

projectare

revista de arquitetura e urbanismo

v. 1, n. 14 (2023)

**A ARQUITETURA E O URBANISMO
FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

14



Sobre a Revista

PROJECTARE – Revista de Arquitetura e Urbanismo - é uma publicação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas. Fundada em 1999, é mantida pelo Laboratório de Urbanismo da FAURB e o Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – PROGRAU UFPEL – ISSN 1518-5125 – v. 1, n. 14, dezembro 2023.

Comitê Editorial

Eduardo Grala Da Cunha
Celina Maria Britto Correa
Antonio Soukef Júnior

Coordenação da Edição

Antonio Soukef Júnior

Comitê Científico

Ana Luiza Martins
Ana Paula Farah
Antonio Busnardo Filho
Francisca Ferreira Michelin
Helena Napoleon Degreas
Jeferson Cristiano Tavares
Louise Prado Alfonso
Lucília Siqueira
Manoela Rossinetti Rufinoni
Rodrigo Assumpção

Comissão Científica

Alexandre Pereira dos Santos
Ana Lúcia Costa de Oliveira
Ana Paula Polidori Zechlinski
Betina Tschiedel Martau
Carlos Fernando Bahima
Carlos Fraga

Celia Helena Castro Gonsales
Celina Maria Britto Correa
Cristhian Moreira Brum
Eduardo Rocha
Estevam Vanale Otero
Gilfranco Medeiros Alves
Isabel Tourinho Salamoni
Ivan Julio Apolonio Callejas
Janice de Freitas Pires
Júlio Celso Borello Vargas
Lauren Arrussul Carús
Lígia Maria Ávila Chiarelli
Mário Furtado Fontanive
Morgane Bigolin
Patrícia Zandonade
Paulo Emílio Buarque Ferreira
Sylvio Arnaldo Dick Jantzen

Criação e Diagramação

Cíntia Gruppelli da Silva

Foto da Capa

Paula Katakura

Ilustração artística

Wellington Müller Kruchadt

Contato

Universidade Federal de Pelotas - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Rua Benjamin Constant, 1359 – UFPEL Campus Porto – Pelotas/RS
Email: projectare.faurb@ufpel.edu.br
Periódico digital disponível em:
<https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/Projectare>

SUMÁRIO

Apresentação**A ARQUITETURA E O URBANISMO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Celina Britto Correa e Eduardo Grala da Cunha 5-6

Artigos**MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: o uso do resíduo de vidro em argamassas sustentáveis**

Maria Eduarda da Silva Dembogurski e Natália dos Santos Petry 7-23

DESEMPENHO LUMÍNICO E TERMOENERGÉTICO DE FACHADAS ENVIDRAÇADAS E DIFERENTES TIPOLOGIAS DE VIDROS

Carolina de Mesquita Duarte, Marcelo Epiphanyo da Rosa e Maritza da Rocha Macarthy 24-43

PRODUÇÃO IMOBILIÁRIA FORMAL DE JOINVILLE

Anna Letícia Verardi, Luiza Helena Moser, Marcel Virmond Vieira e Samara Braun 44-60

O POTENCIAL DO SISTEMA DE WOOD FRAME PARA HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL CONSIDERANDO O DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Alexandre Santana Cruz e Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos 61-78

ABRIGO TEMPORÁRIO E SUSTENTÁVEL: proposta para a cidade de Petrópolis, Rio de Janeiro

Jorge Daniel de Melo Moura, Renata Bernardi Miguel, Tais Marini Brandelli e Talita Marini Brandelli 79-97

SIMULAÇÃO DE CRESCIMENTO URBANO EM CERRITO E PEDRO OSÓRIO, RS, BRASIL: preservação ambiental, áreas de inundação e polos de atração

Mauricio Polidori, Renata Zschornack e Sarah Dorneles 98-121

UMA ANÁLISE CRONOLÓGICA DO CENÁRIO DE POLÍTICAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO CULTURAL EDIFICADO E NORMAS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

Mariana Estima Silva e Sidney Gonçalves Vieira 122-134

Trabalho Final de Graduação

CENTRO DE ECONOMIA CIRCULAR

Livia Marques Boyle 135-165

A ARQUITETURA E O URBANISMO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Celina Britto Correa¹

celinabrittocorrea@gmail.com

Eduardo Grala da Cunha²

eduardogralacunha@yahoo.com.br

Desde sempre, a Arquitetura, na sua função primária, protegeu o homem das intempéries e dos rigores do clima. A ruptura estrutural do projeto de Arquitetura com o contexto climático, no século XX, trouxe consequências graves, não só no âmbito do desempenho energético das edificações, mas também no aquecimento global. Essa situação exige uma resposta rápida e radical na forma de pensar o ambiente construído. Mais do que nunca, os arquitetos devem conceber as estruturas urbanas e as edificações, seus materiais e sistemas construtivos de forma a respeitar o lugar, os recursos existentes e as energias renováveis.

O número 14 da Revista Projectare, apresenta a temática da Arquitetura frente às necessidades e soluções impostas pelo aquecimento global, em diferentes dimensões, que vão da produção imobiliária aos abrigos emergenciais, em abordagens sócio cultural, técnica, e

¹ Possui graduação em Arquitetura pela Universidade Federal de Pelotas (1980) e doutorado em Arquitetura pela Universidade Politécnica de Madrid (2001). É especialista em Tecnologias Avançadas da Construção Arquitetônica pela mesma universidade espanhola, onde também foi professora visitante. Atualmente é professora associada da Universidade Federal de Pelotas, ministrando disciplinas e orientando alunos nos cursos de graduação e pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, onde também desenvolve pesquisas, algumas com financiamento internacional.

² Professor Associado da Universidade Federal de Pelotas, Diretor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UFPel. Graduado em Arquitetura e Urbanismo (1994), Especialização (1995), Mestre (1999), Doutor (2005) em Arquitetura pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS. Pós-Doutorado (2008) pela Universidade de Kassel, Alemanha. Consultor ad hoc do CNPq, da CAPES, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas, Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco. Membro de comite de assessoramento do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Bolsista Produtividade CNPq Nível 2.

política. Os artigos apresentados observam a maior ou menor escala, do crescimento urbano aos materiais construtivos, ora incentivando seu uso consciente, ora promovendo informações técnicas sobre resíduos na composição de novos materiais, num esforço para promover uma conversa articulada e informada sobre alternativas para mitigar os impactos dos nossos hábitos arquitetônicos e de construção.

Também apresenta um Trabalho Final de Graduação sobre economia circular, que deve estimular o interesse e despertar o debate sobre a nossa responsabilidade, enquanto agentes do mundo construído, de transformar nossos hábitos de consumo e de habitar no sentido mais amplo do termo.

Boa leitura!

MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: o uso do resíduo de vidro em argamassas sustentáveis

CLIMATE CHANGE MITIGATION IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY: the use of glass waste in sustainable mortars

Maria Eduarda da Silva Dembogurski¹
mariae.dembogurski@gmail.com

Natália dos Santos Petry²
natalia.petry@ufpel.edu.br

Resumo: A crescente preocupação com as mudanças climáticas tem impulsionado a busca por soluções sustentáveis para minimizar os impactos ambientais gerados pelos diferentes setores da economia. O emprego de resíduos industriais, como o vidro, no setor da construção civil é uma forma de contribuir com a redução dos impactos ambientais da cadeia produtiva, principalmente quando empregado de maneira a reduzir o consumo de cimento Portland nas matrizes cimentícias. O resíduo de vidro, contém grande quantidade de sílica, que pode apresentar propriedades pozolânicas, se moído finamente. Assim, podendo ser utilizado na produção de concretos e argamassas, com o objetivo de melhor as propriedades mecânicas e de durabilidade. Desta forma, este trabalho tem por objetivo avaliar a utilização de resíduo de vidro de garrafas moído, em pó, como adição mineral frente a propriedades mecânicas e de durabilidade. Foi definido um traço de argamassa (1:3) e 4 teores (0, 5, 10 e 15%) de adição do resíduo de vidro em relação a massa do cimento. No estado fresco foram analisados o índice de consistência e densidade de massa e no estado endurecido foram avaliadas a resistência à compressão e absorção de água por capilaridade. Os resultados obtidos, mostram que a utilização de resíduo de vidro contribuiu para a redução do consumo de cimento das argamassas produzidas, auxiliando no incremento da resistência à compressão, mas também se observou o aumento a absorção de água por capilaridade ao longo do tempo.

