutilização de materiais e contribui para a redução da pegada ambiental da construção civil.

A pesquisa realizada por (Zhao et al., 2020) investigou a viabilidade do uso de agregados de concreto reciclado de blocos pré-moldados na produção de novos blocos de construção em escala industrial, fornecendo uma base inicial para o uso desses materiais. Em uma linha de investigação semelhante, (Attri et al, 2022) examinaram blocos de concreto pré-moldados sustentáveis incorporando agregado de concreto reciclado, britador de pedra e pó de sílica, estudando as propriedades mecânicas, durabilidade e desempenho dos blocos. Esses estudos são relevantes para o desenvolvimento de um estudo de dosagem que maximize as propriedades mecânicas e de durabilidade dos blocos reciclados.



Em um estudo focado nas normas e regulamentos locais, (Jaafar et al, 2023) investigou a viabilidade de reciclar entulhos de construção e demolição em blocos de concreto para uso na construção civil, destacando a importância de atender aos critérios locais de materiais de construção para garantir a capacidade de suporte de carga desses blocos reciclados.

De maneira complementar, (Ortega et al, 2024) realizaram um estudo com o objetivo de determinar a viabilidade ambiental do uso de resíduos feitos a partir dos resíduos gerados por uma planta de produção de concreto. Este estudo apoia a avaliação da sustentabilidade ambiental do uso de agregados reciclados, alinhando-se com as práticas mais sustentáveis na construção civil.

Além desses estudos, (Zaetang et al, 2016) avaliou os efeitos do nível de substituição de agregados naturais por agregados reciclados sobre várias propriedades mecânicas e físicas, como o vazio total, o coeficiente de permeabilidade à água, a resistência à compressão, à tração, à flexão e à abrasão superficial. Essas análises fornecem uma compreensão detalhada do impacto da substituição de agregados naturais por reciclados, essencial para a formulação de blocos de concreto com desempenho otimizado.

(Ferriz-Papi & Thomas-Papi, 2020) também contribuiu para essa discussão ao realizar um estudo de caso sobre uma amostra de agregado reciclado contendo grandes quantidades de solo escavado misturado com outros tipos de resíduos de construções, destacando a complexidade na composição dos resíduos reciclados e os desafios associados à sua reutilização eficiente.

(Troncoso & Ling, 2021), por sua vez, investigou as propriedades de blocos de concreto utilizando três tipos diferentes de agregados reciclados, provenientes de concreto, tijolos e blocos de concreto reciclados, com o objetivo de promover a utilização segura e eficaz de agregados reciclados provenientes de diversos resíduos.

Outro estudo significativo realizado por (Wang et al, 2021) revelou que as propriedades mecânicas do concreto de agregado reciclado, como compressão, tração e flexão, são geralmente inferiores às do concreto de agregado natural. Essa limitação está associada tanto ao processo de produção dos agregados reciclados quanto à gestão dos resíduos de construção e demolição, ressaltando a necessidade de melhorias tecnológicas e práticas para a produção de resíduos.

Finalmente, (Liu et al, 2021) investigou o uso de dois tipos de areia reciclada de diferentes componentes de argamassa, analisando o impacto de diferentes tamanhos de grão na produção de argamassa e nas propriedades mecânicas e frescas resultantes. Este estudo fornece insights valiosos sobre o potencial de uso de areia reciclada em argamassas com diferentes proporções de substituição, contribuindo para a otimização do processo de produção de materiais de construção reciclados.

Para esta pesquisa, será adotada a norma NBR 6136 (ABNT, 2016), que especifica os requisitos para blocos de concreto, incluindo resistência à compressão, capacidade de absorção de água e variação dimensional. Os ensaios devem ser conduzidos conforme especificado na NBR 12118 (ABNT, 2013). Além disso, serão analisados o índice de vazios e a massa específica, com adaptação do procedimento descrito na NBR 9778 (ABNT, 2019).

O objetivo principal desta pesquisa é avaliar a viabilidade do uso de resíduos de construção na produção de blocos de concreto. Os objetivos específicos incluem a caracterização dos resíduos e dos agregados naturais, o desenvolvimento de um estudo de dosagem e a avaliação das propriedades dos blocos resultantes. O propósito final é contribuir para práticas mais sustentáveis na construção civil, reduzindo a demanda por recursos naturais e minimizando o impacto ambiental associado à produção de materiais de construção.

2. Metodologia

A presente pesquisa adota uma abordagem experimental com o propósito de investigar a influência de agregados reciclados, utilizados em substituição ao agregado natural, na produção de blocos de concreto. O método de caracterização dos blocos engloba a avaliação da resistência à compressão, capacidade de absorção de água e massa específica como parâmetros fundamentais.

Foram avaliados os blocos produzidos em uma empresa parceira. Na **Figura 1**, apresenta-se um fluxograma que mostra quais os processos necessários para esta pesquisa.

Figura 1 – Fluxograma de processos.



Na etapa de caracterização dos agregados foram determinados o módulo de finura, o diâmetro máximo, teor de finos, a capacidade de absorção de água e a massa



específica de cada agregado conforme normas apresentadas na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Ensaio para caracterização dos agregados.

Material	Módulo de finura e diâmetro máximo	Teor de Finos	ABS	ME
Areia			NBR 16916 2021	NBR 16916 2021
Pó de Pedra	NBR 17054 2022	NBR 16973 2021	-	NBR 16973 2021
Pedrisco			NBR 16917 2021	NBR 16917 2021
Resíduo de LS	Granulometria a Laser	NBR 15894-3 2010	-	NBR 16605 2017

A preparação dos blocos de concreto abrangeu as etapas de dosagem, mistura, prensagem e cura, todas realizadas em empresa parceira. A empresa dispõe de linha de produção com central dosadora de concreto e misturador de eixo vertical, prensas hidráulicas e câmara úmida.

Inicialmente, as matérias-primas foram dosadas na central dosadora, exceto o agregado reciclado, que foi pesado em balança do Laboratório de Materiais e Estruturas da PUC Campinas.

Após a dosagem, os materiais foram misturados em um misturador de eixo vertical, com o objetivo de obter uma mistura homogênea. A qualidade da mistura foi rigorosamente controlada para assegurar que todos os componentes fossem integrados de forma uniforme, essencial para a consistência e qualidade dos blocos.

A moldagem foi feita em vibro-prensa mecânica, da marca PIOROTTI garantindo uniformidade das dimensões e compactação adequada para assegurar que a densidade e resistência dos blocos fossem alcançadas.

Após a moldagem, os blocos passaram por um processo de cura controlado. Esse processo foi realizado em câmara úmida, com a umidade controlada, por 12 horas e em seguida foram acondicionados em paletes e envolvidos com plástico.

Para este estudo, diferentes traços de mistura foram utilizados na produção dos blocos, com base nos materiais disponíveis e nas especificações fornecidas pela empresa parceira. Cada traço foi projetado para avaliar as variações nas proporções dos materiais e suas influências nas propriedades dos blocos. Os traços utilizados incluíram:

1. Traço Referência (T-REF): Utilizado pela fábrica para blocos com resistência acima de 6,5 MPa, contendo apenas materiais naturais.
2. Traço com Agregado Reciclado Cimentício (T-ARCI): Dosagem padrão da empresa para produção de blocos de 4,5 MPa de resistência. Agregado Baseado na dosagem padrão da empresa para blocos de 6,5 MPa, substituindo, respectivamente, 16,6% da areia, 59% do pó de pedra e 41% do pedrisco natural pelo pedrisco reciclado misto.
3. Traço com Reciclado Misto (T-ARM): Baseado na dosagem padrão da empresa para blocos de 6,5 MPa, substituindo 50% do pedrisco natural pelo pedrisco reciclado misto.
4. Traço com Louça Sanitária Moída (T-LS): Baseado na dosagem padrão da empresa para blocos de 6,5 MPa, substituindo 10% do pó de pedra pela louça sanitária moída.

Cada traço foi usado para produzir 100 blocos. Os consumos de materiais (cimento e agregados) para cada mistura estão apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2 – Consumo de materiais por metro cúbico de concreto.

Materiais	T-REF	T-ARCI	T-ARM	T-LS
Cimento (kg)	150	150	150	150
Areia (kg)	600	500	600	600
Pó de Pedra (kg)	980	400	980	880
Pedrisco (kg)	780	460	390	780
ARCI (kg)	-	1000	-	-
LS (kg)	-	-	-	100
ARM (kg)	-	-	390	-
Massa Total (kg)	2510	2510	2510	2510

Após a produção dos blocos de concreto, foram realizados procedimentos experimentais de caracterização dos blocos conforme especificado pela NBR 6136 que incluíram a avaliação da resistência à compressão e da capacidade de absorção de água. Também foram determinadas a massa específica e o índice de vazios, a **Tabela 3** apresenta as normas de procedimento de ensaio.

Tabela 3 – Métodos para caracterização de blocos.

Características	Blocos
Resistência a compressão	NBR 12118:2013
Absorção (ABS)	NBR 12118:2013
Massa específica (ME)	NBR 9778:2019
Índice de vazios	NBR 9778:2019

Os resultados foram analisados por meio de ANOVA, buscando verificar estatisticamente o efeito da substituição do agregado natural pelos resíduos estudados.



3. Resultados

3.1. Caracterização dos agregados

Com o objetivo de garantir resultados mais robustos, todos os experimentos foram replicados no mínimo três vezes para cada amostra. Os dados de massa específica, teor de finos e absorção de água dos agregados naturais e reciclados estão resumidos na **Tabela 4**.

Tabela 4 – Caracterização dos agregados.

Material	ME (g/cm ³)	Teor de Finos (%)	Absorção (%)
Areia	2,65	1,90	N.A.
Reciclado ARCI	2,91	10,00	3,84
Pedrisco Natural	2,78	1,53	1,32
Reciclado ARM	2,56	5,49	6,03
Pó de pedra Louça Sanitária	2,50	1,78	4,68
	2,56	N.A.	N.A.

Ao analisar os resultados da caracterização dos agregados, observa-se que o agregado reciclado ARCI apresenta uma massa específica ligeiramente superior em comparação com o agregado natural (3,84%). Por outro lado, a amostra de pó de Pedra revela uma massa específica aproximadamente 10% inferior à do pedrisco natural.

Em relação à absorção de água, é evidente que os agregados reciclados demonstram uma absorção superior aos agregados convencionais, refletindo sua natureza mais porosa e a presença de mais vazios, o que contribui para uma maior absorção de água.

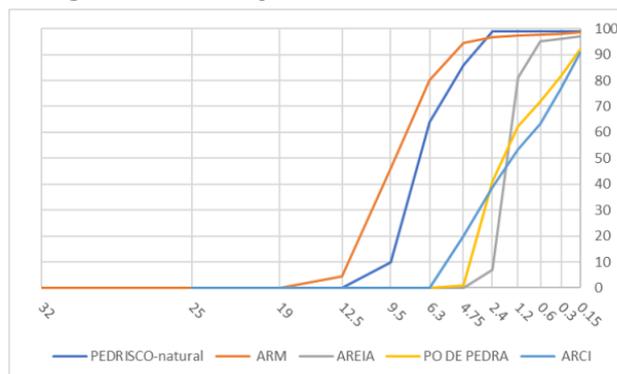
Adicionalmente, ao examinar os valores da quantidade de material fino passante pela peneira de 0,075 mm, constata-se que os agregados reciclados exibem uma proporção maior do que o pedrisco natural. Entretanto, esses valores estão dentro do limite estipulado pela norma NBR 15116 30 (ABNT, 2021), que estabelece um máximo de 12%. Vale ressaltar que, de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2019), o limite para agregados naturais graúdos é de 1%, enquanto para agregados miúdos é de até 5%. Assim, a areia avaliada está em conformidade com a norma, enquanto o pedrisco não atende a este requisito.

Quanto à análise granulométrica dos agregados, a **Tabela 5** apresenta o diâmetro máximo e o módulo de finura dos materiais e as curvas granulométricas são apresentadas na **Figura 2**.

Tabela 5 – Módulo de finura e diâmetro máximo.

Material	Diâmetro máximo (mm)	Módulo de Finura
Pedrisco Natural	12,5	5,91
Areia	4,75	3,76
ARM (pedrisco)	12,5	6,29
ARCI	6,3	3,5

Figura 2 – Curva granulométrica dos materiais.



O pedrisco natural possui um diâmetro máximo de 12,5 mm e um módulo de finura de 5,91, enquadrando-se na classificação de brita na faixa de 4,75/12,5 mm conforme estabelecido pela NBR 7211 (ABNT, 2009).

A areia possui um diâmetro máximo de 4,75 mm e um módulo de finura de 3,76, sendo classificada como areia grossa.

Entre os agregados reciclados, o ARM apresenta um diâmetro máximo de 12,5 mm e um módulo de finura de 6,29, também se enquadrando na classificação de brita na faixa de 4,75/12,5 mm.

Por sua vez, o ARCI possui um diâmetro máximo de 6,3 mm e um módulo de finura de 3,5, classificando-se como um pedrisco fora da faixa especificada pela norma NBR 7211 (ABNT, 2009) e, conseqüentemente, não muito bem graduado. Frente a essa composição variável, a indústria propôs o traço com este resíduo (T-ARCI), substituindo parcialmente todos os agregados (areia, pó de pedra e pedrisco) por ele.

O resíduo de louça sanitária moída (LS) teve sua curva granulométrica determinada por meio de granulometria a laser, revelando um diâmetro médio DV[50] de 14,7 µm. Por ser um material muito fino, ele substituiu parcialmente o pó de pedra.

3.2. Caracterização dos blocos

3.2.1. Resistência

Neste estudo, a resistência à compressão de blocos de concreto produzidos com diferentes traços, incluindo o traço de referência (T-REF) e três variantes que incorporaram agregados reciclados: T-ARCI, T-ARM e T-LS. Os valores médios e respectivos desvios padrão estão apresentados na **Tabela 6** e no gráfico da **Figura 3**.

Figura 3 – Resultados da resistência a compressão.

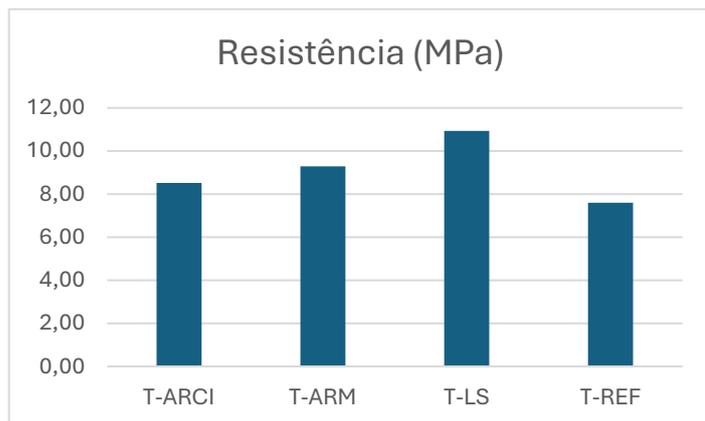


Tabela 6 – Média e Desvio-padrão das resistências dos blocos.

Blocos	Média	Desvio-Padrão
T-ARCI	8,51	0,27
T-ARM	9,28	0,71
T-LS	10,93	0,96
T-REF	7,60	1,85

Os traços dos blocos apresentaram resistências que superam os critérios estabelecidos tanto pela norma NBR 6136: 2016 para a classe B (resistência entre 4 e 8 MPa). O Traço Referência (T-REF), com 7,60 MPa, atende a classe de resistência de 6,5 MPa especificada pela empresa e os traços alternativos, T-ARM com 9,28 MPa e T-LS com 10,93 MPa, se enquadram na classe A da referida norma. Notavelmente, a substituição parcial do pedrisco natural pelo pedrisco reciclado misto no T-ARM e a substituição do pó de pedra pela louça sanitária moída no T-LS resultaram em resistências significativamente maiores do que o esperado.

Além disso, o T- ARCI, com 8,51 MPa, superou as expectativas informadas pela empresa, estipuladas em 4,5 MPa. Esses resultados sugerem que a inclusão de agregados reciclados cimentícios não apenas atende aos requisitos normativos, mas também excede as expectativas de resistência da empresa.

Cabe ressaltar que o traço T-LS teve uma resistência bastante elevada, o que era esperado, por se tratar de um material pozolânico.

Para validar os resultados obtidos na pesquisa sobre a resistência à compressão, utilizamos a ferramenta estatística ANOVA de fator único, com o auxílio do software Excel. O resultado é apresentado nas **Tabela 7** e **Tabela 8**. Este método é fundamental para examinar a igualdade das médias das amostras, permitindo a detecção de possíveis disparidades entre os diferentes grupos investigados. No contexto deste estudo, enfocamos a influência do tipo de agregado no parâmetro da resistência à compressão. Os resultados revelaram um valor-p inferior a 0,05, sugerindo a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os traços avaliados para este parâmetro.

Tabela 7 – Resumo análise ANOVA resistência à compressão.

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
T-ARCI	3	25,5286	8,509535	0,07487
T-ARM	3	27,85366	9,284554	0,509853
T-LS	3	32,79171	10,93057	0,914184
T-REF	3	22,8101	7,603367	3,439347

Tabela 8 – Resumo análise ANOVA resistência à compressão (Resultados).

Fonte da variação	ANOVA				valor-P	F crítico
	SQ	g	MQ	F		
Entre grupos	17,9169	3	5,972	4,837	0,033	4,066
Dentro dos grupos	9,87650	8	1,234	-	-	-
Total	27,7934	11	-	-	-	-

Analisando os dados das **Tabela 9** e **Tabela 10**, observa-se que o T-ARCI e o T-REF apresentam semelhanças significativas em termos de resistência. A análise realizada por meio da ANOVA confirma que as diferenças entre esses dois testes não são estatisticamente significativas, sugerindo que ambos demonstram um comportamento semelhante em termos de resistência.

Tabela 9 – Resumo análise ANOVA resistência à compressão entre T-ARCI e T-REF.

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
T-ARCI	3	25,5286	8,509535	0,07487
T-REF	3	22,8101	7,603367	3,439347



Tabela 10 – Resumo análise ANOVA resistência à compressão entre T-ARCI e T-REF(Resultados).