Palavras-chave: sustentabilidade, resíduo de vidro, adição mineral, mitigação das mudanças climáticas.

Abstract: The growing concern about climate change has driven the search for sustainable solutions to minimize the environmental impacts generated by various economic sectors. The use of industrial waste, such as glass, in the construction industry is an effective way to reduce the environmental impact of the production chain, especially when employed to decrease Portland cement consumption in cementitious matrices. Glass waste contains a high amount of silica, which can exhibit pozzolanic

¹ Engenheira Civil. Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

² Arquiteta e Urbanista. Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Professora Adjunta da Universidade Federal de Pelotas.

properties when finely ground. Thus, it can be used in the production of concrete and mortar to improve mechanical properties and durability. Therefore, this study aims to evaluate the use of finely ground glass bottle waste as a mineral addition concerning mechanical properties and durability. A mortar mix ratio of 1:3 was defined, with four replacement levels (0, 5, 10, and 15%) of glass waste relative to the cement mass. In the fresh state, consistency index and bulk density were analyzed, while in the hardened state, compressive strength and water absorption by capillarity were evaluated. The results indicate that the incorporation of glass waste contributed to reducing cement consumption in the produced mortars, enhancing compressive strength. However, an increase in water absorption by capillarity over time was also observed.

Keywords: sustainability, glass waste, mineral addition, climate change mitigation.

1. INTRODUÇÃO

O aquecimento global e as mudanças climáticas são os principais desafios ambientais associados à emissão de dióxido de carbono (CO₂) (Mehta; Ashish, 2020). A construção civil se desenvolveu para atender à necessidade de proteção contra as intempéries e ameaças do ambiente natural (Fowler, 2004). Porém, o ambiente construído implica em grandes impactos ambientais, como o uso excessivo de recursos naturais, (Araújo, 2002; Agopyan; John, 2011), geração expressiva de resíduos (Cassa, 2001; Agopyan; John, 2011), emissão de gases de efeito estufa (Masuero, 2021) e consumo elevado de energia (Corrêa, 2009). É senso comum que a construção em geral, tem grande contribuição para as mudanças climáticas.

Refletir sobre estratégias para minimizar os impactos ao meio ambiente é fundamental, considerando que a gestão inadequada e a destinação incorreta de resíduos têm contribuído para a poluição de fontes hídricas e a liberação de gases de efeito estufa (GEE). Estes últimos, em particular, têm implicações diretas nas mudanças climáticas, tornando a gestão adequada dos resíduos uma prioridade no contexto global da Agenda 2030, através dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). O ODS 12 - Consumo e Produção sustentável, através da Meta 12.5 estabelece que até 2030, o Brasil deve reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da Economia Circular e suas ações de prevenção, redução, reciclagem e reuso de resíduos (ONU BRASIL, 2015).

A construção civil é um dos setores que mais consome recursos naturais e gera impactos ambientais significativos, especialmente devido à extração de matérias-primas, elevado consumo energético e emissão de dióxido de carbono (CO₂) associado à produção de cimento Portland (Mehta; Monteiro, 2014; Gonçalves; Lima, 2020). Diante desse cenário, a busca por soluções sustentáveis que reduzam os impactos ambientais da construção tem se

tornado essencial para mitigar as mudanças climáticas e promover a economia circular (Ashraf, 2016).

Estima-se que a construção civil seja responsável por 40% do consumo global de energia e materiais, além de contribuir com cerca de 30% das emissões de gases de efeito estufa (World Green Building Council, 2021). Já o relatório de Status Global das Edificações e Construção de 2022, o setor de construção civil foi responsável por 34% da demanda de energia e 37% das emissões de CO₂ no mesmo ano (UNEP 2022).

É de consenso que o desenvolvimento sustentável exige construir usando menos materiais, e/ou substituindo as matérias-primas naturais por resíduos, de forma a impactar menos a natureza (Petry *et al.*, 2015). Por outro lado, não se pode abdicar da qualidade do novo produto gerado e principalmente de sua durabilidade. A crescente conscientização sobre a importância da proteção ambiental tem aumentado o interesse no desenvolvimento de métodos para melhor compreender e lidar com os impactos associados aos produtos, tanto na sua fabricação quanto no consumo (pós-ocupação) (Mendes, 2013).

Um dos resíduos com grande potencial para reaproveitamento na construção civil é o vidro descartado, cujo acúmulo representa um problema ambiental significativo. Anualmente, toneladas de resíduos de vidro são geradas, mas as taxas de reciclagem ainda insuficientes para evitar sua disposição inadequada em aterros sanitários (Shayan; Xu, 2004). A reciclagem do vidro além de contribuir para a conservação de espaço em aterros sanitários, auxilia na redução de emissões de gases, demonstrando seus benefícios ambientais (ABVIDROS, 2019).

O vidro moído pode ser incorporado em matrizes cimentícias, seja como substituto parcial do cimento, devido às suas propriedades pozolânicas, seja como agregado reciclado ou adição mineral. Essa prática pode contribuir para a redução da demanda por matérias-primas naturais e das emissões de CO₂ associadas, principalmente, à produção de cimento (Li; Zhao; Liu, 2019).

A incorporação de resíduos de vidro nas matrizes cimentícias tem sido pesquisada, com estudos destacando benefícios tais como: melhoria da durabilidade; aumento da resistência mecânica e a mitigação da reação álcali-sílica (RAS), quando o resíduo é processado de maneira adequada (Federico; Chidiac, 2009). Além disso, a substituição parcial do cimento pelo resíduo de vidro moído pode reduzir a pegada de carbono dos concretos e argamassas,

tornando-o um material mais sustentável e alinhado aos objetivos globais de redução das emissões de gases de efeito estufa (Schneider *et al.*, 2011).

De acordo com Trentin *et al.*, 2020, o uso de vidro moído em argamassas não só contribui para a preservação de recursos naturais, como também melhora as propriedades mecânicas do material.

A transição para a sustentabilidade é um grande desafio para a indústria da construção, mas é também uma oportunidade única. É a chance de transformar o setor da construção civil, torná-lo um motor de desenvolvimento sustentável. O que parece ser um custo agora pode se transformar em uma economia a longo prazo. Não apenas falando de salvar o planeta, mas de criar uma indústria mais eficiente, inovadora e economicamente viável.

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo avaliar o impacto da utilização de resíduos de vidro moído em argamassas para futuro emprego em concretos, considerando aspectos ambientais, técnicos e de sustentabilidade. A pesquisa busca fornecer uma base científica para a aplicação desse resíduo na construção civil, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e para a promoção de práticas mais sustentáveis no setor.

2. METODOLOGIA: MATERIAIS E MÉTODOS

Quando se pretende inserir um novo material no mercado é necessário delinear suas propriedades para estimar seu comportamento frente às solicitações. Primeiramente, o resíduo foi submetido à ensaios de caracterização para conhecer as propriedades intrínsecas; já a segunda parte consistiu em analisar a resistência e a durabilidade.

2.1 Planejamento do experimento

Para verificar a influência da adição do resíduo vidro em argamassas de cimento Portland foi elaborado o programa experimental, conforme Figura 1.

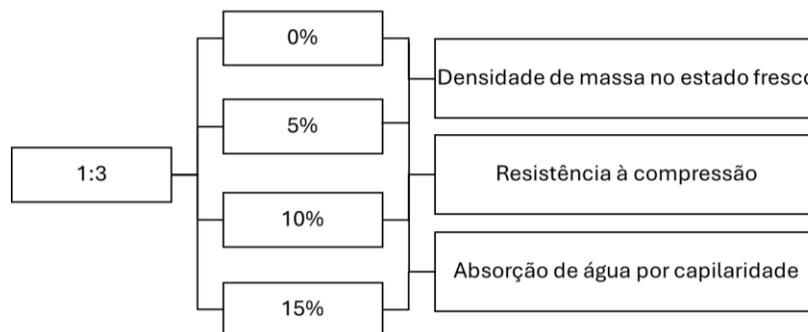


Figura 1: Programa experimental. **Fonte:** Elaborado pelas autoras.

2.2 Materiais empregados para produção das argamassas de cimento Portland

Neste item serão apresentados os materiais que foram empregados nesta pesquisa.

2.2.1 Aglomerante

Utilizou-se o cimento Portland V-ARI, que é um cimento de alta resistência inicial. Seu uso é indicado em obras civis em geral, subterrâneas, marítimas e industriais. A Tabela 1 apresenta a caracterização química e física do cimento.

Tabela 1: Caracterização química e física do cimento Portland CPV-ARI.

CP V-ARI		Limites de norma	Resultados
Teores (%)	PF	≤ 6,5	4,9
	MgO	N/A	5,5
	SO ₃	≤ 4,5	3,1
	RI	N/A	13,9
Finura (%)	#200	≤ 6,0	0
	#325	N/A	0,8
Blaine	(cm ² /g)	≥ 3000	5170
Água de consistência		N/A	30,4
Tempo de pega (min)	Início	≥ 60	240
	Fim	≤ 600	310
Expansibilidade a quente (mm)		≤ 5,0	0
Resistência à Compressão (MPa)	1 Dias	≥ 11,0	21,8
	3 Dias	≥ 24,0	32,8
	7 Dias	≥ 34,0	38,9
	28 Dias	N/A	48,9

Fonte: Fornecido pelo fabricante

2.2.3 Agregado Miúdo

Conforme a granulometria apresentada na Figura 2 e Figura 2: Curva granulométrica do agregado miúdo. Fonte: Elaborado pelas autoras.

Tabela 2, as partículas estão situadas entre as frações de areia média (0.2–0.6mm) e grossa (0.6–2mm).

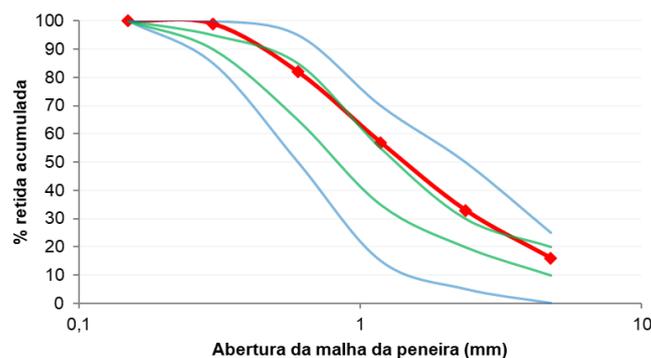


Figura 2: Curva granulométrica do agregado miúdo. **Fonte:** Elaborado pelas autoras.

Tabela 2: Distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Abertura das peneiras (mm)	AMOSTRA		NBR 7211 (2009)			
	Média Retida (%)	Média Retida Acumulada (%)	Retida Acumulada (%) - em massa			
			Limites inferiores		Limites Superiores	
			Z. utilizável	Z. ótima	Z. ótima	Z. utilizável
4,75	3	3	0	10	20	25
2,36	13	16	5	20	30	50
1,18	17	33	15	35	55	70
0,6	24	57	50	65	85	95
0,3	25	82	85	90	95	100
0,15	17	99	100	100	100	100
Fundo	1	100	-	-	-	-
Módulo de Finura		3,87	1,55 - 2,20	2,2	2,9	2,90 - 3,50

Fonte: Elaborado pelas autoras.

2.2.4 Água

Para as reações de hidratação do concreto, assim como para cura dos corpos de prova, utilizou-se a água da rede de abastecimento local proveniente do Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) de Porto Alegre/RS.

2.2.5 Resíduo de vidro

O resíduo de vidro utilizado nesta pesquisa é proveniente de garrafas de bebidas, as quais possuíam pigmentação verde e âmbar. Primeiramente, as garrafas foram britadas em um moinho, com o objetivo de reduzir o tamanho do material (Figura 3a). Posteriormente, o resíduo passou por uma separação granulométrica, utilizando peneiras com aberturas de 4,75 mm, 2,36 mm e 150 μ m (Figura 3b), separando as partículas maiores para descarte. O material não passante das peneiras com abertura superior a 150 μ m foi novamente moído, desta vez com soquete manual, para que fosse possível atingir granulometria inferior a 150 μ m. A Figura 3c, mostra o resíduo empregado neste trabalho com granulometria inferior a 150 μ m.

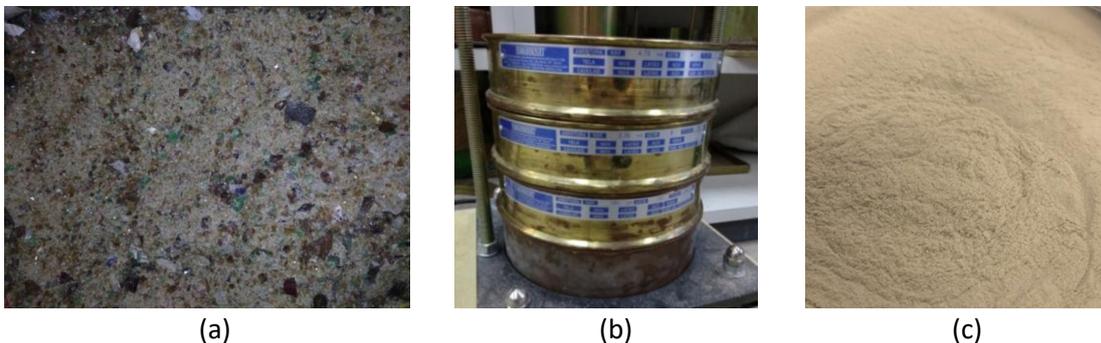


Figura 3: Resíduo de vidro. (a) após primeiro processo de britagem; (b) separação granulométrica; (c) resíduo de vidro com granulometria inferior a 150 μ m. **Fonte:** Próprio das autoras.

2.3 Produção das argamassas

O estudo foi realizado em argamassa uma vez que não se dispunha de material suficiente para a realização do trabalho em concreto. Essa mesma metodologia já foi empregada em outros trabalhos, tais como Giordani (2014) e Petry (2015).

Para argamassas produzidas neste programa experimental foi estipulado o traço de referência de 1:3 (cimento: agregado miúdo), por ser um traço intermediário. Com esta referência definida, foram calculados quatro teores de adição do resíduo de vidro a mistura, 0%, 5%, 10% e 15%, sendo que os teores foram estipulados em relação a massa do cimento.

Podem-se observar as quantidades de materiais utilizados nos traços para a produção de cada mistura na Tabela 3.

Tabela 3: Traços utilizados

Material	Teores de adição do resíduo de vidro			
	0%	5%	10%	15%
Cimento (kg)	0,850	0,850	0,850	0,840
Areia (kg)	2,550	2,550	2,550	2,550
Vidro (kg)	0	0,043	0,085	0,126
Água (kg)	0,409	0,405	0,436	0,442
a/c	0,48	0,48	0,51	0,53

FONTE: Elaborado pelas autoras.

Observar-se que foram adicionadas quantidades diferentes de água nos traços produzidos, isto ocorreu para que fosse possível fixar a consistência das argamassas em 260 ± 10 mm. Para os traços com adição de 10% e 15% de vidro precisou-se adicionar respectivamente 6,59% e 7,97% de água em relação ao traço de referência. Já o traço com 5% de adição de vidro teve uma redução de 1,08% de água adicionada. A mistura dos materiais ocorreu em argamassadeira mecânica, seguindo as especificações normativas da NBR 13276 (ABNT, 2016).