Fonte da variação	ANOVA					
	SQ	g	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1,231	1	1,231	0,700	0,449	7,708
Dentro dos grupos	7,028	4	1,757	-	-	-
Total	8,260	5	-	-	-	-

Da mesma forma, nas **Tabela 11** e **Tabela 12**, o T-ARM e o T-REF mostram uma proximidade estatisticamente relevante. A análise ANOVA indica que as diferenças entre o T-ARM e o T-REF são mínimas, o que sugere que esses testes possuem características comparáveis no que diz respeito à resistência.

Tabela 11 – Resumo análise ANOVA resistência à compressão entre T-ARCI e T-REF.

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
T-REF	3	22,8101	7,603367	3,439347
T-ARM	3	27,85366	9,284554	0,509853

Tabela 12 – Resumo análise ANOVA resistência à compressão entre T-ARCI e T-REF(Resultados).

Fonte da variação	ANOVA					
	SQ	g	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	4,239	1	4,239	2,147	0,216	7,708
Dentro dos grupos	7,898	4	1,974	0,6	-	-
Total	12,13	5	-	-	-	-

Por outro lado, ao examinar as **Tabela 13** e **Tabela 14**, nota-se uma diferenciação entre o T-LS e o T-REF. A análise ANOVA revela que há diferenças estatisticamente significativas entre esses testes, indicando que o T-LS e o T-REF não apresentam níveis semelhantes de resistência e que suas características são distintas.

Tabela 13 – Resumo análise ANOVA resistência à compressão entre T-ARCI e T-REF.

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
T-REF	3	22,8101	7,603367	3,439347
T-REF	3	32,79171	10,93057	0,914184

Tabela 14 – Resumo análise ANOVA resistência à compressão entre T-ARCI e T-REF(Resultados).

Fonte da variação	ANOVA					
	SQ	g	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	16,60	1	16,60	7,628	0,050	7,708
Dentro dos grupos	8,707	4	2,176	0,62	-	-
Total	25,31	5	-	-	-	-

Essa análise é corroborada por diversos estudos na literatura, por exemplo, Zhao et al. (2020) demonstraram que blocos de concreto produzidos com 30% e 100% de RCA (Recycled Concrete Aggregate, na sigla em inglês) podem atender aos requisitos de massa específica, resistência e absorção de água, sem a necessidade de aumentar o teor de cimento. Essa conclusão sugere que o uso de RCA na fabricação de novos blocos pré-moldados de concreto é viável, alinhando-se aos resultados observados.

Além disso, Jaafar et al. (2023) destacou que a resistência à compressão, o atributo mecânico mais significativo dos blocos de concreto, pode ser substancialmente aprimorada com a incorporação de resíduos contendo partículas finas, como resíduos de cerâmica, telhas e concreto, em substituição aos agregados convencionais. A combinação de resíduos de revestimentos cerâmicos com cinzas volantes, por exemplo, mostrou efeitos promissores, o que está em consonância com os achados do presente estudo.

Esses resultados também encontram suporte em estudos como o de Zaetang et al. (2016), que obteve melhorias na resistência à compressão do concreto permeável ao utilizar RCA, especialmente com um nível de substituição de 60%. Mesmo com a substituição de até 60% dos agregados naturais por RCA, observou-se uma perda mínima de peso, o que indica a viabilidade do uso de RCA em aplicações estruturais.

No entanto, é importante considerar as limitações destacadas por Ferriz-Papi & Thomas (2020), que observou uma redução na resistência à compressão ao utilizar altos níveis de substituição de agregados reciclados. Esse autor sugere testar amostras com até 50% de substituição, já que quantidades maiores podem comprometer a integridade estrutural, como observado em alguns dos testes.

A análise de Liu et al (2021) também reforça a importância da seleção adequada dos materiais reciclados, mostrando que a utilização de areia em argamassas pode resultar em uma resistência à compressão significativamente maior, enquanto a areia pode reduzir o módulo de elasticidade.



Essas constatações não só fortalecem a perspectiva de práticas mais sustentáveis na indústria da construção, como também sublinham a eficácia técnica e econômica do uso de agregados reciclados. Ao promover a reutilização de resíduos e diminuir a demanda por recursos naturais, contribuem para moldar um ambiente construído mais ecologicamente consciente, alinhando-se aos princípios da economia circular e da sustentabilidade.

Essa diferença nos resultados sugere que a incorporação de agregados reciclados pode melhorar as propriedades mecânicas do concreto. A variação de resistência entre os traços pode ser atribuída às características específicas dos agregados reciclados utilizados em cada mistura, tais como distribuição granulométrica, composição química e porosidade.

Esses resultados ressaltam a viabilidade técnica e a promessa das técnicas de sustentabilidade na produção de pré-fabricados de concreto. Além disso, destacam a importância de considerar os benefícios potenciais dos materiais reciclados não apenas para a redução do impacto ambiental, mas também para a melhoria do desempenho dos materiais de construção. Essas conclusões têm implicações significativas no contexto da busca por práticas mais sustentáveis na indústria da construção civil, destacando a necessidade de promover e adotar métodos de produção mais ecoeficientes.

3.2.2. Características Físicas

Com base nos dados apresentados na **Tabela 15**, observa-se que os blocos atendem às especificações da NBR 6136 quanto à absorção, uma vez que os valores são inferiores a 10%. De maneira geral, constata-se que os agregados reciclados demonstram uma capacidade de absorção superior. Entretanto, ao analisar os diferentes traços, nota-se que o traço T-LS apresenta uma absorção ligeiramente maior em comparação aos traços T-ARCI e T-ARM, aproximadamente 4% superior. Em contraste, em relação ao traço T-REF, a diferença é mais significativa, aproximadamente 7%. Essa disparidade ocorre devido à utilização de lousa sanitária agregada no traço T-LS, que possui uma maior porosidade em comparação aos demais agregados, conferindo-lhe uma maior eficiência na absorção de líquidos.

Essa análise está alinhada com as conclusões de Zhao et al. (2020), especialmente quando comparada à diferença entre o traço de referência (T-REF) e o traço com agregado reciclado de concreto misto (T-ARCI). Os resultados indicam que os blocos contendo RCA apresentaram maiores valores de absorção de água em relação aos blocos preparados com agregados naturais. Observou-se que a absorção de água capilar dos blocos de concreto aumentou com o aumento da substituição de agregados naturais, destacando a influência direta da presença de RCA na absorção de água pelos blocos.

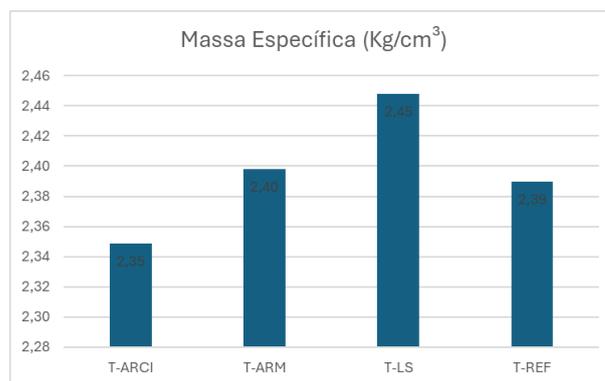
De maneira similar, os estudos de Attri et al. (2022) reforçam essa observação, demonstrando que a absorção de água pelos blocos com RCA é significativamente influenciada pela presença de argamassa aderida ao agregado reciclado, que contribui para a degradação das propriedades mecânicas. Além disso, Attri & Shrivastava (2021) também apontou que a absorção de água e a perda de peso durante a abrasão tendem a aumentar com o maior teor de RCA uma vez que tanto o RCA grosso quanto o fino possuem uma absorção de água superior em comparação aos agregados naturais. Esses fatores corroboram os resultados obtidos para o traço T-LS, onde a maior absorção de água pode ser atribuída à natureza porosa do material reciclado utilizado, afetando diretamente a durabilidade e o desempenho dos blocos de concreto.

Tabela 15 – Média e Desvio-padrão da absorção dos blocos.

Traços	Absorção (%)	
	Média	Desvio Padrão
T-ARCI	6	0,44
T-ARM	6	2,79
T-LS	10	4,01
T-REF	3	2,12

Na análise da massa específica, percebe-se que o traço T-LS exibe um valor mais elevado, conforme apresentado no gráfico da **Figura 4**. Os blocos dos traços T-ARM e T-LS aproximam-se da massa específica determinada para o traço T-REF, com uma diferença de cerca de 2,5%. Por outro lado, o traço T-ARCI demonstrou uma massa específica inferior, com uma discrepância de aproximadamente 4% em comparação ao T-LS, que registrou a maior massa entre todos os traços.

Figura 4 – Resultados da massa específica.



Para validar os valores encontrados na pesquisa de massa específica, recorreu-se à ferramenta ANOVA de fator único para análise de variância no software Excel, conforme ilustrado nas **Tabela 16** e **Tabela 17**. Este método visa testar a igualdade das médias das amostras, identificando possíveis diferenças entre os diferentes grupos da pesquisa. No presente estudo, investigou-se a



influência do tipo de agregado no parâmetro massa específica. Observa-se que o valor-p é superior a 0,05, sugerindo que não há diferença estatisticamente significativa entre os traços para este parâmetro.

Tabela 16 – Resumo análise ANOVA massa específica.

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
T-ARCI	4	9,39571	2,348928	0,002592
T-ARM	4	9,592198	2,39805	0,001016
T-LS	4	9,791633	2,447908	0,002592
T-REF	4	9,559052	2,389763	0,00341

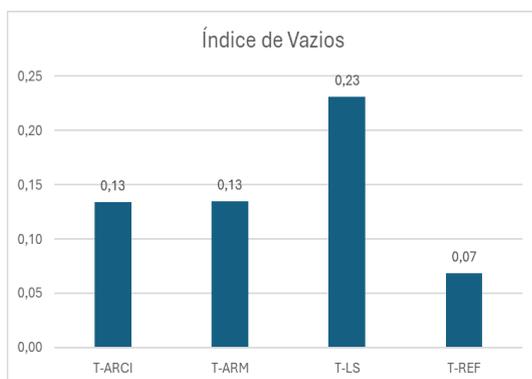
Tabela 17 – Resumo análise ANOVA massa específica (Resultados).

Fonte da variação	ANOVA				valor-P	F crítico
	SQ	gl	MQ	F		
Entre grupos	0,019	3	0,006	2,748	0,088	3,490
Dentro dos grupos	813	2	403	-	-	-
Total	0,048	5	-	-	-	-

Havia uma expectativa de que os blocos compostos por agregados reciclados fossem mais leves, dado que esses agregados geralmente possuem uma massa específica inferior em comparação aos agregados naturais. A surpreendente constatação contrária pode ser atribuída à granulometria dos agregados, a qual influencia diretamente o grau de compactação e a densidade do material. Em outras palavras, a distribuição do tamanho das partículas afeta a quantidade de vazios presentes entre elas.

Observa-se, também, pelos resultados apresentados no Gráfico da **Figura 5**, que demonstra os índices de vazios dos blocos, que o traço T-LS exibe um índice de vazios mais elevado em comparação com os demais. Isso é atribuído à sua notável porosidade, que proporciona uma maior presença de espaços vazios entre as partículas dos agregados.

Figura 5 – Resultados dos índices de vazios.



O traço T-ARM apresenta um índice de vazios superior ao do traço T-REF, fato que pode ser explicado pelo maior diâmetro máximo do agregado, combinado com sua maior porosidade, evidenciada pela capacidade de absorção de água. Este traço também registrou um índice de vazios semelhante ao do traço T-ARCI.

Para validar os resultados obtidos na pesquisa de índice de vazios, utilizou-se a ferramenta ANOVA de fator único para análise de variância no software Excel, conforme descrito nas **Tabela 18** e **Tabela 19**. Este método é empregado para avaliar a igualdade das médias das amostras, detectando eventuais disparidades entre os diferentes grupos investigados. No escopo deste estudo, a análise centrou-se na influência do tipo de agregado no parâmetro de índice de vazios. Os resultados revelaram um valor-p inferior a 0,05, indicando a presença de diferenças estatisticamente significantes entre os traços avaliados para este parâmetro.

Tabela 18 – Resumo análise ANOVA índice de vazios.

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
T-ARCI	4	0,535055	0,133764	5,87E-05
T-ARM	4	0,537503	0,134376	0,003728
T-LS	4	0,923416	0,230854	0,006973
T-REF	4	0,272412	0,068103	0,002294

Tabela 19 – Resumo análise ANOVA índice de vazios (Resultados).

Fonte da variação	ANOVA				valor-P	F crítico
	SQ	gl	MQ	F		
Entre grupos	0,053	3	0,017	5,508	0,012	3,490
Dentro dos grupos	926	2	463	444	987	295
Total	0,093	5	-	-	-	-

Em suma, os resultados destacam consistentemente a superioridade dos agregados reciclados em relação ao traço de referência. Essa constatação reforça a viabilidade e o potencial do uso desses agregados na composição dos blocos de concreto. Essa abordagem não apenas promove a sustentabilidade ambiental ao reutilizar materiais, mas também oferece vantagens técnicas, como demonstrado pela melhoria nas propriedades dos blocos, consolidando assim a importância e a eficácia dos agregados reciclados na indústria da construção.

4. Considerações Finais

Em síntese, este estudo proporcionou uma análise abrangente sobre a incorporação de agregados reciclados na produção de blocos de concreto, demonstrando não apenas sua conformidade com normas e expectativas da



indústria, mas também sua capacidade de superar tais critérios.

Os resultados obtidos validaram a viabilidade técnica dessa abordagem e ressaltaram seus benefícios tanto ambientais quanto técnicos. Por meio de análises estatísticas detalhadas, como a ANOVA, confirmamos a consistência dos dados, evidenciando diferenças estatisticamente significativas entre os traços avaliados. Esse embasamento estatístico fortalece as conclusões do estudo, destacando a superioridade dos agregados reciclados em termos de resistência à compressão, absorção e outras características físicas relevantes.

Este estudo não só contribui para o corpo de conhecimento na área da construção civil, mas também oferece insights práticos para a indústria, incentivando a adoção de práticas mais sustentáveis. Ao promover o uso de materiais reciclados na produção de blocos de concreto, não apenas reduzimos o impacto ambiental, mas também melhoramos a eficiência e o desempenho dos materiais de construção.

Contudo, para aprofundar a compreensão sobre a viabilidade e os desafios da utilização de agregados reciclados, é crucial realizar pesquisas adicionais. Uma análise mais detalhada dos custos associados ao processo de reciclagem e beneficiamento dos resíduos, bem como do impacto ambiental desse tratamento, é necessária para avaliar a viabilidade econômica e ambiental da adoção em larga escala. Além disso, uma comparação mais abrangente com estudos anteriores permitirá contextualizar melhor os resultados obtidos e explorar as possíveis razões para as diferenças observadas entre os diferentes traços de concreto. A investigação sobre a disponibilidade dos resíduos reciclados em diferentes níveis (local, regional, nacional) e a análise do volume gerado em relação à demanda da indústria também são essenciais. Por fim, a avaliação das propriedades dos blocos reciclados a longo prazo, em condições reais de uso, proporcionará uma visão mais completa sobre sua durabilidade e desempenho, ajudando a aprimorar as práticas de reciclagem na construção civil.

Referências

ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. São Paulo, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6136: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013. 27p.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação de absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro - RJ, 2019.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Método de ensaio. Rio de Janeiro-RJ, 2013.

Attri, Gyanendra Kumar; Gupta, Ramesh Chandra; Shrivastava, Sandeep. Sustainable precast concrete blocks incorporating recycled concrete aggregate, stone crusher, and silica Dust. Elsevier B.V. v. 362, 2022.

ATTRI, G; SHRIVASTAVA, R. Impact of recycled concrete aggregate on mechanical and durability properties of concrete paver blocks. Materialstoday: Proceedings. v. 42. 2021.

FERRIZ-PAPI, J; THOMAS, S. Recycled Aggregates from Construction and Demolition Waste in the Production of Concrete Blocks. ICONSMAT. 2020.

JAAFAR, AHMED SADEQ; ABBAS, ZENA K.; ALLAWI, ABBS A.; Studying Sustainable Concrete Block Efficiency Production: A Review. Journal of engineering. v. 29, 2023.

LIU, Q; SINGH, A; XIAO, J; LI, B; TAM, V. Workability and mechanical properties of mortar containing recycled sand from aerated concrete blocks and sintered clay bricks. Elsevier B.V. v. 157, 2021.

ORTEGA, JORGE LOS SANTOS; GARCÍA, ESTEBAN FRAILE, CABELLO, JAVIER FERREIRO; Environmental and Economic Viability of Using Concrete Block Wastes from a Concrete Production Plant as Recycled Coarse Aggregates. Materials. v. 17, 2024.

PEDERNEIRAS, C; DURANTE, M; AMORIM, Ê. FERREIRA, R. Incorporation of recycled aggregates from construction and demolition waste in paver blocks. IBRACON. v. 13. 2020.

TRONCOSO, N; LING, L. Comparative study on the properties and high temperature resistance of self-compacting concrete with various types of recycled aggregates. Elsevier B.V. v. 15, 2021.

ZAETANG, Y; SATA,V; WONGSA, A; CHINDAPRASIRT, P. Properties of pervious concrete containing recycled concrete block aggregate and recycled concrete aggregate. Elsevier B.V. v. 111, 2016.

WANG, B; YAN, L; KASAL, Q. A Comprehensive Review on Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete. Elsevier B.V. v. 171, 2021.

ZHAO, Z; COURARD, L; GROSLAMBERT, S; JEHIN, T; LÉONARD, A; XIAO, J. Use of recycled concrete aggregates from precast block for the production of new building blocks: An industrial scale study. Elsevier B.V. v. 157, 2020.