A moldagem dos corpos de prova foi realizada seguindo as instruções normativas da NBR 7215 (ABNT, 2019), sendo os moldes utilizados cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. Após a moldagem, os corpos de prova permaneceram em cura inicial em ambiente de laboratório, por 24 horas. Foram desmoldados, identificados e colocados em cura submersa, em um tanque com água saturada com cal, onde permaneceram até a idade de 28 dias, quando os ensaios no estado endurecido foram realizados. A Figura 4 exemplifica todo o processo, desde a produção das argamassas até a cura submersa.



Figura 4: Produção das argamassas e corpos de prova. (a) misturador; (b) consistência; (c) moldagem de corpos de prova; (d) cura. **FONTE:** Próprio das autoras.

2.4 Métodos de ensaio

Para avaliar a influência da adição do resíduo de vidro a propriedades da argamassa, foram realizados ensaios no estado fresco endurecido das argamassas. A Tabela 4 apresenta o compilado de informações a respeito dos ensaios realizados e a Figura 5 exemplifica dos ensaios realizados.

Tabela 4: Propriedades avaliadas

Ensaio	Norma	Qtide. de CP's	Dimensão dos CP's
Índice de consistência	NBR 13276:2005	-	-
Densidade de massa no estado fresco	NBR 13278:2005	8	Cilíndrico 5x10 cm
Resistência à compressão axial	NBR 5739:2018	4	Cilíndrico 5x10 cm
Absorção de água por capilaridade	NBR 9779:2013	4	Cilíndrico 5x10 cm

Fonte: Elaborado pela autora



Figura 5: Ensaio realizados. (a) Índice de consistência; (b) Densidade de massa no estado fresco; (c) Resistência à compressão; (d) Absorção de água por capilaridade. **Fonte:** Próprio das autoras.

Para o ensaio de absorção de água por capilaridade, além dos procedimentos descritos na NBR 9779 (ABNT, 2013), foi adotada a metodologia descrita por Venquiaruto et al. (2014) e empregada por Giordani (2014) e Petry (2015), onde os corpos de prova após resfriamento, a temperatura ambiente, receberam uma fina camada de parafina na sua superfície lateral, exceto 5 mm acima da sua face inferior (altura em que o nível de água deve

permanecer constante). Este procedimento foi realizado para impedir com que a troca de umidade dos corpos de prova com o ambiente não influenciasse os resultados do ensaio, diminuindo assim a variabilidade dos ensaios.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios no estado fresco e no estado endurecido das argamassas produzidas com os diferentes teores de adição do resíduo de vidro.

3.1 Densidade de massa no estado fresco

Os resultados obtidos no ensaio de densidade de massa no estado fresco, são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Densidade de massa no estado fresco e consumo real de cimento

Teor de adição do resíduo de vidro (%)	Densidade (kg/m ³)	Desvio Padrão (kg/m ³)	Coefficiente de variação (%)	Consumo real de cimento (kg/m ³)
0	2250,73	0,01	0,59	590,82
5	2236,06	0,02	0,91	581,16
10	2250,51	0,02	1,08	573,89
15	2247,61	0,02	1,08	566,20

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Conforme observa-se na Tabela 5, a adição do resíduo de vidro contribuiu para a redução do consumo real de cimento das argamassas produzidas, fator que favorece a sustentabilidade das matrizes cimentícias com a incorporação deste material.

Vale ressaltar que a cada tonelada de cimento produzida são liberados pelo menos 659 kg de CO₂ para a meio ambiente, fator que favorece o aquecimento global e contribui de forma direta para as mudanças climáticas observadas atualmente. Logo, ao se empregar materiais que auxiliem na redução do consumo de cimento, também se está contribuindo para a redução dos gases de efeito estufa, tornando o emprego de concretos e argamassas mais sustentáveis.

3.2 Resistência à compressão

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova em argamassa são demonstrados na Tabela 6. As médias foram obtidas através da ruptura de 4 (quatro) cp's na idade de 28 dias. Observa-se que a adição do resíduo de vidro em todos os teores estudados, contribui para o incremento da propriedade avaliada.

Tabela 6: Resistência à compressão aos 28 dias

Teor de adição resíduo de vidro (%)	Relação a/c	Resistencia à compressão média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
0	0,48	14,60	0,23	1,55
5	0,48	15,20	2,75	18,07
10	0,51	15,69	1,13	7,21
15	0,53	16,53	2,68	16,22

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Para a análise da significância da adição do resíduo de vidro nas argamassas, foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) do tipo One-Way a partir do software Statistica 8. Os resultados são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: ANOVA ensaio de Resistência à compressão aos 28 dias

Efeitos	SQ	GL	SQF	Teste F	p	Sig.
Teor de adição do resíduo (%)	5,241	3	1,747	0,3190	0,811722	N
Error	38,344	7	5,478	-	-	

SQ: Soma quadrática; GL: graus de liberdade (n-1); SQF: média quadrática; Teste F(calc): valor calculado de F; p: nível de significância; Se $p < 5\%$ = efeito significativo. **Fonte:** Elaborado pelas autoras.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 7, nota-se que embora os teores de adição estudados tenham contribuído para o aumento da resistência à compressão das argamassas, avaliando o efeito estatisticamente, observa-se que a variável em análise não foi considerada significativa, logo os teores de adição do resíduo de vidro não influenciam na resistência à compressão das argamassas. Ampliando a análise estatística, utilizando o teste

Fisher, todas as misturas são consideradas estatisticamente iguais, logo a adição do resíduo tem maior impacto na redução do consumo de cimento do que no incremento da resistência à compressão, sendo possível produzir argamassas com a mesma capacidade de resistência com menor teor de cimento, o que contribui com o desempenho ambiental das matrizes, auxiliando na sustentabilidade das mesmas.

Melo et al. (2024) avaliou concretos com substituição parcial de cimento por resíduo de vidro, nos teores de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% e observou comportamento semelhante ao encontrado nesta pesquisa, os teores estudados estatisticamente não influenciaram de forma significativa a resistência à compressão das matrizes cimentícias.

3.3 Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade é uma propriedade que está atrelada à durabilidade das matrizes cimentícias e por este motivo é que o presente trabalho contempla a sua análise.

3.3.1 Absorção de água ao longo do tempo

É possível analisar que houve um aumento na absorção de água por capilaridade dos corpos de prova com adição de resíduo de vidro moído em relação aos corpos de prova de referência. Também se nota que este aumento é proporcional ao aumento da porcentagem de adição de vidro. É importante lembrar que neste estudo a relação água cimento aumentou nos teores de 10% e 15% de adição de resíduo de vidro, e pode ter relação com os resultados obtidos neste ensaio. Na Figura 6 é possível visualizar desta relação, nele constam os resultados do ensaio ao longo das 72 horas.

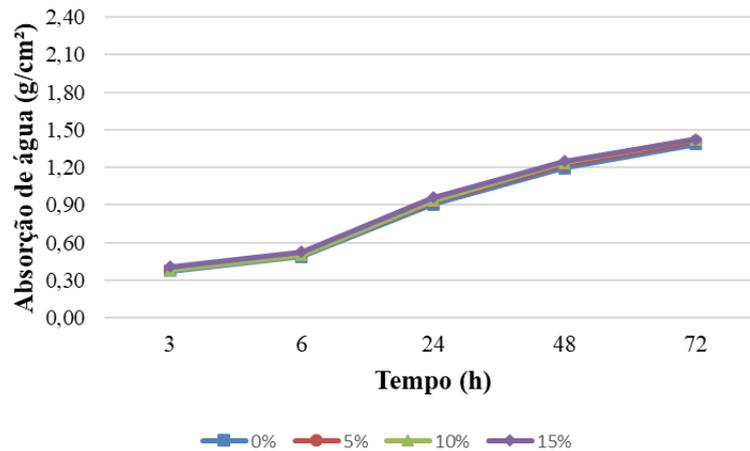


Figura 6: Absorção de água ao longo do tempo. **Fonte:** Próprio das autoras.