Microplásticos: Uma revisão do estado da arte

Natália de Queiroz Martins¹, Renata Kelly Mendes², Denise Helena Lombardo Ferreira³

1. Aluna do Programa de Pós Graduação Stricto Sensu em Sistemas de Infraestrutura Urbana, natalia.qm1@puccampinas.edu.br, PUC-Campinas
2. Dr.^a Professora do Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Sistemas de Infraestrutura Urbana, renatavalente@puc-campinas.edu.br, PUC-Campinas
3. Dr.^a Professora do Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Sistemas de Infraestrutura Urbana, lombardo@puc-campinas.edu.br, PUC-Campinas

Resumo: Os microplásticos, partículas de plástico com menos de 5 mm, representam uma preocupação ambiental devido à sua presença generalizada nos ecossistemas terrestres e aquáticos, além de potenciais impactos na saúde humana. Feitos de diversos polímeros, sua dispersão inclui oceanos, rios, solos e até o ar. Eles afetam organismos de diversos níveis, desde zooplâncton até mamíferos marinhos, causando danos físicos e químicos. Além disso, servem como vetores para poluentes orgânicos persistentes, aumentando os riscos à saúde humana quando entram na cadeia alimentar. Apesar do reconhecimento crescente de seus impactos, ainda há lacunas na compreensão completa de seus efeitos e na mitigação de sua disseminação. O objetivo do artigo foi entender o estado atual da pesquisa global sobre microplásticos por meio de análise bibliométrica usando o software Bibliometrix. A análise revelou um aumento significativo na produção científica sobre o tema, com destaque para um pico de citações em 2017, possivelmente influenciado por divulgações na mídia, na ONU e devido a publicações relacionadas ao consumo de frutos do mar contaminados e aos problemas de saúde em humanos que podem ter causas relacionadas a contaminação por microplásticos.

Palavras-chave: Microplásticos, contaminação ambiental, polímeros.

1. Introdução

A contaminação por microplásticos emergiu como um desafio ambiental significativo, com implicações para os ecossistemas terrestres e aquáticos, bem como para a saúde humana. Os microplásticos são definidos como partículas de plástico com tamanho inferior a 5 mm, originárias de diversas fontes, incluindo degradação de plásticos maiores, microesferas presentes em produtos de cuidados pessoais e fragmentos de fibras sintéticas. Sua persistência no meio ambiente, juntamente com sua capacidade de absorver e liberar poluentes orgânicos, levanta preocupações sobre os efeitos adversos em organismos vivos (Smith, Love & Rochman, 2018).

Os microplásticos podem ser classificados em duas categorias principais: primários e secundários. Os primários referem-se a partículas plásticas projetadas com tamanho reduzido, como microesferas em cosméticos e produtos de higiene pessoal. Os microplásticos secundários são derivados da fragmentação de plásticos maiores devido à exposição à luz solar, ação mecânica e processos químicos (Montagner et al., 2021).

Quanto à sua composição, os microplásticos podem ser feitos de uma variedade de polímeros, incluindo polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), polietileno tereftalato (PET) e polivinil cloreto (PVC). Sua distribuição no ambiente é ampla, com relatos de presença em oceanos, rios, solos, sedimentos, e até mesmo no ar (Vargas et al., 2022).

Estes subprodutos provenientes de deposição direta e degradação podem ser ingeridos por uma ampla gama de organismos, desde zooplâncton até mamíferos marinhos e aves. Evidências crescentes indicam que essas partículas podem causar danos físicos e químicos aos organismos, interferindo em processos fisiológicos, causando obstrução do trato gastrointestinal, acumulação de toxinas, e alterações no comportamento alimentar (Rojas et al., 2023). Além disso, os microplásticos servem como vetores para poluentes orgânicos persistentes (POPs), que podem ocorrer através da própria decomposição do material plástico, como também pela via de adsorção de outros contaminantes, tais como, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e policlorobifenilos (PCBs). Esses compostos tóxicos podem adsorver na superfície dos microplásticos e serem transportados para organismos que os ingerem, aumentando os riscos para a saúde humana quando esses organismos entram na cadeia alimentar (Montagner et al., 2021).

Apesar do reconhecimento crescente dos impactos dos microplásticos, lacunas significativas ainda persistem no entendimento completo de seus efeitos e na mitigação de sua disseminação. Pesquisas recentes têm se concentrado em diversas áreas, incluindo métodos de detecção e quantificação de microplásticos, rotas de exposição e acumulação em organismos, e desenvolvimento de estratégias de remediação e gestão (Gouveia, 2018).

No sentido de identificar e caracterizar microplásticos em amostras ambientais, alguns estudos têm empregado técnicas analíticas avançadas, como microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de infravermelho próximo (NIR). Modelos computacionais têm sido utilizados para prever a dispersão e o destino dos microplásticos nos ecossistemas, auxiliando na formulação de políticas de gestão mais eficazes (Montagner et al., 2021).

Este trabalho objetivou investigar, através de análise bibliométrica, se o estado da arte mundial das pesquisas relacionadas aos microplásticos (incluindo todos os compartimentos ambientais) contempla uma quantidade significativa de produções científicas.

2. Metodologia

Este artigo teve como objetivo a compreensão das pesquisas que envolvem os microplásticos em todo o mundo através de análise bibliométrica utilizando o software Bibliometrix, desenvolvido por Aria e Cuccurullo (2017).

Selecionou-se a base de dados Scopus, como referência para as buscas de produção acadêmica. Na sequência foi desenvolvida uma lista de termos de busca relevantes para o tema de pesquisa. Estes termos foram utilizados para recuperar os documentos pertinentes na base de dados escolhida.

Foram utilizadas as palavras: (Microplásticos e contaminantes ambientais) no campo de título (title) com o operador booleano “AND”. Também foram utilizadas palavras como critérios de refinamento de busca com o operador booleano “AND NOT” “human” e “gene”, para que as pesquisas relacionadas à área médica não fossem incluídas, uma vez que o interesse maior neste estudo está na área de concentração “ambiental”, ou seja, os estudos de microplásticos enquanto poluentes ambientais. A base de dados reportou um total de 136 artigos publicados até o mês de abril do ano de 2024.

Todos os dados reportados pela base foram exportados em formato “csv”, incluindo todos os critérios de informações disponíveis pelo site.

Após esta etapa, o software Bibliometrix foi acessado e a planilha em formato “csv” foi carregada para a geração dos gráficos e tabelas de compilação das informações. O sistema utiliza, de forma automática, cálculos de frequência, média, desvio padrão, análise de redes, entre outros.

3. Resultados

Através da análise gráfica produzida pelo software Bibliometrix, dos 136 artigos selecionados na base Scopus, observa-se que a maior parte das pesquisas realizadas sobre a temática de microplásticos e contaminantes ambientais (conjuntamente) ocorreu a partir de 2021. Como não houve uma data de corte inicial para os termos de buscas, é possível notar também que a produção científica, com base nestes termos, se iniciou em 2015. No entanto, não seria possível afirmar que o tema não era objeto de pesquisa anteriormente a esta data, mas sim que não havia indexação dos termos especificamente utilizados na busca para o assunto em questão.

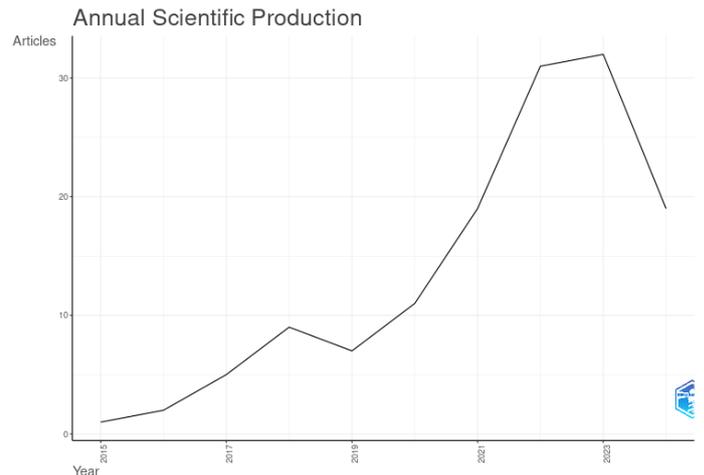


Figura 1 Produções científicas sobre a temática de microplásticos (sem data de corte)

Embora o tema seja relativamente novo na comunidade científica, nota-se que o pico de citações dos artigos avaliados ocorreu em 2017, conforme a Figura 3 demonstra. Uma possível explicação para este fato pode estar relacionada às citações da ONU¹ sobre o tema em conferências globais e, a uma publicação da Bélgica onde o pesquisador afirmou que “amantes de frutos do mar poderiam consumir até 11 mil partículas de plástico por ano comendo mexilhões, um prato muito querido no país” (Parker, 2022, s/p).

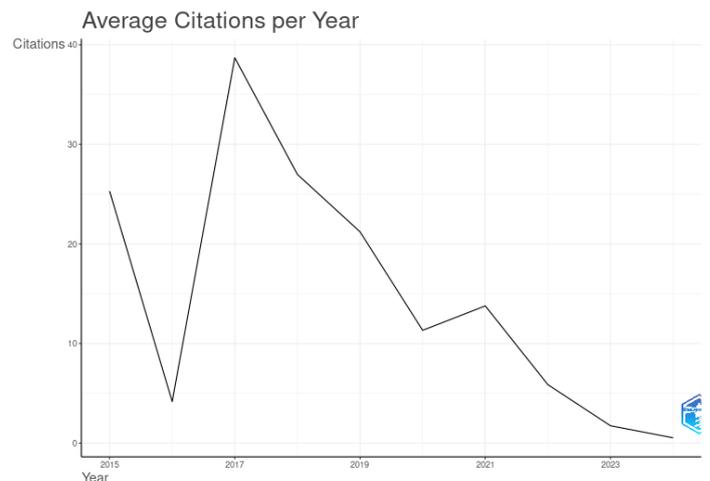


Figura 2 Média de citações (por ano) dos trabalhos científicos sobre microplásticos

A Itália e a China lideram a lista de países mais citados nos trabalhos científicos. É possível avaliar, através do título dos artigos e de seus resumos, que não apenas os impactos ambientais têm sido mencionados nestes países, mas principalmente os efeitos sobre o organismo humano e a biota aquática.

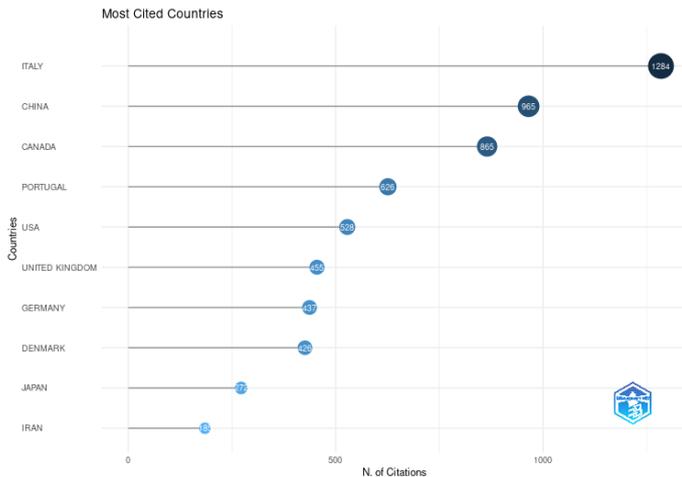


Figura 3 Países mais citados nas publicações

Grande parte dos esforços científicos se concentram nas ciências relacionadas à área ambiental, conforme explicitado na Figura 5. Uma discussão interessante neste caso é avaliar o motivo de as indexações estarem relacionadas a termos mais genéricos, tais como “poluição ambiental”. Com o avanço das pesquisas é esperado que as áreas do conhecimento sejam mais pulverizadas para a temática dos microplásticos, inclusive com a delimitação do conhecimento em cada compartimento ambiental, por exemplo: “contaminação de microplásticos nos solos rurais” ou, “microplásticos dispersos no ar de uma pequena cidade”. Uma melhor fragmentação das pesquisas é observada nas ciências médicas, por exemplo: “detecção de microplásticos no aleitamento materno”. Porém, isto não é objeto de análise neste estudo.

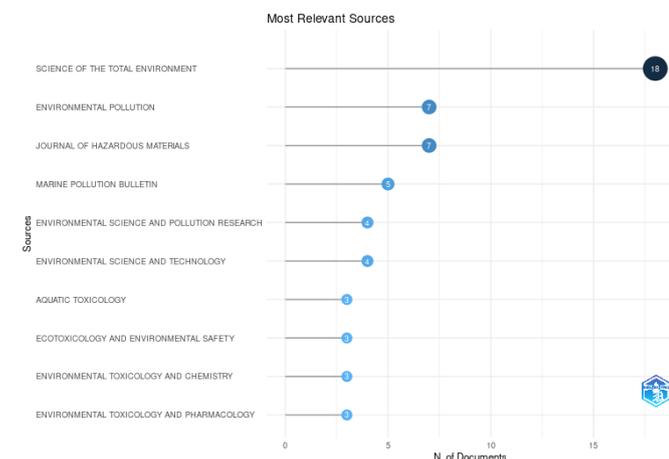


Figura 4 Temas mais relevantes associados a temática de microplásticos

Por fim, lideram o *ranking* de instituições de pesquisa diretamente envolvidas na temática dos microplásticos as universidades de Portugal, Estados Unidos e China, o que corrobora com a distribuição dos países com o maior conhecimento atual sobre a dispersão dos microplásticos. No entanto, ainda que estes países tenham a maior representação, é possível ver que a contribuição para o tema, em si, ainda é baixa, sendo

Portugal o país que lidera a lista com 40 artigos publicados e indexados na base da Scopus. Considerando a série histórica de nove anos, nota-se uma média de produção máxima de 4,44 publicações anuais sobre o tema no país de maior contribuição científica.

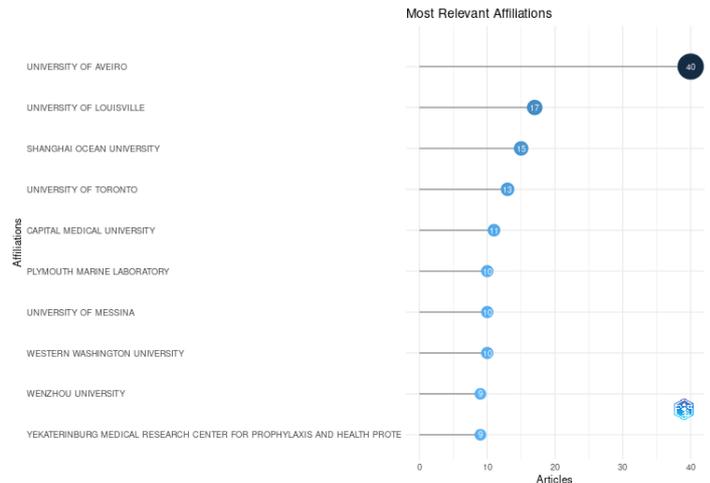


Figura 5 Afiliações mais relevantes das pesquisas

4. Considerações Finais

Os microplásticos representam uma ameaça ambiental crescente, com implicações profundas para a biodiversidade e para a saúde humana. É crucial que os esforços de pesquisa continuem a abordar lacunas de conhecimento e a desenvolver soluções eficazes para mitigar a contaminação por microplásticos.

Embora a temática tenha recebido uma atenção notável nos últimos anos devido a menções formais na ONU e devido aos estudos relacionados à área médica, a quantidade de publicações científicas ainda é muito pequena ao considerar o volume de plásticos novos produzidos todos os anos e ao baixo percentual de reciclagem destes. Os efeitos do contato da vida, em todas as suas esferas, com os contaminantes plásticos ainda são pouco conhecidos, principalmente nos compartimentos não relacionados ao ambiente marinho. Portugal é o país que possui a maior contribuição sobre o tema, e publica em média 4,44 artigos por ano, desde 2015.

A colaboração entre cientistas, formuladores de políticas e a sociedade é fundamental para enfrentar esse desafio global.

5. Referências

Aria, M.; Cuccurullo, C., 2017. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, v. 11 (4), 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>.

Gouveia, R. J. (2018). Eficiência de remoção de microplásticos em quatro ETAR portuguesas. In *Dissertação de Mestrado*.



MICROPLÁSTICOS: origens, efeitos e soluções. Parlamento Europeu, 22 nov. 2018. Notícia Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20181116-STO19217/microplasticos-origens-efeitos-e-solucoes#:~:text=A%20Organiza%C3%A7%C3%A3o%20das%20Na%C3%A7%C3%B5es%20Unidas%20divulgou%2C%20em%202017%2C,pode%20acabar%20nos%20humanos%20atrav%C3%A9s%20da%20cadeia%20alimentar>. Acesso em: 29 abr. 2024.

Montagner, C. C., Dias, M. A., Paiva, E. M., & Vidal, C. (2021). Microplásticos: Ocorrência ambiental e desafios analíticos. *Química Nova*, 44(10), 1328–1352. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170791>

Parker, L: Microplásticos estão em nossos corpos. Quanto eles nos prejudicam? *National Geographic Brasil*. 05 Mai. 2022. Meio Ambiente. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2022/04/microplasticos-estao-em-nossos-corpos-quanto-eles-nos-prejudicam>. Acesso em 29 abr. 2024.

Rojas, R. R., Arango-Mora, C., Nolorbe-Payahua, C., Medina, M., Vasquez, M., Flores, J., Murayari, F., Vásquez, C., de ALMEIDA, V., Ramos, W., Rios Isern, E., Marapara Del Aguila, J., Castro, J. C., Del Águila, J., Diaz Jarama, F., & Vasconcelos-Souza, M. (2023). Microplastic occurrence in fish species from the Iquitos region in Peru, western Amazonia. *Acta Amazonica*, 53(1), 65–72. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202201212>

Smith, M., Love, D., & Rochman, C. (2018). "Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health". In M.L. Sushil & E.J. Dean (Eds.), *Microplastic Contamination in Aquatic Environments* (pp. 251-270). Springer International Publishing.