3.1.2 Absorção total de água por capilaridade

Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade dos corpos de prova em argamassa são apresentados na Tabela 8, correspondendo à média dos valores de absorção de água após 72 horas de ensaio.

Tabela 8: ANOVA ensaio

Teor de adição resíduo de vidro	Relação a/c	Absorção (g/cm ²)	DP (g/cm ²)	CV (%)
0%	0,48	1,39	0,043	3,07
5%	0,48	1,41	0,040	2,81
10%	0,51	1,42	0,061	4,29
15%	0,53	1,42	0,100	7,05

DP: Desvio Padrão; CV: Coeficiente de variação. **Fonte:** Elaborado pelas autoras.

Para a análise da significância do teor de adição do resíduo de vidro, foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) tipo One-Wway, na ferramenta Statistica 8, onde se obtiveram os resultados apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: ANOVA ensaio de Absorção de água por capilaridade as 72hrs

Efeitos	SQ	GL	SQF	Teste F	p	Sig.
Teor de adição do resíduo (%)	0,00322	3	0,00107	0,250	0,859658	N
Error	0,05150	12	0,00429	-	-	-

SQ: Soma quadrática; GL: graus de liberdade (n-1); SQF: média quadrática; Teste F(calc): valor calculado de F; p: nível de significância; Se $p < 5\%$ = efeito significativo. **Fonte:** Elaborado pelas autoras.

Como as argamassas apresentaram incremento na resistência à compressão e sabe-se que a resistência está ligada diretamente a capacidade de absorção de água das matrizes cimentícias, esperava-se uma redução na propriedade avaliada, fato que não se observou neste estudo. Com o aumento do teor de adição de vidro nas argamassas notou-se também um incremento na taxa de absorção de água. Trentin et al. (2020) estudou o emprego do resíduo de vidro em substituição parcial ao agregado miúdo em argamassas e observou a mesma tendência.

Para verificar se o aumento na absorção de água é significativo, foi realizada uma ANOVA, apresentada na Tabela 9. Observa-se que o resíduo quando adicionado as argamassas, estatisticamente, não influencia na propriedade em questão, logo esse incremento não é significativo, mostrando que todas as combinações em análise apresentam o mesmo comportamento. Desta forma, a adição do resíduo de vidro não influenciou negativamente na absorção de água das argamassas.

4. CONCLUSÃO

O resíduo de vidro para todos os teores estudados nas argamassas, se mostrou benéfico, contribuindo para a redução do consumo de cimento e aumento discreto na resistência à compressão. Embora tenha promovido aumento na absorção de água por capilaridade, fato não esperado, estatisticamente avaliando esse resultado não foi significativo, logo o incremento da capilaridade não é representativo. Desta forma, pelos resultados obtidos neste trabalho, a adição do resíduo de vidro demonstra ser um material que pode auxiliar na sustentabilidade das matrizes cimentícias.

Como sugestão para trabalhos futuros, indica-se a análise da resistência à compressão em idades mais avançadas, uma vez que as reações pozolânicas são reações que

podem acontecer de forma mais tardia, dependendo das reações iniciais do cimento. Também, sugere-se a realização de outros estudos que avaliem durabilidade das matrizes cimentícias com a adição dos teores de vidro, com o objetivo de validar sua aplicabilidade em obras de construção civil.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE VIDRO. (2019) Abvidros, 2019. Vidro: o resíduo. Disponível em: <https://abividro.org.br/>. Acesso em: 13 set. 2024.

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

_____. **NBR 7211:2009**. Agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7215:2019**. Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão – especificação. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 9779:2013**. Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 13276:2016**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 13278:2005**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

ASHRAF, W. Carbon storage in cement concrete. **Frontiers in Materials**, v. 3, p. 1-14, 2016.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M.. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2011. v. 1. 142 p.

ARAÚJO, A. F. **A aplicação da metodologia de produção mais limpa: estudo em uma empresa do setor de construção civil**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2002.

CASSA, J. C. S. et al. **Reciclagem do entulho para produção de materiais de construção**. Salvador: Editora da UFBA, 2001.

CORRÊA, L. R.. Sustentabilidade na construção civil. **Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil)**. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

FOWLER, K. Building Cost and Performance Measurement Data. In: **Greenbuild Conference**, 2004, Portland. Anais [...]. Portland: GBC CONFERENCE, 2004.

FEDERICO, L. M.; CHIDIAC, S. E. Waste glass as a supplementary cementitious material in concrete – Critical review of treatment methods. **Cement and Concrete Composites**, v. 31, n. 8, p. 606-610, 2009.

GIORDANI, C. **Viabilidade técnica do uso de resíduos do beneficiamento de arenito como substituição do agregado miúdo em argamassas**. 2014. 126f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

GONÇALVES, R. F., LIMA, P. F. **Impactos Ambientais da Construção Civil no Brasil e o uso de tecnologias para minimizá-los**. 1st ed. Rio de Janeiro: UFRJ, 2020.

LI, G.; ZHAO, X.; LIU, H. Performance of concrete containing recycled waste glass powder at elevated temperatures. **Construction and Building Materials**, v. 221, p. 629-638, 2019.

MASUERO, A. B.. Desafio da Construção Civil: crescimento com sustentabilidade ambiental. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, n. 04, p. e13123, 2021.

MEHTA, Ankur; ASHISH, Deepankar Kumar. Silica fume and waste glass in cement concrete production: A review. **Journal of Building Engineering**, v. 29, p. 100888, 2020.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MELO, A. R. S. et al. Propriedades reológicas e mecânica de concreto com resíduo de vidro em pó em substituição parcial ao cimento. In: 5º Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, Lisboa, 2024.

MENDES, N. C.. **Métodos e modelos de caracterização para avaliação de impacto do ciclo de vida: análise e subsídios para a aplicação no Brasil**. 2013. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo.

PETRY, N. S.. **Uso de resíduos de ágata como agregado em argamassas de cimento Portland branco**. 2015. 181 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

PETRY, N. S. et al. Uso do pó de rolagem de ágata em substituição ao agregado calcário na produção de argamassas: análise da resistência mecânica, carbono e energia incorporados. **11th Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Porto Alegre**, p. 28-30, 2015.

ONU BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. [S. l.], 2012. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 13 set. 2024.

SCHNEIDER, M. et al. Sustainable cement production—Present and future. **Cement and Concrete Research**, v. 41, n. 7, p. 642-650, 2011.

SHAYAN, A.; XU, A. Performance of glass powder as a pozzolanic material in concrete: A field trial on concrete slabs. **Cement and Concrete Research**, v. 34, n. 1, p. 81-89, 2004.

TRENTIN, Priscila Ongaratto et al. Substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, p. e-12576, 2020.

UNEP. 2022 Global Status Report For Buildings and Construction, 2022. Disponível em: <https://globalabc.org/our-work/tracking-progress-global-statusreport>. Acesso em: 13 set. 2024.

VENQUIARUTO, S. et al. Aproveitamento de resíduos de ágata reciclada em materiais cimentícios sustentáveis. In: HARTMAN, L.A. et al. (Org.) **Tecnologia e Inovação em Gemas, Jóias e Mineração**. 1. ed. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2014. v. 1, p. 99 –106.

World Green Building Council. **Building a Better Future: The Role of Green Buildings in Environmental Sustainability**. 1st ed. London: World Green Building Council, 2021.

DESEMPENHO LUMÍNICO E TERMOENERGÉTICO DE FACHADAS ENVIDRAÇADAS E DIFERENTES TIPOLOGIAS DE VIDROS

DESEMPENHO LUMÍNICO E TERMOENERGÉTICO DE FACHADAS ENVIDRAÇADAS E DIFERENTES TIPOLOGIAS DE VIDROS

Carolina de Mesquita Duarte¹

carolinademesquitaduarte@hotmail.com

Marcelo Epiphania da Rosa²

marceloerosa20@gmail.com

Maritza da Rocha Macarthy³

maritzadarochamacarthy@gmail.com

Resumo: As superfícies envidraçadas são importantes na concepção e funcionamento de diferentes edifícios. Esses edifícios são constantemente associados a projetos que compreendem aspectos de eficiência energética, térmica e lumínica. Porém, a inserção de fachadas envidraçadas ainda é controversa, em especial no que tange as condições bioclimáticas de diferentes estados, como é o caso do Brasil. Com isso, vários estudos têm sido realizados nos últimos anos, devido a relevância do tema,

¹ Mestre no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PROGRAU/UFPEL). Arquiteta e Urbanista pela Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Atuou como bolsista de iniciação científica pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), no Laboratório de Eficiência Energética (LABCEE). Atualmente é colaboradora do Grupo de Estudos em Simulação e Eficiência Energética em Edificações (GES3E) da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAURB) da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Possui experiência em Simulações Computacionais de Conforto e Eficiência Energética.