Vargas, J. G. M., da Silva, V. B., de Oliveira, L. K., & Molina, E. F. (2022). Microplásticos: Uso na indústria cosmética e impactos no ambiente aquático. *Química Nova*, 45(6), 705–711. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170870>



Influência de Parâmetros Termofísicos em climas quentes e úmidos

Dilson Machado Cunha¹, Fernanda Perazzolo Disconzi²

1. Mestrando, dilson.cunha@edu.udesc.br, Universidade Estadual do Estado de Santa Catarina
2. Doutora, fernanda.disconzi@udesc.br, Universidade Estadual do Estado de Santa Catarina

Resumo: O aumento das emissões de gases de efeito estufa, principalmente CO₂, devido à queima de combustíveis fósseis, está causando mudanças climáticas significativas, conforme destacado no 6º Relatório de Avaliação do IPCC. Essas alterações impactam diretamente o desempenho térmico das edificações, que muitas vezes não são projetadas considerando os efeitos das mudanças climáticas. A análise de sensibilidade é essencial para identificar as variáveis termofísicas mais influentes no desempenho energético das construções. Este estudo avaliou a influência desses parâmetros em Brasília e Curitiba, utilizando simulações no EnergyPlus, jEPlus e jEPlus+EA, e análise de sensibilidade global pelo método de Morris. Os resultados mostraram que a energia necessária para aquecimento e resfriamento é altamente sensível à condutividade térmica dos materiais. Em Curitiba, a demanda energética para aquecimento é maior devido às temperaturas mais baixas, enquanto em Brasília, o consumo de energia para resfriamento é predominante devido ao clima mais quente. A análise revelou que, além da condutividade térmica, a transmitância solar e o calor específico dos materiais são cruciais para determinar o consumo energético. Esses insights são fundamentais para o desenvolvimento de estratégias construtivas mais eficientes e adaptadas às condições climáticas brasileiras.

Palavras-chave: simulações termoenergéticas, desempenho térmico, análise de sensibilidade global.

1. Introdução

Reconhece-se que a queima de combustíveis fósseis é uma fonte significativa de gases de efeito estufa. O acréscimo desses gases na atmosfera, em especial o CO₂, resulta em um desequilíbrio energético, sendo o aumento na temperatura apenas um dos resultados (Trenberth & Fasullo, 2013).

O 6º Relatório de Avaliação do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) destaca impactos climáticos sem precedentes devido ao aquecimento de 1,1°C, com uma probabilidade de 50% de ultrapassar 1,5°C até 2040, considerando diferentes cenários (IPCC, 2023). Além disso, de acordo com o Balanço Térmico Nacional de 2024 realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), com base no ano de 2023, aproximadamente metade da energia produzida no Brasil provém de fontes não renováveis, sendo distribuída, respectivamente, nos setores industrial, de transporte e residencial (EPE, 2024). Segundo a NBR 15575 de desempenho habitacional, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) as edificações residenciais no Brasil devem ter uma vida útil

mínima de 50 anos (ABNT, 2024). No entanto, muitos desses imóveis não atendem aos critérios básicos de eficiência e conforto, sem levar em consideração as mudanças climáticas (Triana et al., 2018). Portanto, é essencial identificar com precisão as variáveis termofísicas de entrada que mais impactam os critérios de desempenho específicos, o que requer a aplicação de uma abordagem estruturada de análise de sensibilidade (Silva & Ghisi, 2020).

Para avaliar o desempenho térmico de edificações, ferramentas de simulação computacional são usadas com frequência. O EnergyPlus, desenvolvido pelo *U.S. Department of Energy* (DOE) é uma das mais utilizadas, permitindo análise dinâmica com muitas variáveis de entrada. Para a automatização das simulações paramétricas o jEPlus, desenvolvido por Yi Zhang, também vem sendo usado em conjunto com o EnergyPlus. Finalmente, o jEPlus+EA, desenvolvido por Yi Zhang em parceria com Lubo Jankovic, incorpora um algoritmo evolutivo multiobjetivo específico para o design de edifícios, permitindo ajustes instantâneos nos critérios de avaliação, como a análise de sensibilidade global (DOE, 2024; Zhang, 2009; Zhang & Jankovic, 2017).

A análise de sensibilidade ajuda a compreender melhor o comportamento e a estrutura de um modelo, assim como sua resposta a diferentes entradas. Existem várias maneiras de realizar essa análise, como a análise global e a análise local, cada uma oferecendo perspectivas e insights específicos sobre o modelo (Borgonovo & Plischke, 2016). O Método de Morris, introduzido em 1991, utiliza a média estimada (μ) e o desvio padrão (σ) dos efeitos elementares para avaliar a sensibilidade global. Em 2007, Campolongo et al. aprimoraram essa abordagem ao introduzir a média absoluta estimada (μ^*) para corrigir possíveis erros ao lidar com distribuições não monotônicas (Nunes & Giglio, 2022).

Atualmente, pesquisas focadas na influência de parâmetros termofísicos em diferentes climas têm utilizado a análise de sensibilidade para explorar o impacto desses fatores utilizando diversos softwares.

Delgarm et al. (2018) integraram métodos de análise de sensibilidade baseados em variância e um fator de cada vez ao EnergyPlus, utilizando o MATLAB como ferramenta. O estudo focou em identificar as variáveis predominantes que impactam a eficiência energética de edifícios durante a fase inicial de projeto. Os parâmetros de projeto, como orientação do edifício, tamanho das janelas, sistema de balanço e especificações de vidros e paredes, foram investigados em um modelo de sala típico, considerando quatro condições climáticas no Irã. Os resultados destacaram o tamanho da janela como o parâmetro



predominante para resfriamento anual, aquecimento e consumo total de energia, enquanto a transmitância visível do vidro influenciou significativamente a iluminação anual. Silva e Ghisi (2020), destacam a relevância de selecionar cuidadosamente as variáveis de entrada mais influentes. Portanto, desenvolveram um método de escolha que utilizou três abordagens estatísticas de análise de sensibilidade por meio do software R: local (One-At-Time), global (método de efeitos elementares de Morris) e de incertezas (Monte Carlo), aplicadas a um estudo de caso em Florianópolis. Nesse estudo, 21 parâmetros de uma residência de baixo padrão foram simulados no software EnergyPlus. Os resultados destacaram a transmitância térmica, a absorção solar da cobertura e a área de ventilação das janelas como variáveis de projeto significativas.

Nunes e Giglio (2022) dão foco para o impacto das mudanças climáticas no desempenho termoenergético de habitações populares brasileiras, considerando os climas de Belém e São Paulo. Para investigar essa questão, os pesquisadores utilizaram simulações computacionais de previsões climática futuras, de desempenho termoenergético e a análise de sensibilidade global de Morris, por meio dos softwares CCWorldWeatherGen, EnergyPlus e R, respectivamente. Os resultados destacam a necessidade de considerar as mudanças climáticas no projeto de edifícios, especialmente em São Paulo, onde a ventilação natural se mostra crucial para melhorar o desempenho. Além disso, a absorção solar da envoltória e a transmitância térmica das paredes também desempenham papéis significativos.

Baghoolizadeh et al. (2023) utilizaram simulações com os softwares EnergyPlus e jEPlus, foram investigadas 21 variáveis de projeto, incluindo pontos de ajuste e especificações de materiais. A análise de sensibilidade de Morris revelou insights sobre o impacto das variáveis nas funções objetivo. Em Teerã, Irã, considerando quatro direções geográficas, os resultados mostraram que persianas externas superam as internas em desempenho. Além disso, ângulos menores das lâminas melhoram o conforto visual, mas aumentam o consumo de eletricidade para iluminação.

Baba et al. (2022) desenvolveram uma metodologia que utiliza a Análise de Sensibilidade Global e Local para avaliar o impacto dos parâmetros da envoltória do edifício na temperatura operacional interna. O estudo considerou um arquétipo de casa isolada no Canadá, abrangendo diferentes períodos de construção, desde 1950 até edifícios de alta eficiência energética em Montreal, sob diferentes condições climáticas. Os resultados indicam que edifícios energeticamente eficientes podem ser mais resilientes às mudanças climáticas, desde que haja ventilação adequada. A redução dos valores de transmitância térmica (U) das janelas e paredes, bem como do coeficiente de ganho solar (SHGC), contribui para a diminuição da temperatura interna. No entanto, sem ventilação adequada, o risco de superaquecimento em edifícios eficientes pode ser maior do que em edifícios antigos. A taxa de infiltração também desempenha um papel significativo no aumento da

temperatura interna. Vale ressaltar que a ventilação natural é eficaz para reduzir o risco de superaquecimento no clima atual, mas em cenários futuros, medidas adicionais de sombreamento interno e externo serão necessárias.

Saurbayeva et al. (2023) investigaram a viabilidade econômica e ambiental de edifícios que utilizam materiais de mudança de fase em climas de savana tropical. Diversos parâmetros foram considerados, incluindo o layout do edifício, as características térmicas do envelope e as medidas de eficiência energética. Para avaliar essa viabilidade, aplicaram-se análises de sensibilidade global por meio de métodos como os efeitos elementares de Morris, o Coeficiente de Regressão de Rank Padrão e os Coeficientes de Correlação de Rank Parcial. Além disso, utilizou-se o método One-At-Time para análise de sensibilidade local. Concluiu-se que a seleção criteriosa dos parâmetros iniciais desempenha um papel fundamental na redução do consumo de energia em edifícios.

Portanto compreender e modelar adequadamente a transferência de calor em edificações é essencial entender o desempenho térmico dos ambientes construídos. Para obter resultados precisos, é fundamental considerar o comportamento dos parâmetros termofísicos envolvidos. Esses parâmetros são aqueles que dependem da temperatura e contemplam desde propriedades termofísicas dos materiais – como condutividade térmica, calor específico, absorvidade solar, emissividade e densidade – até os algoritmos ou correlações usadas para determinar os coeficientes convectivos. Essa compreensão é crucial para a eficácia das análises e projetos relacionados ao conforto térmico e à eficiência energética (Silva & Ghisi, 2020).

Nos trabalhos analisados, foi observado que poucos exploram simultaneamente os softwares EnergyPlus, jEPlus e jEPlus+EA em climas brasileiros. Nesse contexto, a sugestão da análise de sensibilidade global de parâmetros termofísicos em diferentes climas brasileiros pode contribuir para o desenvolvimento de novos materiais e estratégias construtivas mais eficientes e sustentáveis. Havendo assim duas lacunas de pesquisa para poder serem exploradas e possivelmente preenchidas com o desenvolvimento deste artigo.

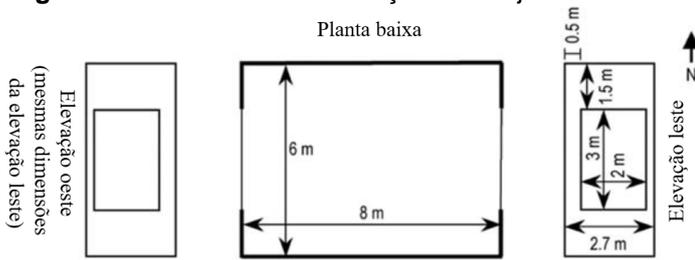
Portanto, neste estudo, será analisada a influência de parâmetros termofísicos nos resultados relacionados ao consumo energético obtidos por meio de simulações termoenergéticas em Brasília e Curitiba, pertencentes a diferentes zonas bioclimáticas brasileiras.

2. Metodologia

A construção do modelo de simulação no EnergyPlus foi baseada na norma ASHRAE 140 (2017) da *American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers*. Esta norma estabelece um procedimento padrão para avaliar as capacidades técnicas e a utilidade de softwares utilizados no cálculo do desempenho térmico de edifícios e seus sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado. O objeto de estudo foi o caso 620,

conforme especificado nesta norma, e está ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Planta baixa e elevações do objeto de estudo.



Os arquivos climáticos para Curitiba e Brasília foram definidos utilizando os arquivos Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) observando a zona bioclimática brasileira na qual as localidades estão inseridas, respectivamente, zona bioclimática 1 e zona bioclimática 4 de acordo com a ABNT NBR 15220-3 (2005).

As cargas internas foram definidas de acordo com a norma ABNT NBR 15575-1(2024) referentes ao calor produzido pelo usuário, equipamentos elétricos e de iluminação, listados na Tabela 1. Foi considerado um ambiente misto e apenas um usuário sentado assistindo televisão.

Tabela 1 – Parâmetros de fontes de calor.

Fontes de Calor		Ambiente
Usuário	Calor produzido por área de superfície corporal [W/m ²]	60,0
	Fração radiante [-]	0,30
	Calor produzido por uma pessoa com de área 1,8m ² de superfície corporal [W]	108
Iluminação	Densidade de potência instalada [W/m ²]	5,00
	Fração radiante [-]	0,32
	Fração visível [-]	0,23
Equipamentos	Potência [W]	120
	Fração radiante [-]	0,30

Os *setpoints* de aquecimento e resfriamento foram definidos em 16°C e 26°C, respectivamente, com base no estudo de Nunes e Giglio (2022).

O sistema de ar-condicionado, iluminação e equipamentos elétricos foram considerados ligados 100% do tempo, além do usuário, para haver valores significativos nos dados.

A ventilação natural não foi considerada, uma vez que o objetivo é avaliar o consumo energético para a climatização artificial conforme a faixa de temperatura estabelecida pelos *setpoints*.

Os outputs foram Energia Elétrica (kWh) para aquecimento e resfriamento.

As principais configurações extras foram em função do algoritmo de balanço térmico e algoritmo de transferência

de calor com a superfície terrestre definidas de acordo com o Manual do Software (DOE, 2024).

No software jEPlus foram adicionados os parâmetros termofísicos e seus valores seus valores, listados na Tabela 2, definidos com base na bibliografia.

Tabela 2 – Parâmetros termofísicos analisados.

Nº	Parâmetro termofísico	Valores		
P1	Transmitância solar [-]	0,1	0,45	0,8
P2	Condutividade térmica[W/mK]	0,1	0,5	1
P3	Calor específico [J/kgK]	100	700	1300

As funções objetivo foram determinadas como minimização do consumo energético para resfriamento e aquecimento. As configurações de extração de dados de saída de cada rodada foram definidas para coletar os dados necessários das inúmeras rodadas geradas.

No software jEPlus+EA ou JEA foi necessário o modelo do jEPlus, que trouxe consigo o modelo do EnergyPlus já parametrizado além dos arquivos climáticos do software anterior, que nesse software será tratado como parâmetro também.

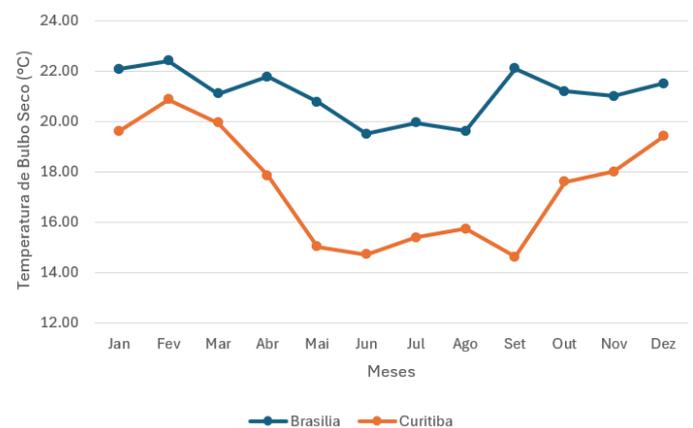
As explorações de dados foram por meio da análise de sensibilidade global utilizando os efeitos elementares de Morris, como utilizado por Nunes e Giglio (2022).

3. Resultados

A seguir apresentam-se os resultados das médias mensais da temperatura de bulbo seco, consumo energético, análise paramétrica e análise de sensibilidade global para as localidades.

As médias mensais de Curitiba e Brasília são ilustradas no gráfico da Figura 2.

Figura 2 - Gráfico das médias mensais de temperatura.

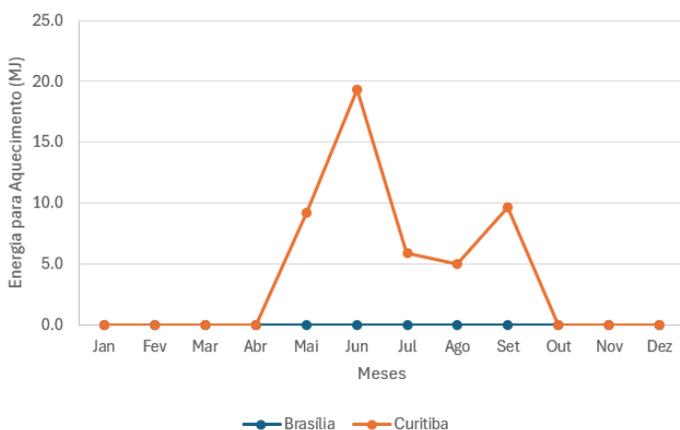


Observa-se que Curitiba apresenta temperaturas médias mais baixas em comparação com Brasília. Essa diferença climática pode ser atribuída à localização geográfica das

duas cidades: Curitiba está situada no sul do Brasil, enquanto Brasília está localizada na região centro-oeste do país. A posição geográfica de Curitiba, mais ao sul, pode contribuir para um clima mais ameno e temperaturas mais baixas ao longo do ano. Em contraste, Brasília, localizada no centro-oeste, experimenta temperaturas médias mais altas podendo ser devido às características climáticas da região. Essas observações estão em consonância com os resultados apresentados por Nunes e Giglio (2022), que também destacam as variações climáticas entre essas duas regiões.

A Figura 3 mostra a energia para o aquecimento da residência em Curitiba e Brasília.

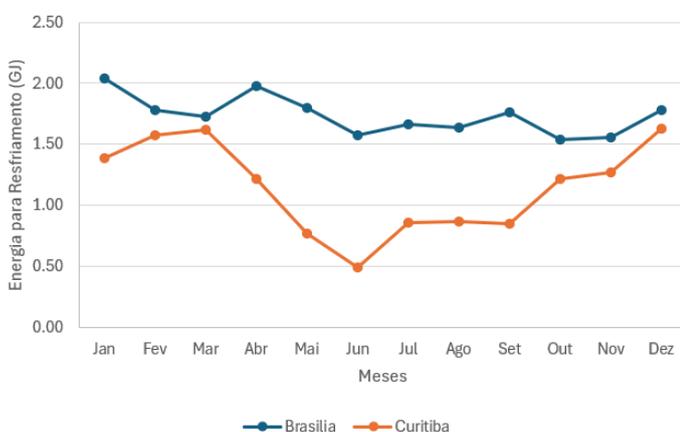
Figura 3 - Gráfico de energia para aquecimento.