² Arquiteto e Urbanismo, Mestrando em Conforto e Sustentabilidade do Ambiente Construído pela Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Atualmente é colaborador do grupo de Estudos em Simulação de Eficiência Energética em Edificações (GES3E) da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Tem experiência na área de Projeto de Arquitetura e Urbanismo com ênfase em conforto ambiental, sustentabilidade e simulação de desempenho lumínico.

³ Mestre em Arquitetura e Urbanismo (PROGRAU/UFPEL). Graduada em Engenharia Elétrica pela Universidade Católica de Pelotas (UCPEL). Atualmente é colaboradora do Grupo de Estudos em Simulação e Eficiência Energética em Edificações (GES3E) e Grupo de Pesquisa sobre Umidade na Edificação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAURB) da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Possui experiência em Simulações Computacionais de Conforto e Eficiência Energética. Especialista em Ciências e Tecnologias na Educação pelo Instituto Federal Sul Rio-grandense Visconde da Graça (IFSUL-CAVG), Especialista em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

com o intuito de uma melhor compreensão dos impactos e desvantagens das fachadas envidraçadas. Neste artigo, foram revisadas a evolução e importância das fachadas envidraçadas, bem como o seu desempenho térmico e lumínico e tipos de vidros. Apresentam-se os resultados de uma revisão de literatura, o estado da arte das fachadas envidraçadas em edifícios comerciais e tipos de vidros utilizados no mercado brasileiro. Os resultados mostraram que a utilização do envidraçamento de fachadas com o intuito de se conseguir um melhor desempenho energético e lumínico está relacionada às condições climáticas de localização.

Palavras-chave: Fachadas envidraçadas. Vidros. Desempenho lumínico e energético.

Abstract: Glazed surfaces play a crucial role in the design and functionality of various buildings. These buildings are often associated with projects that incorporate aspects of energy, thermal, and lighting efficiency. However, the use of glazed façades remains a controversial topic, especially concerning the bioclimatic conditions of different regions, as is the case in Brazil. Consequently, numerous studies have been conducted in recent years, given the relevance of the topic, to better understand the impacts and disadvantages of glazed façades. This article reviews the evolution and importance of glazed façades, as well as their thermal and lighting performance and the types of glass used. It presents the findings of a literature review, the state of the art of glazed façades in commercial buildings, and the types of glass available in the Brazilian market. The results indicate that the use of glazed façades to achieve better energy and lighting performance is closely linked to the climatic conditions of their location.

Keywords: Glazed facades. Glasses. Lighting and energy performance.

1. Introdução

De acordo com a Agência Internacional de Energia (AIE), a participação das energias renováveis no mundo foi de 14,1% em 2019 e no Brasil foi de 44,7% em 2021 (BEN, 2022). Considerando o segmento de serviços, a indústria e os seus subsegmentos representaram 15,0% do consumo energético. Especificamente, as edificações consomem mais de um terço do consumo final de energia, o que representa um quinto das emissões de fases poluentes na atmosfera terrestre, de acordo com a Nota Técnica da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020).

Com a propagação dos estilos de arquitetura internacional, a partir da Segunda Guerra Mundial, o crescimento da economia no país refletiu no crescimento de grandes prédios comerciais e de escritórios que passaram a ter fortes tendências em design de fachadas envidraçadas, com o intuito de apresentar uma maior transparência, incidência de luz natural e a imagem de projetos arquitetônicos modernos (Hwang; Chen, 2022). Prédios com fachadas totalmente envidraçada, de planta livre, espaços largos, layout flexível e com alto condicionamento artificial (Brugnera et al., 2019). Esses edifícios foram chamados de “caixas de vidro”, devido a crença de que tal materialidade seria eficiente para suprir e controlar condições ambientais favoráveis de qualquer edifício (Vedovello, 2012).

Segundo descrito por Antoun, Ghaddar e Ghali (2016), superfícies envidraçadas podem ser consideradas primordiais no que tange a concepção e funcionamento dos diferentes tipos de edifícios. Além disso, relatam que os edifícios comerciais e de escritórios constantemente são associados com projetos que compreendem aspectos de eficiência energética, sustentabilidade e uma imagem “verde”. Nesse contexto, um dos materiais que mais se destaca no cenário urbano por sua estética visual, versatilidade, possibilidade de integração com o interior/exterior, transparência, é o vidro (Shameri, et al.,2011).

Aliado da iluminação natural, edificações com grandes áreas envidraçadas tem se internacionalizado na arquitetura comercial nas mais variadas condições climáticas. Contudo, no que diz respeito à eficiência energética, quanto maior a envoltória envidraçada, maior o ganho de calor por irradiação direta, por isso, o envidraçamento pode representar um problema quanto ao percentual excessivo de carga térmica de uma edificação, principalmente em regiões de climas tropicais como no Brasil (Andreis; Besen; Westphal, 2014).

Atualmente não existe nenhum tipo de norma brasileira onde seu foco esteja na concepção direta do vidro como elemento estrutural, apesar da indústria vidreira já contar com uma alta gama de produtos compatíveis com as exigências técnicas (Custódio et al, 2017). Desta forma, destacam-se as normas mais utilizadas como: ABNT NBR 7199 (Projeto Execução e Aplicações de Vidros na Construção Civil) e a ABNT NBR 11706 (Vidros na construção civil) e as norma internacionais.

De acordo com Suller et al. (2017), a NBR 15.575/2013 estabelece que uma edificação possui desempenho satisfatório superior, quando a temperatura interna do edifício se encontra à -4°C (menos quatro graus Celsius) da temperatura externa. Porém, para edifícios comerciais não é ideal, devido aos dias quentes, e temperatura a -4°C pode não oferecer conforto térmico aos ocupantes.

A escolha do material da envoltória de qualquer edificação é um fator de extrema relevância, visto que é a partir do envelope que acontece as maiores trocas de temperaturas. É evidente que nos grandes centros urbanos, edifícios corporativos possuem elevada densidade de ocupação, e com isso o alto consumo de condicionamento artificial (Westphal, 2016). Entretanto, a partir da aplicação de um vidro simples em fachada cortina, sem nenhum controle solar, o consumo energético com uso de condicionamento de ar e desconforto térmico serão potencializados (Pinto, 2017). Fato é, com a variedade de vidros disponíveis no mercado

brasileiro, se faz necessário o conhecimento de critérios de desempenho por profissionais acerca desse material para elaborar soluções arquitetônicas favoráveis energeticamente e que busque um ponto de equilíbrio entre conforto lumínico e termo energético na área visível envidraçada e que possibilite controle solar, aproveitamento da luz natural sem causar desconforto visual.

Com a proliferação de edifícios representativos, envelopados inteiramente com fachada envidraçada pelo Brasil, este trabalho delineou-se por trabalhos relevantes e que trazem questões como a evolução e importância das fachadas envidraçadas e o vidro como referência importante no ambiente construído sob o ponto de vista da eficiência energética em edificações e na metodologia da escolha, visto que ainda há incertezas do uso eficiente desse material e também por medidas gerais sobre a importância do impacto do vidro em relação ao desempenho lumínico e termo energético em fachadas com pele envidraçada.