Para o caso estudado, observa-se que em Curitiba, devido às temperaturas mais baixas durante o inverno, o uso de aquecimento é necessário em alguns meses do ano. Em contraste, em Brasília, onde o clima é mais ameno e as temperaturas são mais estáveis ao longo do ano, o uso de aquecimento não se faz necessário. Essa diferença se deve às variações climáticas entre as duas cidades, influenciadas por fatores como altitude, latitude e padrões climáticos regionais.

A Figura 4 mostra a energia para o aquecimento da residência nas duas localidades.

Figura 4 - Gráfico de energia para resfriamento.

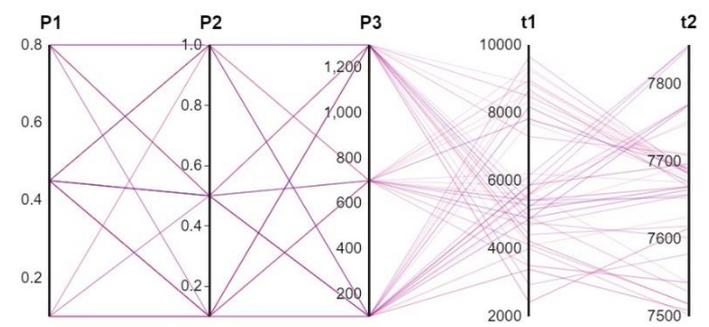


Pode-se afirmar que, em ambos os casos estudados, há

uma demanda significativa de energia para resfriamento ao longo de todo o ano. Essa necessidade é ainda mais pronunciada no caso de Brasília, devido às suas temperaturas médias mensais mais elevadas. Em Brasília, o clima quente e estável faz com que o uso de sistemas de resfriamento possa ser essencial em ambientes internos. Por outro lado, embora Curitiba também exija energia para resfriamento, essa demanda pode ser menos intensa e concentrada em períodos específicos do ano, devido às suas temperaturas mais amenas e variações sazonais como mostra o gráfico da Figura 2.

A Figura 5 mostra o gráfico de coordenadas paralelas, que relaciona todos as combinações de parâmetros e as suas respostas.

Figura 5 - Gráfico de coordenadas paralelas.

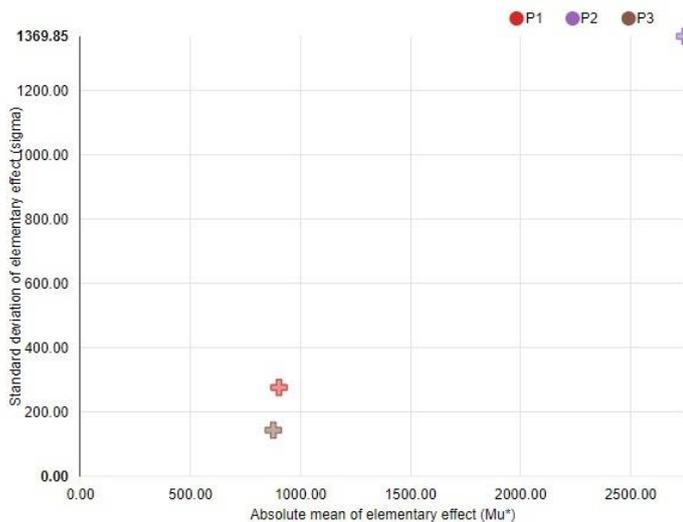


As letras maiúsculas representam os parâmetros, enquanto as letras minúsculas indicam os objetivos. Especificamente: t1: Energia para aquecimento; e t2: Energia para resfriamento.

Pode-se observar que, ao analisar os dados, quanto menores forem os valores da condutividade térmica dos materiais utilizados, e quanto maiores forem os valores do calor específico, menores serão as quantidades de energia necessárias tanto para aquecer quanto para resfriar o ambiente objeto de estudo.

A Figura 6 e a Figura 7 apresentam os gráficos de sensibilidade global por meio dos efeitos elementares de Morris, para os indicadores energia de aquecimento e energia de resfriamento.

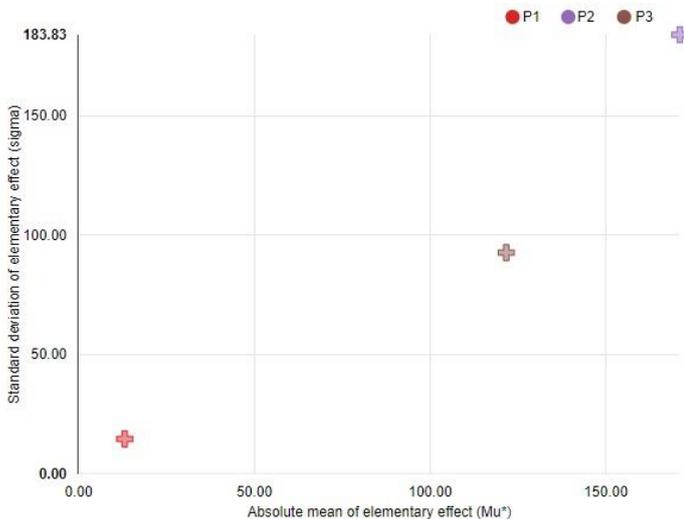
Figura 6 – Índices de sensibilidade global para o indicador energia de aquecimento.



Conforme ilustrado na Figura 5, observa-se que a energia necessária para o aquecimento é altamente sensível à condutividade térmica dos materiais utilizados. Esta imagem também revela que a energia de aquecimento é quase igualmente sensível aos parâmetros de transmitância solar e calor específico.

Em outras palavras, além da condutividade térmica, a transmitância solar e o calor específico dos materiais desempenham papéis cruciais na determinação da quantidade de energia necessária para aquecer um ambiente.

Figura 7 – Índices de sensibilidade global para o indicador energia de resfriamento.



Mais uma vez, observa-se uma grande sensibilidade ao parâmetro de condutividade térmica, desta vez em relação ao indicador de energia de resfriamento. Além disso, nota-se que a transmitância solar não tem um impacto tão significativo nas medidas de energia de resfriamento quanto o calor específico.

4. Considerações Finais

Este estudo pode contribuir significativamente para a busca por eficiência energética em edificações, especialmente no contexto das mudanças climáticas. O artigo pode estar trazendo inovação ao aplicar uma análise de sensibilidade global dos parâmetros termofísicos em zonas bioclimáticas brasileiras distintas, de Brasília e de Curitiba, utilizando os softwares EnergyPlus, jEPlus e jEPlus+EA simultaneamente. Os resultados para o objeto analisado, identificaram a condutividade térmica como o parâmetro mais influente no consumo energético, tanto para aquecimento quanto para resfriamento. Essas descobertas podem ajudar a construir uma base para o desenvolvimento de materiais e estratégias construtivas mais eficientes no Brasil.

Referências

_____. NBR 15.575: Edificações habitacionais – desempenho. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15.220: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers. ANSI/ASHRAE 140-2017: Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs. Atlanta, 2017.

Baba, F. M., Ge, H., Wang, L. (Leon), & Zmeureanu, R. (2022). Do high energy-efficient buildings increase overheating risk in cold climates? Causes and mitigation measures required under recent and future climates. *Building and Environment*, 219, 109230. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2022.109230>

Baghoolizadeh, M., Rostamzadeh-Renani, M., Rostamzadeh-Renani, R., & Toghraie, D. (2023). Multi-objective optimization of Venetian blinds in office buildings to reduce electricity consumption and improve visual and thermal comfort by NSGA-II. *Energy and Buildings*, 278, 112639. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2022.112639>

Borgonovo, E., & Plischke, E. (2016). Sensitivity analysis: A review of recent advances. *European Journal of Operational Research*, 248(3), 869–887. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2015.06.032>

Delgarm, N., Sajadi, B., Azarbad, K., & Delgarm, S. (2018). Sensitivity analysis of building energy performance: A simulation-based approach using OFAT and variance-based sensitivity analysis methods. *Journal of Building Engineering*, 15, 181–193. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2017.11.020>

DOE – U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. EnergyPlus Version 24.1.0 Documentation: Engineering Reference. 2024

EPE: Balanço Energético Nacional (BEN) 2024: Ano base 2023, 2024. <https://ben.epe.gov.br>.

IPCC: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero



(eds.)). IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.

Nunes, G., & Giglio, T. (2022). Effects of climate change in the thermal and energy performance of low-income housing in Brazil—assessing design variable sensitivity over the 21st century. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168, 112885. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2022.112885>

Nunes, G. H., & Giglio, T. G. F. (2022). Análise de sensibilidade de variáveis termofísicas de habitações brasileiras sob a influência das mudanças climáticas. *Ambiente Construído*, 22(4), 91–120. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212022000400630>

Saurbayeva, A., Memon, S. A., & Kim, J. (2023). Sensitivity analysis and optimization of PCM integrated buildings in a tropical savanna climate. *Journal of Building Engineering*, 64, 105603. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2022.105603>

Silva, A. S., & Ghisi, E. (2020). Estimating the sensitivity of design variables in the thermal and energy performance of buildings through a systematic procedure. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118753. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.118753>

Trenberth, K. E., & Fasullo, J. T. (2013). An apparent hiatus in global warming? *Earth's Future*, 1(1), 19–32. <https://doi.org/10.1002/2013EF000165>

Triana, M. A., Lamberts, R., & Sassi, P. (2018). Should we consider climate change for Brazilian social housing? Assessment of energy efficiency adaptation measures. *Energy and Buildings*, 158, 1379–1392. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2017.11.003>

Zhang, Y. (2009). 'Parallel' EnergyPlus and the development of a parametric analysis tool. *Building Simulation Conference Proceedings*, 11, 1382-1388. <https://doi.org/10.26868/25222708.2009.1382-1388>

Zhang, Y., & Jankovic, L. (2017). JEA, An Interactive Optimisation Engine for Building Energy Performance Simulation. *Building Simulation Conference Proceedings*, 15, 2232–2241. <https://doi.org/10.26868/25222708.2017.607>



Sustentabilidade do Uso do UHPC e a Visibilidade da Sua Microestrutura

Santos, Lucas Gomes dos¹, Manzato, Bárbara Contieri², Calil, Victória³, Vaz, Viviane V.⁴ Jacintho, Ana Elisabete P. G. A.⁵.

1. Graduando Engenharia Civil, tenlucasgomes@gmail.com, PUC Campinas
2. Graduando Engenharia Química, bc.manzato@gmail.com, PUC Campinas
3. Graduando Engenharia Civil, victoria.c1@pucampinas.edu.br, PUC Campinas
4. Professora Mestre Engenharia Civil, viviane.visnardi@puc-campinas.edu.br, PUC Campinas
4. Professora Doutora Sistemas de Infraestrutura Urbana, anajacintho@puc-campinas.edu.br, PUC Campinas

Resumo: As mudanças climáticas vêm impactando o planeta em vários aspectos da vida humana e um desses aspectos está relacionado à construção civil. Portanto repensar os materiais de construção é imprescindível para a sustentabilidade do meio urbano. Este trabalho apresenta o material UHPC do ponto de vista sustentável e com relação à sua microestrutura, de forma a se fazer uma análise do quanto ainda se pode trabalhar para que ele possa ser produzido de forma mais sustentável. Pelo fato de ser um concreto com alto consumo de cimento e adição de fibras na sua matriz, uma análise superficial levaria a crer que se trata de um material pouco sustentável, entretanto com uma análise mais aprofundada, pode-se constatar que se trata de um material tão sustentável quanto outros concretos com relação à emissão de CO₂. Com relação à microestrutura do UHPC, notou-se uma boa aderência da matriz cimentícia com as fibras.

Palavras-chave: UHPC, Sustentabilidade, Microestrutura.

1. Introdução

A temperatura global tem apresentado um aumento gradual nos últimos tempos. Segundo o relatório divulgado em 2023 pelo IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), as atividades humanas que geram emissões de gases de efeito estufa são responsáveis pela elevação da temperatura média da superfície terrestre. Entre 2011 e 2020, foi registrado um aumento de 1,1 °C na temperatura média em comparação com o período de 1850-1900. Esse aquecimento traz consequências devastadoras para a humanidade. Diante desse desafio, a ONU (Organização das Nações Unidas) tem enfatizado cada vez mais a importância da implementação dos ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável). Introduzidos em 2016, esses objetivos compreendem 17 metas a serem alcançadas (figura 1), visando a promoção de um crescimento econômico que não esteja associado a problemas como pobreza, desigualdade e mudanças climáticas (ONU, 2023).

Cada objetivo de desenvolvimento sustentável propõe-se a melhorar um aspecto da vida terrestre:

1. Erradicação da pobreza: acabar com a pobreza em todas as suas formas e lugares.
2. Fome zero: acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhorar a nutrição promovendo a agricultura sustentável.



Figura 1 – Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2023)

3. Boa saúde e bem-estar: garantir uma vida saudável e promover o bem-estar para todos em todas as idades.
4. Educação de qualidade: garantir uma educação de qualidade inclusiva e equitativa, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos.
5. Igualdade de gênero: alcançar a igualdade de gênero e capacitar todas as mulheres e meninas.
6. Água e saneamento: garantir a disponibilidade e o gerenciamento sustentável de água e saneamento para todos.
7. Energia acessível e limpa: garantir o acesso a energia confiável, sustentável e moderna para todos.
8. Emprego digno e crescimento econômico: promover crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo, e trabalho decente para todos.
9. Indústria, inovação e infraestrutura: construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável, e promover a inovação.
10. Redução das desigualdades: reduzir as desigualdades dentro e entre países.
11. Cidades e comunidades sustentáveis: tornar cidades e assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis.
12. Consumo e produção responsáveis: garantir um padrão sustentável de consumo e produção.
13. Combate às alterações climáticas: tomar medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos.



14. Vida debaixo d'água: conservar e usar de forma sustentável os oceanos, mares e recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.

15. Vida sobre a terra: proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerenciar florestas de forma sustentável, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra, e impedir a perda da biodiversidade.

16. Paz, justiça e instituições fortes: promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, fornecer acesso à justiça para todos e construir instituições efetivas, responsáveis e inclusivas em todos os níveis.

17. Parcerias em prol das metas: fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

Os ODS mencionados foram estabelecidos para assegurar que o crescimento populacional, cada vez mais acelerado, ocorra de maneira sustentável (ONU, 2023). Com o aumento da população, cresce também a necessidade de habitações que ofereçam proteção contra eventos climáticos adversos.

Para que essas habitações sejam mais seguras, a qualidade dos materiais e da sua execução precisa ser mais alta e essa alta qualidade é encontrada na construção industrializada. Um dos principais materiais utilizados por essa indústria é o concreto.

Recentemente, o Concreto de Ultra-Alto Desempenho reforçado com fibras (UHPC) emergiu como um forte candidato para obras de grande porte, fachadas, construção, restauração e manutenção de pontes e grandes estruturas. Devido às suas excelentes propriedades mecânicas, o UHPC tem apresentado um crescimento significativo em projetos estruturais e arquitetônicos.

Essas propriedades permitem a redução da seção transversal dos elementos estruturais, otimizando o uso de materiais e viabilizando a criação de peças mais leves e esbeltas. Embora apresente um custo inicial mais elevado em comparação ao concreto convencional, o UHPC reduz a necessidade de manutenção ao longo do tempo, o que resulta em economia a longo prazo, compensando seu custo inicial mais alto.

Devido a sua durabilidade e permeabilidade, o UHPC tem sido muito utilizado na construção de pontes protendidas, cuja infraestrutura recebe uma alta carga e que estão localizadas em áreas de risco sísmico. Um exemplo é o Equador e Colômbia, localizados na zona sísmica do cinturão do Pacífico, cujo movimentos telúricos ameaçam significativamente a integridade de suas pontes (Patiño-Yépez, Maldonado-Noboa e Maldonado-Noboa, 2023).

A partir de um estudo que visava investigar as principais causas de desabamentos de pontes na Colômbia, desde 1986 até 2009, foi concluído que dos 63 casos, 36% correspondem a falhas na estrutura metálica por deficiências estruturais, e os 64% restante correspondem a pontes de concreto que desabaram por efeito da escoriação e sobrecargas, evidenciando uma deficiência nos projetos, construções e manutenções dessas pontes (Diaz, Moreno

e Mohammadi, 2009). Exemplos assim tornam significativa e necessária a aplicabilidade do UHPC na construção de pontes, principalmente em regiões localizadas em áreas de risco sísmico.

Além de suas aplicações em projetos estruturais, o UHPC tem sido amplamente empregado em elementos arquitetônicos devido à sua capacidade de proporcionar peças leves e esbeltas.

Alguns exemplos são a Torre do Porto em Antuérpia, Bélgica; elementos arquitetônicos da Igreja Sagrada da Família em Barcelona, Espanha; The Technology Gateway do aeroporto internacional Roissy CDG em Paris, França. Além disso, o KICT (Korea Institute of Construction Technology) está conduzindo o projeto "Super Bridge 200 – Desenvolvimento de Ponte Estaiada de Cabo Híbrido de Baixo Custo e Vida Longa", onde o UHPC será aplicado a fim de reduzir os custos de manutenção de pontes de longo vão e dobrar sua vida útil (Diaz, Moreno e Mohammadi, 2009).

Apesar das suas excelentes propriedades de resistência e de durabilidade, o UHPC ainda enfrenta desafios relacionados ao impacto ambiental na sua produção.

O cimento é um material de construção com grande emissão de gases poluentes na sua fabricação e é um material de grande quantidade de consumo na produção do UHPC, muito mais do que na produção do concreto convencional.

À medida que a resistência do UHPC aumenta, também aumenta a emissão de carbono e o consumo de energia, devido ao maior consumo de cimento, quase três vezes mais do que no concreto convencional (Sumitomo, Pimentel e Jacintho, 2021).

Entretanto, como as peças de UHPC são mais leves e possuem uma seção transversal menor em comparação com o concreto convencional, elas podem ser transportadas com menos viagens, reduzindo a emissão de CO₂ durante o transporte. Além disso, o uso de sílica ativa e a ausência de brita ajudam a minimizar os impactos ambientais. (Sumitomo, Pimentel e Jacintho, 2021).

O objetivo deste trabalho foi analisar a microestrutura de um UHPC com um blend de fibras de aço e PVA, bem como o impacto ambiental que este UHPC pode ter em termos de emissão de CO₂, levando em consideração a matéria prima para a sua produção.

2. Revisão de literatura

Visando adquirir mais conhecimentos acerca do UHPC, analisando suas possíveis aplicações/limitações e aspectos ambientais e de sustentabilidade, os seguintes artigos foram apurados. O primeiro foi o de Sheheryar, Rehan e Nehdi(2021), o objetivo desta pesquisa foi verificar se o UHPC pode aumentar a sustentabilidade nas construções civis. Para realizar o estudo, foi adotada a técnica de dinâmica de sistemas (SD). A abordagem SD é geralmente utilizada na modelagem de sistemas com consequências imprevisíveis ou não lineares, sendo dividida em abordagens qualitativas, como o pensamento sistêmico, e quantitativas, como a utilização de diagramas de fluxo para representar e resolver o sistema numericamente.

No estudo, o autor utilizou previsões de crescimento populacional desenvolvidas pela ONU para determinar se e quanto à substituição do concreto convencional pelo UHPC pode ter impactos positivos no meio ambiente. Isso porque se acredita que as tendências futuras do consumo de cimento são influenciadas pelas tendências de crescimento populacional.

O segundo artigo analisado foi o de Santoro e Kripka(2016), neste estudo ele determina maneiras de se calcular as emissões de Dióxido de carbono na fabricação dos concretos convencionais. Embora não cite o UHPC, a maneira de calcular a emissão para este tipo de concreto é equivalente, portanto, pode-se utilizar a lógica apresentada. O terceiro trabalho analisado foi o de Fernandes(2011), que avaliou o UHPC, examinando suas características inovadoras, áreas de aplicação e composição. O autor explora de maneira detalhada a composição do UHPC, comparando a vida útil de estruturas feitas com concretos convencionais e UHPC. Além disso, ele analisa as resistências mecânicas de ambos os materiais, bem como as diferenças geométricas das vigas construídas com os diferentes materiais estudados em sua pesquisa, como ilustrado nas figuras 2 e 3.

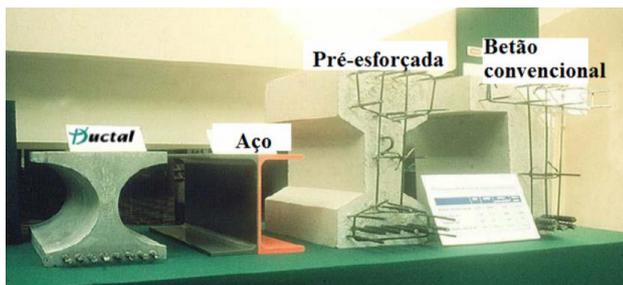


Figura 2 – Comparação das dimensões da viga de UHPC em relação a viga equivalente de aço, concreto protendido e concreto convencional – Fernandes(2011)



Figura 3 – Laje (1,8 m x 3 m), constituída por UHPC de 25 mm de espessura suportando um automóvel - Fernandes(2011)

O quarto estudo analisado, foi conduzido pela The Federal Highway Administration (FHWA), conforme a publicação FHWA-HRT-19-011. Trata-se do caso da reforma em uma ponte da rodovia I-81, perto de Syracuse, Nova Iorque, nos Estados Unidos da América. A ponte possui sua superestrutura feita em aço, e foram feitos reparos em seu tabuleiro e guarda-corpo utilizando o UHPC. Inicialmente foi

demolido e retirado todo o tabuleiro antigo, deixando a apenas a estrutura metálica e os pinos de cisalhamento em aço, conforme a Figura 4.



Figura 4 – Superestrutura preparada para a instalação dos painéis pré-moldados. – FHWA-HRT-19-011.

Após preparo da superestrutura original, foram posicionados os painéis pré-moldados, que já possuíam também os guarda-corpos integrados, conforme a figura 5. Houve a aplicação de epóxi nas emendas as cordoalhas de proteção, bem como a preocupação em deixar a superfície dos agregados amostra, com a finalidade de aumentar a ligação nas superfícies de contato entre o concreto convencional e o UHPC, mostrado na figura 6.



Figura 5 – Posicionamento dos painéis pré-moldados com os guarda-corpo integrados. – FHWA-HRT-19-011.

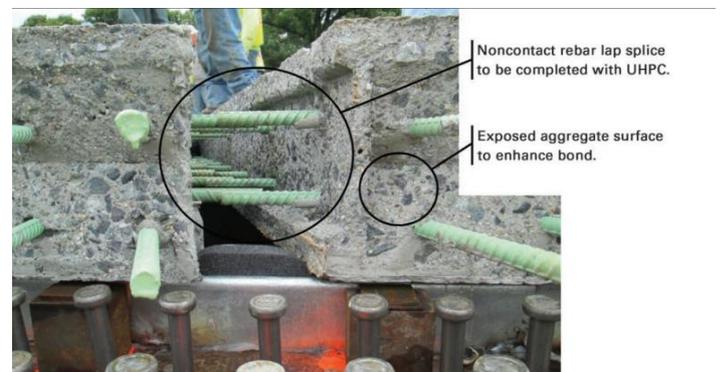


Figura 6 – Detalhamento das cordoalhas e da superfície dos painéis pré-moldados. – FHWA-HRT-19-011.

O resultado do posicionamento dos painéis pré-moldados é mostrado na figura 7. O UHPC então foi produzido em um par de misturadores instalados no canteiro do obras. Cada misturador produzia 0,5 m³ de UHPC por vez (conforme figura 8), que eram alternadamente descarregados. Foram utilizados plataformas de carregamento móveis para transportar o UHPC dos misturadores até as conexões que seriam preenchidas, conforme figura 9.

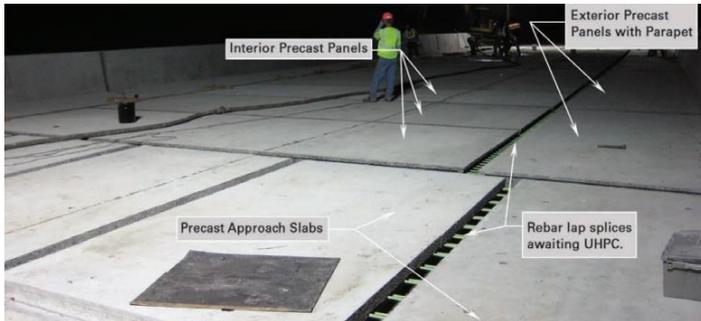


Figura 7 – Finalização do posicionamento do tabuleiro pré-moldado – FHWA-HRT-19-011.



Figura 8 – Misturadores produzindo o UHPC – FHWA-HRT-19-011.



Figura 9 – Despejo do UHPC para nas conexões pré-moldadas – FHWA-HRT-19-011.

Após a cura do UHPC, as fôrmas foram removidas e toda a superfície do tabuleiro foi retificada e ranhurada. Essa operação permitiu a criação de uma superfície de condução consistente e uniforme em todo o tabuleiro da ponte e a figura 10 mostra a pista liberada para o tráfego após todo o processo de reparo.



Figura 10 – Tabuleiro finalizado e ponte liberada para o tráfego. – FHWA-HRT-19-011.

3. Metodologia

Para a execução desta pesquisa foi realizada, inicialmente, uma pesquisa de artigos relevantes para o tema. Nesta etapa o maior objetivo era realizar um compilado das informações encontradas nos artigos de maior correlação com o estudo, como foi apresentado na revisão de literatura.

Como meio para buscar estes artigos, foram utilizadas três bases de dados principais: MDPI, Web of Science e Scopus. Nestas bases de dados, algumas palavras-chave essenciais para a pesquisa foram inseridas, entre elas UHPC, sustentabilidade, gases de efeito estufa, Dióxido de carbono, construção civil, entre outras. Para esta primeira avaliação, foram atribuídas restrições de tempo (2018-2023) e de tipo de trabalho (artigos científicos). Já no início das pesquisas, foi possível perceber que a busca pelos artigos, quando utilizadas as palavras-chave em inglês, era mais eficiente.

Em uma segunda etapa, foi realizado o cálculo da emissão de Dióxido de carbono (CO₂) proveniente da fabricação do UHPC e de outros concretos com diferentes traços. Para a realização dos cálculos, foram considerados os concretos com as seguintes resistências: 35 MPa, 55 MPa, 90 MPa e 132 MPa (UHPC). A resistência utilizada para o UHPC foi a encontrada no trabalho de Santos e Jacintho(2023). É importante observar que para a realização dos cálculos de emissão de gases estufa, o fator de emissão da cada matéria-prima foi considerado constante, sendo multiplicado pela contribuição, em massa, de cada uma para a composição de 1 m³ de concreto.

As resistências usadas nesta pesquisa foram selecionadas porque as quantidades dos materiais usados nos traços eram conhecidas.

As quantidades dos materiais usados em cada traço e os fatores da emissão de CO₂ para cada material estão apresentados na tabela 1.

Na terceira etapa deste trabalho foi feita uma investigação da Microestrutura deste UHPC utilizando equipamentos de microscopia eletrônica de varredura.



Tabela 1 – Contribuição das matérias-primas na emissão total de CO_2 para a produção de $1 m^3$ de concretos com diversas resistências

Material	Quantidade (Traço para 35 MPa)	Fator de emissão	Emissão total (Kg de CO_2)	Quantidade (Traço para 55 MPa)	Fator de emissão	Emissão total (Kg de CO_2)	Quantidade (Traço para 90 MPa)	Fator de emissão	Emissão total (Kg de CO_2)	Quantidade (Traço para 132 MPa)	Fator de emissão	Emissão total (Kg de CO_2)
Cimento CP-II-F	385 Kg	0,75	289	450 Kg	0,75	337,5	500 Kg	0,75	375	-	0,75	-
Cimento CP-V-ARI	-	0,6	-	-	0,6	-	-	0,6	-	922,88 Kg	0,6	553,728
Areia	750 Kg	0,01251	9,4	685 Kg	0,01251	8,57	750 Kg	0,01251	9,4	1015,17 Kg	0,01251	12,7
Brita	1025 Kg	0,004669	4,8	950 Kg	0,004669	4,436	950 Kg	0,004669	4,436	950 Kg	0,004669	4,436
Sílica	-	0	-	-	0	-	50 Kg	0	0	179,04	-	0
Pó de Quartzo	-	0,01251	-	-	0,01251	-	-	0,01251	-	92,29 Kg	0,01251	1,155
Aditivo	2,5 L	-	0	1,8 L	-	0	2,5 L	-	0	36,92 L	-	0
Água	270 L	-	0	205 L	-	0	270 L	-	0	175,35 L	-	0
Fibras de Aço	-	0,0016	-	-	0,0016	-	-	0,0016	-	146,01 Kg	0,0016	0,233616
Fibras de PVA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,82	-	0

Para a realização das análises da microestrutura do UHPC, foi utilizado o Microscópio Eletrônico de varredura JEOL modelo JSM-IT500HRLA (canhão de emissão de campo-FEG) com detector EDS JEOL EX-74600U4L2Q e detector de catodoluminescência Gatan Chroma CL modelo DIGISCAN II, existente no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do Instituto de Geociências da Universidade de Campinas (UNICAMP). As amostras foram partidas em pequenos pedaços de aproximadamente 1mm com a finalidade de se adaptarem as dimensões possíveis de serem analisadas no equipamento. As amostras foram preparadas com uma fina camada de Ouro (Au), como parte dos requisitos técnicos necessários para visualização em MEV, como mostra a figura 11. A cruzeta vermelha indica o ponto exato de onde as imagens foram obtidas.

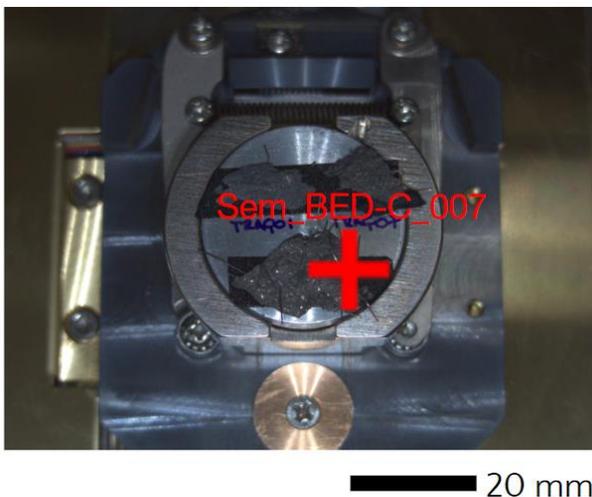


Figura 11 – Fragmento de UHPC preparado no laboratório MEV.

4. Emissão de CO₂ de concretos convencionais e UHPC

Para a realização destes cálculos, a seguinte análise fez-se necessária: concretos com maiores resistências exigirão volumes menores para suportar cargas equivalentes, principalmente na execução de pilares.

Dessa forma, pode-se calcular o volume de concreto, de cada resistência, que será necessário para suportar uma dada carga em pilar. Tal carga pode ser determinada usando como base o concreto de 35 MPa.

Tomando como base um pilar de 35 MPa com seção transversal de 50 × 50 cm, e com área da seção transversal igual a 2500 cm², é cabível determinar a força resistente que pode ser aplicada sobre ele, utilizando a equação 1:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{(Equação 1)}$$

A tensão deve ser menor, ou igual, a resistência do concreto f_{ck} , então nas equações 2 e 3 é apresentado a determinação da força máxima resistente do pilar com concreto de 35MPa e 50 cm x 50 cm de seção transversal:

$$\frac{F}{A} \leq f_{ck} \quad \text{(Equação 2)}$$

$$F = 8750 \text{ kN} \quad \text{(Equação 3)}$$

Considerando que este pilar possui 3 m de altura, o volume dele pode ser determinado:

$$V = 0,75 \text{ m}^3 \quad \text{(Equação 4)}$$

Dessa forma, quando se multiplica o valor total da emissão de CO₂ gerada na fabricação do concreto de 35 MPa pelo volume real de concreto exigido por essa carga, obtém-se uma emissão real de 227 Kg de CO₂.

Considerando a carga F constante e igual à 8750kN como fixa para todos os pilares, uma análise equivalente pode ser aplicada, para os concretos das demais resistências (resultados apresentados na tabela 2).

Tabela 2 – Resumo das emissões totais de CO₂, para a produção de concretos que resistam a 8750 KN, de diferentes traços.

Resistência (MPa)	Seção Transversal (cm ²)	Volume de concreto do pilar (m ³)	Emissão (Kg de CO ₂ / m ³ de concreto)
35	2500	0,75	227
55	1591	0,48	168
90	972	0,27	105
132 (UHPC)	663	0,20	116

Emissão total de Dióxido de Carbono para concretos de resistências diferentes

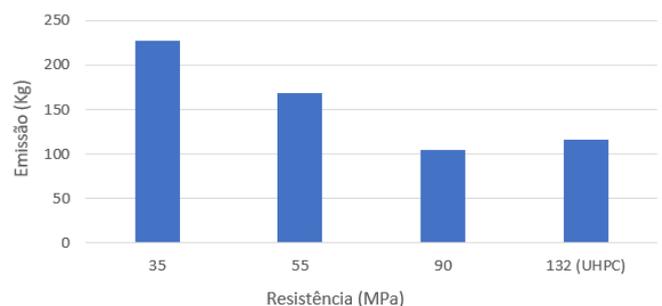


Figura 12 – Gráfico de emissão de dióxido de carbono versus resistência do concreto

5. Análise de Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV)

Para se analisar a microestrutura do UHPC, que possui a maior quantidade de cimento dos traços analisados no item 4, o que leva também à uma alta quantidade de emissão de gás carbônico na atmosfera, foi seguido o traço proposto por Santos e Jacintho(2023).

Observou-se que tanto a fibra de aço quanto a fibra de PVA apresentaram boa aderência na zona de transição ao redor da matriz cimentícia. No entanto, notaram-se pequenas zonas de descolamento entre as fibras e a matriz, possivelmente geradas pelo fato de a amostra ter sido rompida no ensaio de compressão. Além disso, foram encontradas poucas bolhas de ar na matriz cimentícia, reforçando o quão baixo é o índice de vazios do UHPC, conforme apresentado na figura 12.

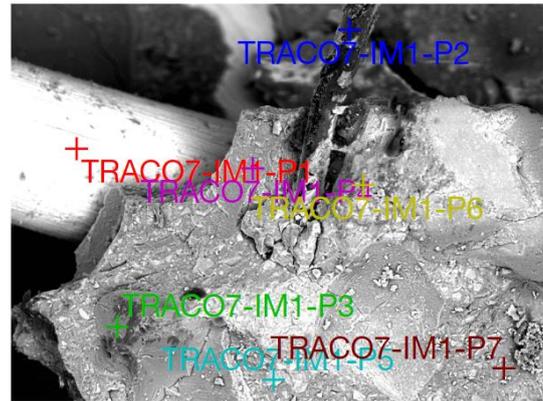


Figura 13 – Identificação dos elementos no UHPC.

O ponto identificado na cor vermelha, de etiquetagem TRACO7-IM1-P1, mostra os elementos químicos presentes na identificação da fibra metálica. Conforme a figura 14, pode observa-se um pico de presença do elemento ferro (Fe), dado as propriedades da própria fibra. Ressalta-se a presença do ouro (Au), que diz respeito à preparação da amostra, que é feita com uma fina camada de ouro, conforme explanado no método de preparação da amostra, e como será visto nas demais imagens.

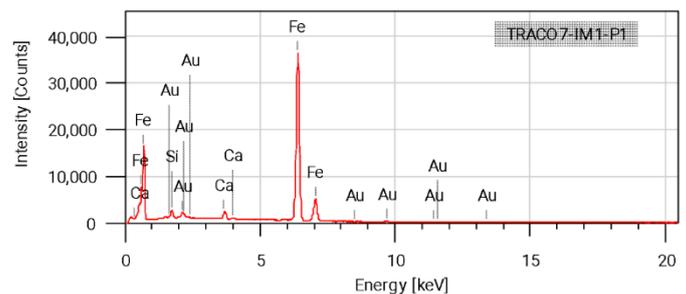


Figura 14 – TRACO 7-IM1-P1 (Identificação da Fibra Metálica)

Na figura 15, o ponto identificado na cor azul, de etiquetagem TRACO7-IM1-P2, mostra os elementos químicos presentes na identificação da fibra de PVA. Pode observa-se um pico de presença do elemento cálcio (Ca), dado as propriedades da própria fibra.