1. Método de pesquisa - Revisão de literatura

Para investigar estudos existentes sobre fachadas envidraçadas e tipos de vidros, foi realizado uma revisão Sistemática da literatura (RSL). A RSL é definida como um tipo de pesquisa bibliográfica que utiliza métodos sistemáticos, explícitos e contábeis, fornecendo uma visão robusta sobre a área analisada, sendo um mecanismo para identificar, avaliar e interpretar toda pesquisa relevante acerca do tema (Gough; Oliver; Thomas, 2017).

Com base no tema central da pesquisa, foram definidas as seguintes *strings* de busca de pesquisa:

- “glazed facades” AND “daylighting” OR “daylighting performance” AND “glasses” OR “types of glasses”

Buscou-se bases de dados mais representativas na área, incluindo: SciELO, Scopus, Google Scholar, ASCE library. Os artigos foram selecionados com base em critérios de inclusão e exclusão, no qual resultou em um total de 42 artigos ao final da RSL. Destes resultados, 27 publicações eram relevantes e 15 eram repetitivos.

Quadro 1: Critérios de seleção

Critério de inclusão	Critério de exclusão
----------------------	----------------------

Área de Pesquisa: Arquitetura ou Construção	Não tratar do tema fachada envidraçada e vidros
Tema: Fachadas envidraçadas, vidros, desempenho lumínico e termo energético	Não ser revisado por pares
Tipo de publicação: artigo científico, dissertação e teses	
Idioma: Inglês e Português	
Disponibilidade de texto completo	
Ano de Publicação: 2010 a 2022	

Fonte: Os autores.

1.1 Evolução e importância das fachadas envidraçadas

As fachadas envidraçadas têm sido uma característica marcante na arquitetura moderna e sua evolução ao longo do tempo tem desempenhado um papel significativo na estética e no desempenho dos edifícios. Neste contexto, ao longo dos séculos, as fachadas envidraçadas passaram por transformações significativas, impulsionadas pelo avanço das tecnologias e das demandas estéticas e funcionais da arquitetura contemporânea. No início, o vidro era um material raro e caro, utilizado principalmente em igrejas e edifícios governamentais, porém, com o desenvolvimento da indústria do vidro e a redução dos custos de produção, o uso do vidro se popularizou e se tornou mais acessível para aplicações arquitetônicas (Martins, 2022).

No século XIX, as fachadas envidraçadas começaram a aparecer em edifícios comerciais e residenciais, proporcionando uma conexão visual entre o interior e o exterior e permitindo a entrada de luz natural nos espaços internos. Nesse azo, o advento da Revolução Industrial trouxe consigo avanços tecnológicos que impulsionaram a evolução das fachadas envidraçadas, como o desenvolvimento de técnicas de fabricação de vidro em maior escala e o uso de sistemas estruturais mais eficientes para suportar grandes áreas envidraçadas. Noutra conjuntura, as fachadas envidraçadas desempenharam um papel crucial na eficiência

energética dos edifícios como será debatido adiante (Martins, 2022) (Whestphal apud Martins, 2022).

Em análise continuada, os vidros de alta performance e sistemas de vidros duplos ou triplos podem melhorar o isolamento térmico, reduzindo a transferência de calor entre o interior e o exterior. Além disso, o uso de vidros com revestimentos especiais, como os de controle solar, pode ajudar a minimizar o ganho de calor excessivo durante os meses mais quentes, reduzindo a necessidade de uso de sistemas de climatização e, conseqüentemente, os custos energéticos.

Nesse viés, as fachadas envidraçadas permitem a entrada abundante de luz natural nos espaços internos dos edifícios. Dessa forma, a luz natural não apenas contribui para a redução do consumo de energia elétrica para iluminação artificial, mas também possui benefícios para o bem-estar e o conforto dos ocupantes, aumentando a sensação de conexão, bem-estar e aquilamento da qualidade de vida em relação ao ambiente externo e aprimorando a qualidade visual dos espaços (Scalco; Pereira; Rigatti apud Martins, 2022).

Em outra vertente, a luz natural também está associada a benefícios para a saúde, como a regulação do ritmo circadiano e o aumento da produtividade. Em outras linhas, as fachadas envidraçadas podem contribuir para o conforto dos ocupantes dos edifícios ao oferecer vistas panorâmicas do entorno, permitindo a conexão com a natureza e proporcionando uma sensação de abertura e amplitude nos espaços internos. Além disso, o controle adequado da entrada de luz solar direta e o uso de sistemas de proteção solar, como persianas ou películas, podem reduzir o ofuscamento e o superaquecimento, criando um ambiente mais confortável e agradável (Whestphal apud Martins, 2022) (Scalco; Pereira; Rigatti apud Martins, 2022).

Além de seus benefícios funcionais, as fachadas envidraçadas também desempenham um papel importante na estética arquitetônica dos edifícios. Em ato contínuo, o vidro oferece uma aparência elegante e contemporânea, conferindo leveza e transparência à fachada. A propósito, a transparência do vidro também permite a integração visual do edifício com seu entorno, criando uma harmonia entre a arquitetura e o ambiente urbano (Andreis, 2014).

Quanto a sustentabilidade dessa metodologia arquitetônica: o uso de fachadas envidraçadas pode contribuir para a ergonomia dos edifícios. Decerto, além de sua função na

eficiência energética, o vidro é um material reciclável, o que reduz o impacto ambiental. Porquanto, o uso de sistemas de fachada inteligentes, como vidros fotovoltaicos que geram energia elétrica, ou vidros que incorporam tecnologias de captação de energia solar, pode promover a geração de energia limpa e renovável (Martins, 2022) (Andreis, 2014).

Estudos têm considerado a redução do efeito da absorção solar por meio do design de sistemas de envidraçamento de múltiplas placas, os quais mostram tendências para diminuir os ganhos de calor térmico através de suas superfícies. Como exemplo, pode ser citado o trabalho de Arici, Karabay e Kan (2015), onde janelas de painel triplo e quádruplo resultaram em uma maior capacidade de resistir à transferência de calor e reduzir os ganhos térmicos de espaço quando aplicados na Turquia. Porém, os autores descrevem que essa estratégia possui um custo elevado, o que prejudica a sua viabilidade.

Estudos considerando a redução da energia de radiação transmitida por intermédio de superfícies vitrificadas foram realizados. Por exemplo, para reduzir a transmissão de energia de radiação para o ambiente, Kontoleon (2012) modificou a direção da fachada para orientações atingidas pela menor quantidade de radiação solar ao longo do ano. Todavia, modificar a orientação da superfície envidraçada para conseguir reduzir sua participação na carga do espaço é irreal em edifícios ou muitas vezes necessita de iluminação artificial dentro do espaço, o qual consome muita eletricidade o que pode contrabalançar os benefícios da economia de energia do local.

Vislumbrando mitigar este gargalo, algumas pesquisas foram realizadas buscando estabelecer ligação do consumo de energia e iluminação natural às propriedades do envidraçamento. Por exemplo, Ko (2009) estudou algumas formas de se obter uma melhor performance da iluminação natural e a economia de energia fazendo uso da seleção adequada de áreas envidraçadas, materiais e propriedades em seis condições climáticas nos Estados Unidos. Porém, os custos foram considerados elevados.

Brzezicki (2021) apresentou os resultados da análise morfológica de fachadas com sistemas de sombreamento adaptativo e a relação espacial entre o sistema de sombreamento adaptativo e a envoltória de vidro de um edifício. Os resultados forneceram informações importantes sobre o surgimento de novas tendências estéticas de arquitetura, especialmente diante das tecnologias mais recentes adotadas em fachadas. Em conclusão, foram

apresentadas evidências empíricas de que a localização do sombreamento do sistema em relação ao envelope de vidro de um edifício é a chave morfológica.