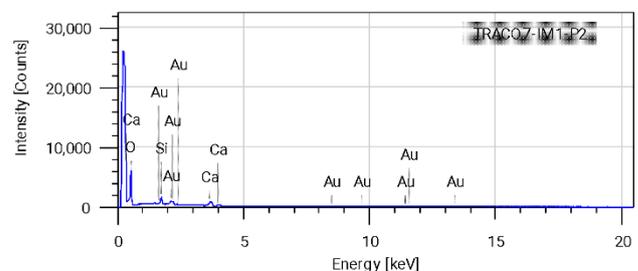


Figura 15 – TRACO 7-IM1-P2 (Identificação da Fibra PVA)

Para obter melhores dados sobre as características dos materiais analisados, o microscópio é capaz de selecionar cada ponto da imagem e apresentar os elementos químicos que compõe aquela seção. Na figura 13, mostra-se os pontos analisados.

Na figura 16, o ponto identificado na cor verde, de etiquetagem TRACO7-IM1-P3, mostra os elementos químicos presentes na identificação da sílica cuja fórmula

química é SiO₂. Pode observa-se um pico de presença dos elementos silício (Si) e oxigênio (O), conforme sua formulação química.

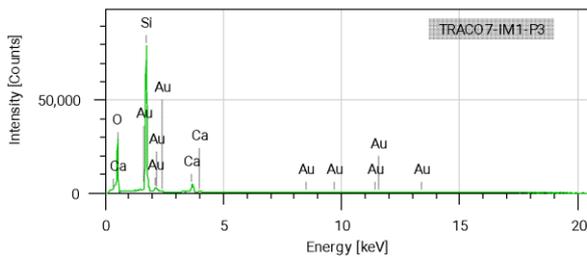


Figura 16 – TRACO 7-IM1-P3 (Identificação da Silica)

Na figura 17, o ponto identificado na cor amarela, de etiquetagem TRACO7-IM1-P6, mostra os elementos químicos presentes na identificação da areia, que é composto pelos elementos químicos originais da fragmentação da rocha que a compõe. Pode observa-se um pico de presença dos elementos silício (Si), cálcio (Ca) e oxigênio (O). O carbono (C) apresentado no gráfico pode ter sido apontado por ser uma região de encontro com a fibra de PVA, e foi identificado na amostra.

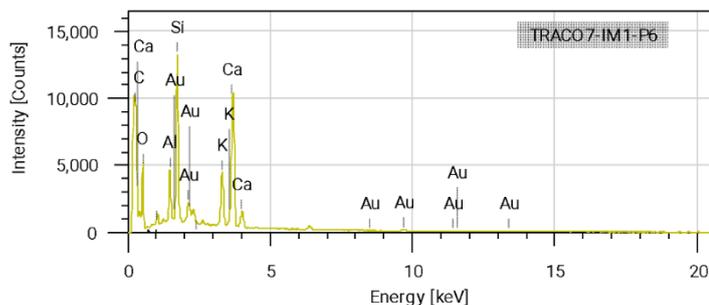


Figura 17 – TRACO 7-IM1-P6 (Identificação da Areia)

Na figura 18, o ponto identificado na cor vermelho escuro, de etiquetagem TRACO7-IM1-P7, mostra os elementos químicos presentes na identificação do cimento. Pode observa-se um pico de presença do cálcio (Ca), que é o principal elemento encontrado nas diferentes composições de cimentos.

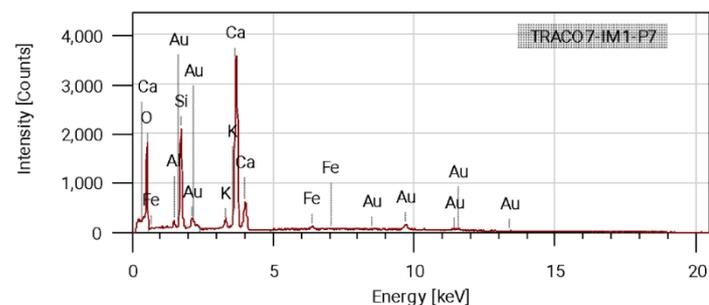
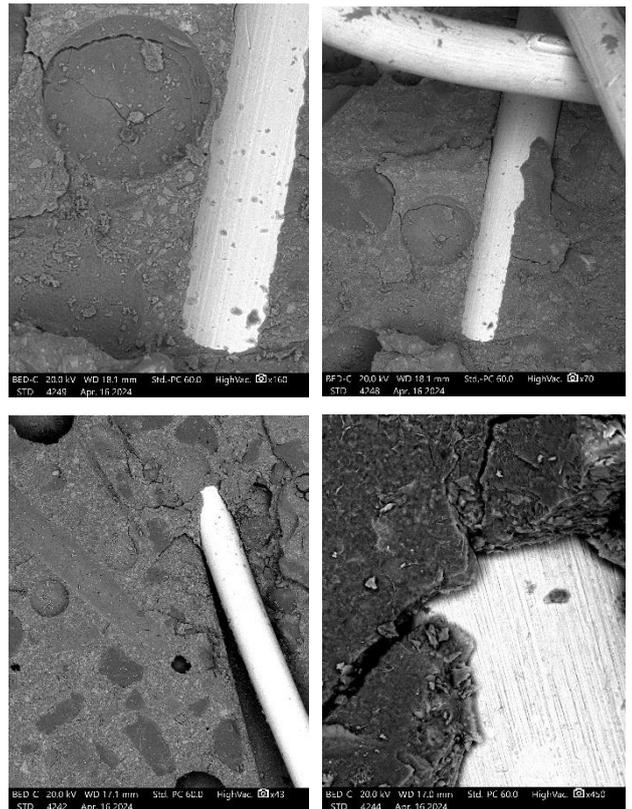


Figura 18 – TRACO 7-IM1-P7 (Identificação da Cimento)

Ao analisar um fragmento que contém quantidade significativa de fibras de aço aglomeradas, observa-se que a ligação entre as fibras de aço e a matriz cimentícia é relativamente forte, entretanto há espaços com “folga” entre os compostos, conforme observado na Figura 19. Especulou-se que a ITZ entre a fibra e a matriz pudesse ter sido comprometida por se tratar uma amostra que já havia sido rompida pelo ensaio à compressão. Portanto, interpretou-se que os resultados pudessem ter sido diferentes caso analisada uma amostra sem ter sido ensaiada.



Figuras 19 – Observação de MEV da ligação fibras x matriz nas fibras metálicas

6. Considerações Finais

Visando aprofundar-se na questão relacionada à sustentabilidade do UHPC, um dos objetivos e resultados desta pesquisa foi estimar a emissão de CO₂ que a produção de concretos de diferentes resistências pode causar, incluindo o UHPC. Além da obtenção da quantidade total de Dióxido de carbono emitida, em massa, também foram realizadas comparações entre as emissões provocadas pelos concretos convencionais e de altas resistências, mostrando o quanto a utilização do concreto convencional e do UHPC podem de fato acarretar consequências positivas ou negativas para a construção civil e o meio ambiente.

Além da análise da emissão de carbono, o conhecimento da microestrutura do UHPC pode contribuir no processo de escolha dos materiais ideais em um projeto, baseado em



suas especificações técnicas, em suas características mecânicas e em sua durabilidade. Portanto, as seguintes conclusões podem ser tiradas a partir das análises microscópicas:

- A fibra sintética e a fibra metálica mostraram boa aderência com a matriz cimentícia, com uma ligeira vantagem para a fibra sintética em alguns casos.

- O processo de cura úmida diminui os vazios do UHPC, auxiliando na hidratação completa dos compósitos cimentícios.

- Após o processo de cura, a matriz cimentícia apresenta uma boa homogeneidade entre os elementos que compõe o UHPC.

- Na análise de microscopia foi identificado que grãos de cimento permaneceram sem hidratação no UHPC, agindo como filler. Portanto é possível se buscar traços de UHPC com menor consumo de cimento, diminuindo ainda mais a emissão de CO₂ na atmosfera para a sua produção.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos técnicos do laboratório de Materiais de Construção e Estruturas da PUC Campinas, Igor e Diogo, bem como à técnica Érica do Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do Instituto de Geociências da Universidade de Campinas (UNICAMP) e à Evolução Engenharia. Também agradecem às empresas Tecnosil, BMRC, McBauchemie, CSN Cimentos e à Bekaert pela doação de materiais.

Referências

DIAZ, Edgar E. M.; MORENO, Federico. N.; MOHAMMADI, Jamshid. Investigation of Common Causes of Bridge Collapse in Colombia. **Structural Design and Construction**, Volume 14, número 4. 2009.

FERNANDES, Diogo A. F. **A aplicação estrutural de betões de elevado desempenho (HPC e UHPC)** Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa. 2011. Disponível em: <https://sites.fct.unl.pt/flat/files/fernandes_2011.pdf>.

FHWA-HRT-19-011 – Graybeal, B. (2010). **Design and Construction of Field-Cast UHPC Connections**, Report, FHWA, Washington, DC.

ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | As Nações Unidas no Brasil**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em 28/07/2024.

PATÍÑO-Yépez, J. M.; MALDONADO-Noboa, J. S.; MALDONADO-Noboa, C. H.. Avances del uso de hormigón de ultra alto rendimiento en vigas pretensadas: perspectivas desde la Maestría en Ingeniería Civil. **Revista Conrado**, 19(95), 95-103. 2023.

SANTORO, J. F.; KRIPKA, M. Determinação das emissões de dióxido de carbono das matérias primas do concreto produzido na região norte do Rio Grande do Sul. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 2, p. 35–49, 1 jan. 2016.

SANTOS, André M.; JACINTHO, Ana Elisabete P. G. A.. Características Mecânicas do UHPC: Resistência à Compressão e Resistência à Tração na Flexão. XXVIII Encontro de Iniciação Científica da PUC Campinas. 24 out. 2023

SHEHERYAR, M.; REHAN, R.; NEHDI, M. L. Estimating CO₂ Emission Savings from Ultrahigh Performance Concrete: A System Dynamics Approach. **Materials**, v. 14, n. 4, p. 995, 20 fev. 2021.

SUMITOMO, Guilherme S., PIMENTEL, Lia L., JACINTHO, Ana Elisabete P. G. A. Análise comparativa de emissão de CO₂ e consumo de energia entre o concreto convencional e o UHPC. **3º workshop de tecnologia e processos construtivos**. 2021.



BARREIRAS DE SEGURANÇA VIÁRIA

Gabriel Leite Elias¹, Maria Rachel de A. Russo²
Luísa A. Gachet³, Rosa Cristina C. Lintz⁴

1. Aluno de graduação, g234891@dac.unicamp.br, Faculdade de Tecnologia - UNICAMP
2. Professora Doutora, rachelrusso99@unifei.edu.br, Instituto de Recursos Naturais – UNIFEI
3. Professora Doutora, gachet@unicamp.br, Faculdade de Tecnologia – UNICAMP
4. Professora Doutora, rosaint@unicamp.br, Faculdade de Tecnologia – UNICAMP

Resumo

As barreiras de segurança são dispositivos instalados nas vias, como componente de segurança, para absorver a energia de impacto de veículos desgovernados, reduzindo a gravidade de acidentes e reconduzindo os veículos à faixa de tráfego. Dada a importância das barreiras de segurança, este estudo mostra os diversos tipos de barreiras utilizadas no Brasil, as características e propriedades dos diferentes materiais empregados na sua fabricação, além de identificar uma rodovia que possui o dispositivo no estado de São Paulo. Os tipos e características das barreiras de segurança mais utilizadas ao longo das rodovias são as barreiras de contenção metálica, pois se caracterizam como material de deformação dúctil.

Palavras-chave: barreiras de segurança, materiais de barreiras, absorção de impactos.

1. Introdução

As barreiras de segurança são consideradas como abordagens físicas ou não físicas para proteger os ativos dos danos (Sklet, 2006). Uma barreira de segurança pode incluir vários elementos de barreira técnica, operacional e organizacional, e pode desempenhar uma ou mais funções de segurança que determinam a finalidade da barreira (DNV, 2014).

As barreiras de segurança podem evitar a travessia do canteiro central pelos veículos desgovernados. Na aproximação aos meios urbanos, a importância das barreiras se evidencia pela sua capacidade de, além de absorver grande parte da energia de impactos, redirecionar os veículos para evitar que invadam zonas adjacentes e gerem mais acidentes envolvendo pedestres e outros veículos (ABNT NBR 15486:2016).

Nesta pesquisa foi feita uma revisão teórica sobre o assunto, um levantamento dos tipos de barreiras de segurança utilizadas no Brasil, identificação das características e propriedades dos materiais empregados na sua fabricação, um levantamento sobre as legislações referentes às barreiras de segurança e identificadas algumas das rodovias que empregam o dispositivo no estado de São Paulo.

2. Metodologia

O método de pesquisa abrange a revisão da literatura (características e propriedades dos materiais empregados na fabricação de barreiras de segurança e as legislações pertinentes) por meio de pesquisas em bases de dados de artigos científicos utilizando-se o Google Acadêmico, SciELO e Portal Capes.

A segunda etapa (identificação das rodovias que possuem barreiras de segurança no estado de São Paulo) foi realizada com auxílio do Google Earth, que apresenta um modelo tridimensional do globo terrestre. O programa tem sido utilizado para a visualização de rodovias, captura de fotos e medição de distâncias entre pontos de interesse demarcados no terreno. Assim, podem ser identificadas as marcações referentes ao início e fim da barreira de segurança, pelo fato de o Google Earth ser construído a partir de mosaico de imagens de satélites obtidas de fontes diversas, imagens aéreas e GIS 3D, com resultados bem próximos dos valores reais em relação as distâncias.

3. Resultados

3.1 Materiais empregados na fabricação de barreiras de segurança

A barreira de segurança tem a função de reconduzir um veículo com a tendência de sair da pista, obedecendo a uma série de requisitos:

- Evitar danos às pessoas fora do veículo;
- Fazer com que o impacto sofrido pelos ocupantes do veículo se mantenha dentro de limites seguros para a sua integridade física;
- Impedir que veículos leves e veículos pesados penetrem em áreas perigosas;
- Desviar o veículo que atinja a barreira, obrigando-o a seguir uma trajetória sensivelmente paralela à direção da barreira de segurança;
- Minimizar o custo dos danos;
- Resistir ao impacto de um veículo que se choque contra a barreira, sem que esse veículo e a própria barreira se convertam em uma ameaça para o tráfego.

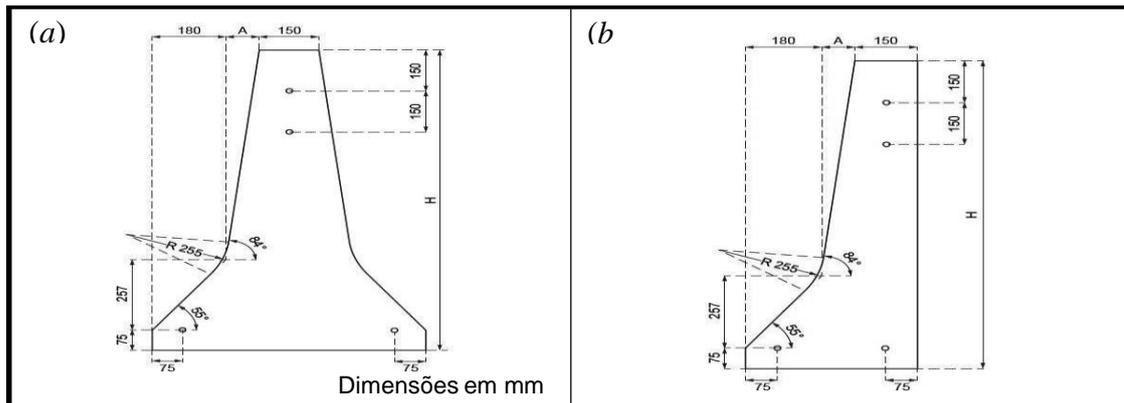
O *Roadside Design Guide* (2011) classifica as barreiras de segurança em: flexíveis (absorve melhor a energia de impacto em comparação aos demais tipos), semirrígidas

(possui rigidez intermediária) e rígidas (são mais resistentes e duráveis e absorvem menos a energia de impacto).

Outros requisitos além dos citados, podem e, às vezes, devem ser considerados, tais como: aspecto agradável, não obstrução da visão, evitando a sensação de confinamento, podendo também contribuir para evitar problemas de ofuscamento pela luz de faróis e redução de ruídos.

Na **Figura 1**, está mostrada a barreira New Jersey adotada na Califórnia que desde 1960 tem sido largamente empregada em vários países (Queiroz, 2016). Com a evolução dos dispositivos de contenção viária, surgiram barreiras semiflexíveis de perfil metálico e as barreiras flexíveis de cabos de aço com poste frágil (Lima, 2006; Queiroz, 2016).

Figura 1 - Geometria de uma barreira New Jersey. (a) barreira dupla, (b) barreira simples. Fonte: Queiroz (2016).



a) Barreira de concreto

A barreira de concreto é um dispositivo de proteção contínuo, moldado em concreto armado, de forma, resistência e dimensões adequadas, de proteção rígida e indeformável, cuja capacidade de proteção ao veículo desgovernado é dada pela sua forma.

As barreiras de concreto podem ser compostas de materiais tradicionais e reciclados, como mostram Sadromtazi et al. (2012): cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, adições de borracha, EPS (poliestireno expandido) e armadura de aço. O principal objetivo técnico do emprego de borracha de pneus inservíveis em barreiras de segurança é a diminuição da ocorrência de acidente fatais. A borracha confere ao concreto propriedades mecânicas com alta capacidade de absorção do impacto de veículos. A estrutura de concreto, cujo comportamento é rígido, passa a semi-deformável, trazendo o benefício de absorção de energia de impactos.

A Via Viva, entidade criada a partir da parceria entre a Monobeton e a Associação para Valorização e Promoção de Excepcionais (AVAPE), empregou borracha triturada em

barreiras em dois trechos da rodovia Raposo Tavares (Vasconcelos, 2005).

Existem alguns tipos de armaduras, sendo a mais utilizada em barreiras moldadas in loco a barra contínua de aço CA-50 com diâmetro de 20 mm e estribos de barras de aço CA-50 de 12,5 mm. A armadura também pode ser dimensionada conforme a ABNT NBR 6118, considerando as cargas de impacto dos níveis de contenção requeridos na ABNT NBR 15486.

Na **Figura 2** mostra-se um exemplo de manutenção de barreira de concreto. O setor de Conservação da Entrevias realiza a pintura de barreiras New Jersey nas rodovias administradas da região de Ribeirão Preto – SP-330 (Rodovia Anhanguera), SP-322 (Anel Viário Sul) e SP-328 (Anel Viário Norte).

A pintura foi feita em aproximadamente 150 quilômetros de barreiras dispostas ao longo do trecho sob concessão. Com o desgaste causado pela exposição ao tempo, as estruturas feitas de concreto pré-moldado são limpas de forma periódica, mesmo assim perdem a cor e sofrem a deterioração natural (Entrevias, 2020).

Figura 2 - Exemplo ilustrativo de manutenção em barreira de concreto. Fonte: Entrevias (2020).



b) Barreira metálica

Este tipo de barreira é altamente resistente, podendo ser construída em perfil metálico e aço. De acordo com a norma brasileira é uma defesa classificada como semimaleável

simples devido a sua capacidade de deformação (menor que a maleável), de dupla onda (característica da lâmina), e é utilizada para a proteção lateral das estradas. Na **Figura 3** mostra-se um exemplo de barreira metálica.

Figura 3 - Exemplo ilustrativo de barreira metálica em rodovia. Fonte: Wasaki Engenharia (2024).



c) Barreira de cabo de aço

É projetada para resistir aos impactos de veículos e requer pequena atividade de manutenção para continuar seu funcionamento normal. Em caso de impactos, a barreira atua como uma rede de contenção que diminui gradativamente a velocidade do veículo. Os cabos e postes especiais absorvem e dissipam progressivamente a inércia

do impacto, evitando que o veículo retorne à via, ou uma segunda colisão, como ocorre nos impactos em barreiras tradicionais (rígidas e semirrígidas).

d) Barreira de concreto com tela antiofuscente

Telas antiofuscentes são preparadas com a finalidade de proporcionar mais segurança e reduzir consideravelmente

o número de acidentes, com características essenciais para o desempenho de suas funções em rodovias e na separação de pistas. As grades são confeccionadas de modo a evitar que as luzes dos faróis automotivos da pista oposta ofusquem a visão dos motoristas, gerando outros acidentes. As barras são posicionadas de maneira específica, conforme determinações dos órgãos reguladores de trânsito.

3.2 Especificações referentes às barreiras de segurança

Entre as especificações referentes às barreiras de segurança a norma ABNT NBR 14885:2016 especifica os requisitos mínimos exigíveis para o projeto, construção e implantação de barreiras de concreto. A ABNT NBR 15486:2016 estabelece diretrizes de projeto de dispositivos de contenção, bem como critérios de aceitação desses dispositivos por meio de ensaios de impacto, de forma a garantir o seu desempenho, e aplica-se a novos projetos viários, duplicações, reconstruções ou adequações geométricas.

Conforme a ABNT NBR 14885:2016, a barreira de concreto é um dispositivo ou sistema de segurança, rígido e contínuo, destinado a ser implantado ao longo das vias públicas, com forma e dimensões tais que, quando colidido por veículos desgovernados, possa reconduzi-los à pista com desacelerações suportáveis pelo corpo humano e com os menores danos possíveis ao veículo e ao próprio dispositivo. Para isso, o concreto da barreira de segurança deve ter a resistência característica à compressão simples (f_{ck}) mínimo de 25 MPa. Os materiais, a execução e o controle devem atender as normas ABNT NBR 6118, ABNT NBR 12655 e ABNT NBR 14931.

A instalação de barreiras pré-moldadas de concreto possibilita diminuir o tempo de permanência de operários na rodovia, com isso diminui o tempo de paralisação do tráfego. Adicionalmente, o tempo de montagem é muito vantajoso em relação ao sistema convencional: uma equipe de seis pessoas consegue montar 600 m de barreira em um turno de 8 horas e, em casos de danos causados por batidas, a substituição é imediata (**Figura 4**).

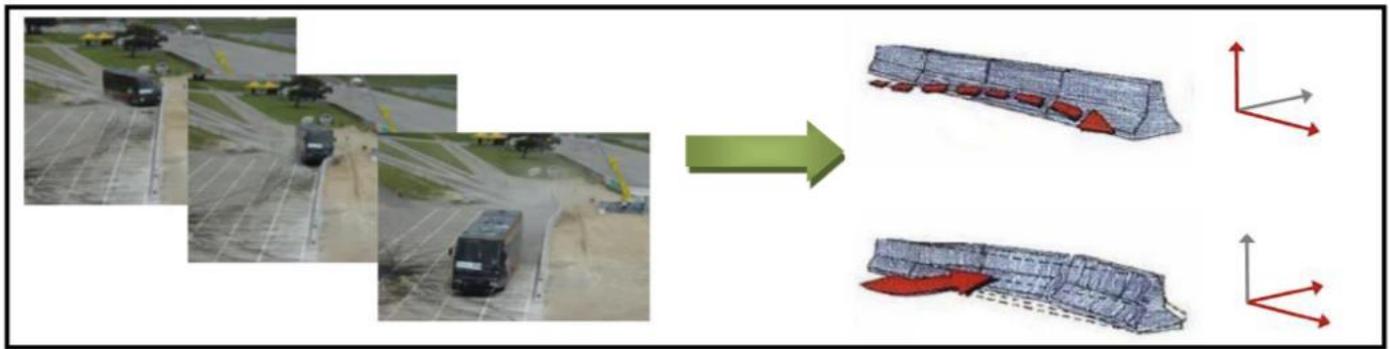
Figura 4 - Processo de montagem de barreiras pré-fabricadas de concreto. Fonte: Serguvia, 2012.



Para as barreiras de segurança metálicas utilizam-se as normas ABNT NBR 6970:2022 (Dispositivos auxiliares – defensas metálicas galvanizadas por imersão à quente) que estabelece os requisitos para a admissão das defensas metálicas de perfis galvanizados por imersão à quente, e a ABNT NBR 6971:2023 (Dispositivos auxiliares - Critérios de implantação e requisitos para a manutenção de defensas metálicas - Fabricação e fornecimento de defensas metálicas do tipo maleável, semimaleável e tripla onda, para manutenção destes sistemas).

Na **Figura 5**, mostra-se que a união das peças através de vínculos torna o sistema semiflexível, o que possibilita melhor absorção da energia cinética e melhora a condição de redirecionamento dos veículos. Quando comparadas aos demais sistemas construtivos, as barreiras pré-fabricadas apresentam a desvantagem de maior custo e da necessidade de transporte, porém, se levados em conta benefícios como a segurança, a durabilidade e a facilidade de reutilização, esse sistema se torna bem mais interessante que os demais.

Figura 5 – Representação de impacto com as barreiras. Fonte: Serguvia, 2012.



3.3 Critérios para a construção de barreiras de segurança de concreto e metálicas

A norma ABNT NBR 15486:2016 e a AASHTO (2011) apresentam os principais critérios que auxiliam na identificação do custo/benefício de barreiras de segurança. Enquanto a ABNT NBR 15486:2016 trata da determinação do nível de contenção de uma barreira, a AASHTO (2011) faz um apanhado da vida útil de um sistema de proteção, abordando aspectos que vão desde sua concepção até a substituição da barreira de segurança em caso de colisão. São levados em consideração os custos envolvidos em cada etapa da vida útil das barreiras.

Com relação à determinação do nível de contenção de uma barreira, a ABNT NBR 15486:2016 relaciona os critérios:

- a) velocidade diretriz de projeto da via;
- b) características de tráfego, volume e percentual de veículos pesados;
- c) características físicas da via e de sua faixa lateral;
- d) consequências caso um veículo pesado transpasse um sistema de proteção;
- e) natureza e risco dos obstáculos;
- f) estatísticas de acidentes.

A AASHTO (2011), além do critério de nível de contenção, aborda outros aspectos, tais como deflexão e manutenção do sistema de proteção.

As defensas metálicas são compostas basicamente por postes, em sua maioria metálicos, que sustentam uma lâmina metálica. A estrutura completa tem como objetivo amortecer, conter e redirecionar o veículo de forma segura, por meio da deformação e flexão de suas peças. Entre seus benefícios se destaca a alta capacidade de absorção de impactos, absorvendo a energia cinética do veículo pela tensão da guia de deslizamento e pela flexão de seus postes de sustentação.

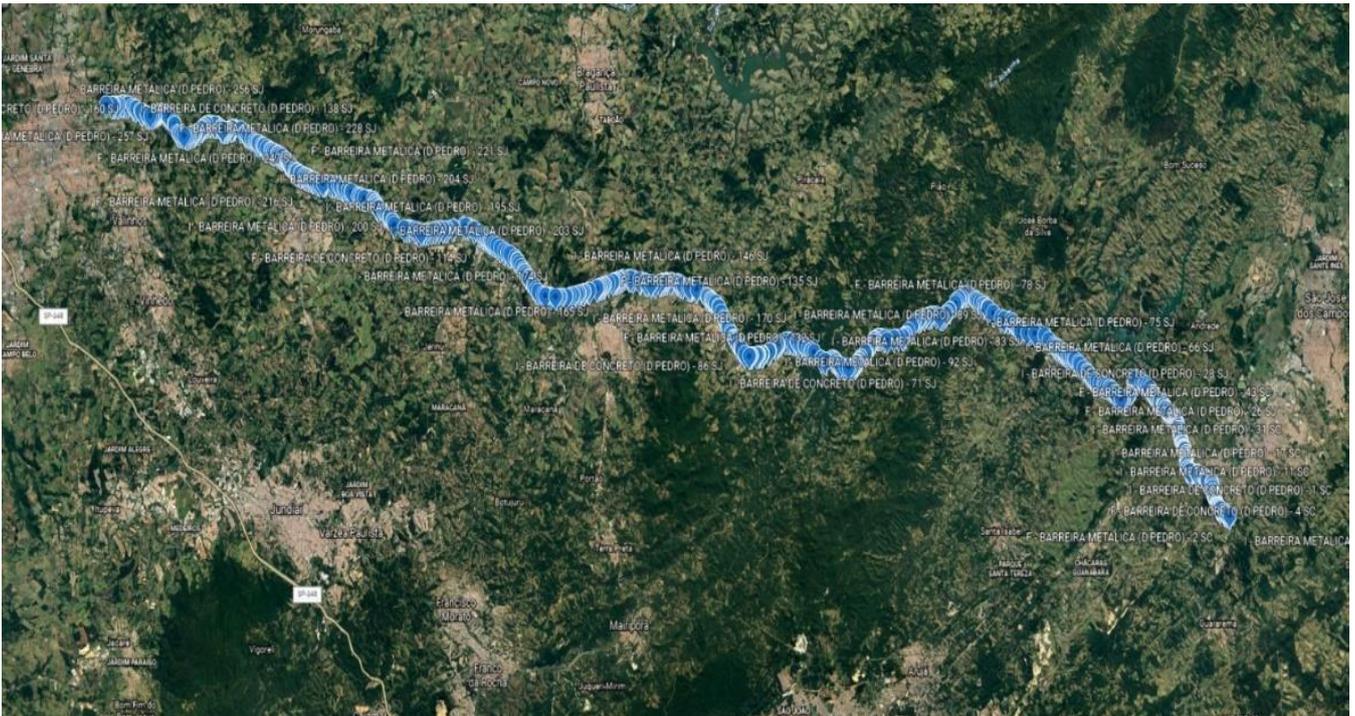
3.4 Exemplo de aplicação dos critérios da NBR 15486

Em um trecho da BR-101, um veículo leve colidiu com a barreira New Jersey a uma velocidade aproximada de 90 km/h. A barreira, projetada conforme a NBR 15486, conseguiu conter o veículo sem que este a ultrapassasse, redirecionando-o para a pista e evitando um acidente mais grave. A análise pós-acidente mostrou que a barreira sofreu danos superficiais, e apenas um pequeno trecho precisou de reparo, demonstrando sua eficácia e resistência conforme os critérios estabelecidos pela referida norma.

- a) Ensaios de impacto: a NBR 15486 exige que as barreiras sejam testadas com diferentes veículos (desde carros pequenos até caminhões) para garantir que possam conter e redirecionar os veículos de forma segura. Os ensaios geralmente envolvem colisões a diferentes ângulos e velocidades para simular condições reais de acidente.
- b) Altura e dimensões: a norma especifica que a altura mínima para uma barreira tipo New Jersey deve ser de 810 mm. Esta dimensão é projetada para garantir que a barreira seja eficaz tanto para veículos leves quanto para veículos pesados.
- c) Desempenho em impactos laterais: A barreira deve ser capaz de resistir a impactos laterais, garantindo que o veículo não ultrapasse a barreira ou cause um acidente mais grave, como uma colisão com um veículo no sentido oposto.
- d) Instalação e manutenção: As barreiras devem ser instaladas de acordo com as especificações da norma e devem passar por manutenção regular para garantir que permaneçam eficazes ao longo do tempo. Isso inclui inspeções para identificar danos ou desgastes que possam comprometer sua funcionalidade.

Com o auxílio do Google Earth foi possível fazer um levantamento na Rodovia Dom Pedro I (SP-065) sentido Campinas – Jacareí, onde foram encontradas 434 barreiras de segurança. Entre estas, 273 barreiras em painel metálico e 161 barreiras de concreto, conforme **Figura 6**.

Figura 6 - Rodovia Dom Pedro I (sentido Campinas - Jacareí). Fonte: Google Earth.



3.5 Rodovia com barreira de segurança no estado de São Paulo

As barreiras são responsáveis por uma extensão de aproximadamente 120 quilômetros, divididos entre 74 quilômetros para as barreiras metálicas e 46 quilômetros

para as barreiras de concreto. É importante ressaltar que pela maneira com que o programa apresenta esses dados, os valores estão muito próximos dos valores reais. Na **Figura 7**, verifica-se a transição entre a barreira de concreto e a metálica.

Figura 7 - Transição entre barreira de concreto e barreira metálica na via D. Pedro I. Fonte: Google Earth.



4. Considerações Finais

Os tipos e características das barreiras de segurança mais utilizadas ao longo das rodovias são as barreiras de contenção metálica, pois estas se caracterizam como

material de deformação dúctil. Em alguns pontos da rodovia Dom Pedro I é possível visualizar a transição entre a barreira de concreto e a barreira metálica, o que promove um enrijecimento gradativo dos dispositivos de contenção e



garante que veículos sejam redirecionados para a rodovia com segurança.

Com relação as especificações referentes às barreiras de segurança destacam-se a ABNT NBR 14885:2016 que especifica os requisitos mínimos exigíveis para o projeto construtivo e implantação de barreiras de concreto, e a ABNT NBR 15486:2016, que estabelece diretrizes de projeto de dispositivos de contenção, bem como critérios de aceitação desses dispositivos por meio de ensaios de impacto para garantia de desempenho.

Referências

AASHTO American Association of State Highway and Transportation Officials. Roadside Design Guide. 4ª Ed., 2011. 356p.

ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2023.

ABNT NBR 6970: Dispositivos auxiliares - Defensas metálicas galvanizadas por imersão a quente. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2022.

ABNT NBR 6971: Dispositivos auxiliares - Critérios de implantação e requisitos para a manutenção de defensas metálicas - Fabricação e fornecimento de defensas metálicas do tipo maleável, semimaleável e tripla onda, para manutenção destes sistemas. Rio de Janeiro, 2023.

ABNT NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2022.

ABNT NBR 14885: Segurança no tráfego - Barreiras de concreto. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT NBR 14931: Execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras - Requisitos. Rio de Janeiro, 2023.

ABNT NBR 15486: Segurança no tráfego - Dispositivos de contenção viária – Diretrizes de projeto e ensaios de impacto. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2016.

DNV, G. L. Good Practices: Barrier Management in Operation for the Rig Industry. Technical Report, 2014.

Entrevias. Concessionária Entrevias: exemplo de manutenção de barreira de concreto. 2020. Disponível em: <https://entrevias.com.br/noticias/2020/seguranca-viaria-barreiras-new-jersey-sao-restauradas-nas-rodovias-de-ribeirao-preto/>. Acesso em 12 julho 2024.

LIMA, H. M. P. Comportamento funcional e estrutural das barreiras de segurança. Universidade do Porto, 2006.

QUEIROZ, P. C. O. Avaliação do desempenho estrutural de barreiras de segurança de concreto armado para uso em rodovias. 203p. Tese (Doutorado em Ciências, Programa

de Engenharia Civil (Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

ROADSIDE DESIGN GUIDE. FHWA Federal Highway Administration. 4ª Ed. FHWA, 2011.

SADRMOMTAZI, A.; SOBHANI, J.; MIRGOZAR, M.; NAJIMI, M. Properties of multi-strength grade EPS concrete containing silica fume and rice husk ash. Constr. Build. Mater., 35, p. 211-219, 2012.

SERGUÍVIA. Barreiras de Segurança Pré-Moldadas. 15º Encontro Técnico DER/PR. Disponível em: <http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/15encontro_tecnico/BARREIRASDESEGURANCAPREMOLDADAS.pdf>. Acesso em 05 de julho de 2024.

SHKLYAN; R. Enhancing concrete barrier reflectivity with a focus on recycled SKLET, S. Safety barriers: definition, classification, and performance. J. Loss Prev. Process. Ind., 19 (5), p. 494-506, 2006.

VASCONCELOS, Y. Borracha na mureta. REVISTA FAPESP. 2005. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/ Borracha-na-mureta/>.

Wasaki Engenharia. Exemplo de barreira metálica. Disponível em <https://wasaki.com.br/barreira-de-concreto-ou-metalica-qual-utilizar/>. Acesso em 2 julho 2023.

Agradecimentos

Ao Programa de Iniciação Científica e Tecnológica da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).