1.2 Similaridade entre a fachada envidraçada edilícia brasileira e internacional

As fachadas envidraçadas em edifícios podem apresentar algumas diferenças significativas entre os países de primeiro mundo, como os Estados Unidos, a Alemanha e o Japão, e o Brasil. Abaixo, Andreis (2014) procede com um comparativo entre essas estruturas arquitetônicas em relação a diferentes aspectos:

1. **Tecnologia e Inovação:** Países de primeiro mundo geralmente estão na vanguarda da tecnologia e da inovação arquitetônica. Eles costumam adotar tecnologias avançadas, como vidros inteligentes com controle solar automatizado, sistemas de captação e armazenamento de energia solar e sistemas integrados de automação predial. No Brasil, embora haja uma crescente adoção dessas tecnologias, a implementação em grande escala ainda está em estágios iniciais;
2. **Eficiência Energética:** A eficiência energética é uma preocupação central na arquitetura contemporânea. Nos países de primeiro mundo, as fachadas envidraçadas são projetadas para oferecer alto desempenho energético, com vidros de baixa emissividade, isolamento térmico avançado e sistemas de controle solar. No Brasil, embora a busca pela eficiência energética esteja em ascensão, ainda há uma demanda significativa por melhorias nesse aspecto, com edifícios que muitas vezes apresentam menor desempenho energético;
3. **Normas e Regulamentações:** Países de primeiro mundo costumam ter normas e regulamentações rigorosas relacionadas à segurança, sustentabilidade e desempenho das fachadas envidraçadas. Essas diretrizes visam garantir a segurança estrutural, a eficiência energética e a proteção contra riscos naturais, como terremotos e furacões. No Brasil, embora existam regulamentações, nem sempre são tão abrangentes e rigorosas quanto em alguns países de primeiro mundo;
4. **Uso de Materiais Sustentáveis:** A preocupação com a sustentabilidade também influencia a escolha dos materiais utilizados nas fachadas envidraçadas. Nos países de

primeiro mundo, há uma ênfase crescente no uso de vidros recicláveis, com baixa emissão de carbono e que contribuam para a redução do consumo energético. No Brasil, embora haja uma conscientização crescente sobre a sustentabilidade, a utilização de materiais sustentáveis ainda não é tão difundida;

5. Estética e Design: A estética e o design das fachadas envidraçadas podem variar entre países. Países de primeiro mundo muitas vezes adotam abordagens arquitetônicas arrojadas, explorando formas complexas e fachadas envidraçadas curvas ou estruturalmente desafiadoras. No Brasil, embora haja uma variedade de estilos arquitetônicos, ainda é comum encontrar fachadas mais tradicionais e menos ousadas em termos de design.

É importante ressaltar que essas diferenças não significam que o Brasil esteja atrasado em relação aos países de primeiro mundo. Apesar disso, o desenvolvimento da arquitetura e das fachadas envidraçadas é influenciado por diversos fatores, como contexto econômico, regulamentações, cultura e demanda local. Nesse âmbito, o Brasil tem suas próprias características e desafios, como o clima tropical e as questões socioeconômicas, que podem influenciar as escolhas arquitetônicas e o desenvolvimento das fachadas envidraçadas (Martins, 2022; Garcia; Andrade Junior; Oliveira, 2017).

Somando-se a exposto, é imprescindível considerar que a arquitetura é um campo em constante evolução, e o Brasil tem se destacado com projetos arquitetônicos inovadores que valorizam a sustentabilidade e a identidade cultural. Nos últimos anos, tem havido um aumento na conscientização sobre a importância da eficiência energética e do uso de materiais sustentáveis no Brasil. Dessa monta, projetos arquitetônicos estão cada vez mais incorporando soluções e tecnologias avançadas em suas fachadas envidraçadas, buscando alcançar maior desempenho energético, conforto térmico e estética contemporânea (Martins, 2022) (Garcia; Andrade Junior; Oliveira, 2017).

1.3 Vidro e desempenho de fachadas envidraçada

O envidraçamento de uma fachada impacta diretamente na estética de uma edificação, proporciona integração visual, iluminação natural, ventilação e atuam diretamente no consumo de energia. Entretanto, as propriedades dos materiais podem contribuir ou

dificultar tais variáveis, sendo que os vidros, por exemplo, podem alterar o eixo solar, operando, muitas vezes, como elemento de controle ou expandindo o ganho de calor através dos coeficientes de fator solar e da transmissão luminosa (Fernandes, 2016).

Conforme a figura 1 observa-se que a energia solar incide diretamente no vidro, e penetra para o interior da edificação por ondas curtas e converte-se em calor, outra parte dessa energia é refletida para o exterior. Outra parcela, por meio da convecção poderá ser transmitida para o interior ou refletida para o exterior na forma de onda longa dependendo da condução do material. Entretanto, essa situação é influenciada pelos coeficientes de absortividade, refletividade e transmissividade do tipo de vidro. A reflexão de energia é o calor irradiado a partir do vidro em direção ao ambiente interno e ao externo.

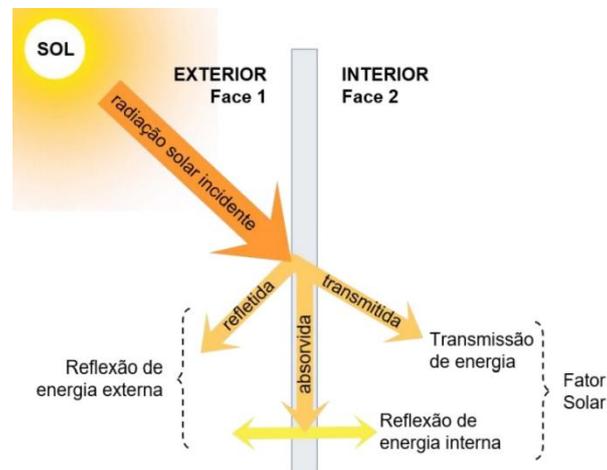


Figura 1 - Comportamento do vidro frente à radiação solar. **Fonte:** PINTO, 2017, p. 39

Os vidros impactam diretamente no desempenho lumínico e térmico, quanto maior o fator solar, maior será o ganho de calor interno, e quanto mais claro o vidro, maior o índice de transmissão luminosa.

Grande, Meseguer e Alonso (2005) estudaram a influência das propriedades do vidro no desempenho de fachadas de vidro duplo. A taxa de calor total no edifício foi calculada para dez fachadas diferentes formadas por diferentes combinações de vidro. Para introduzir esta carga térmica no edifício foi necessário resolver o campo de fluido no interior do canal formado pelas duas camadas de vidro. A vazão mássica no canal, bem como o aumento da temperatura média do ar que passa pelo canal também foram obtidos. Para reduzir as cargas térmicas no

edifício, também foi analisado o efeito de resfriamento resultante do sopro de ar pelo canal. Focando a atenção apenas no equilíbrio térmico, isto é, deixando de lado aspectos como estética ou custo, foi demonstrado que uma seleção adequada dos vidros que formam o canal pode reduzir a carga térmica no edifício em quase uma ordem de grandeza.

Também foi demonstrado que um uso adequado da corrente de ar que flui entre as superfícies de vidro pode melhorar o equilíbrio térmico global. Além disso, como o ar que circula pelo canal é aquecido, a massa de ar poderia ser utilizada para fins de aquecimento no inverno, economizando energia. O método empregado em qualquer outra combinação de vidros, constituindo uma ferramenta útil para a otimização térmica de fachadas de vidro duplo. Luther (2012), projetaram vários sistemas de envidraçamento usando as ferramentas de software VISION 3 (University of Waterloo, 1992) e WINDOW-6 (Lawrence Berkeley National Laboratory, 2011), com o intuito de melhorar o ambiente térmico dos ocupantes perto da parede envidraçada de um escritório comercial. Os sistemas foram fabricados e testados experimentalmente para validar os resultados da modelagem do software. Posteriormente, os sistemas de envidraçamento foram adaptados ao escritório e testados in-situ durante um mês de verão. Os testes in-situ demonstraram que os modelos de simulação fornecem uma previsão relativamente boa de temperaturas de envidraçamento para arranjos de envidraçamento comuns e, como tal, os componentes de transferência de calor.

Uma investigação experimental e numérica do impacto da fachada de vidro de um edifício existente no microclima vizinho e na carga de resfriamento do edifício foi investigado (Mehaoued; Lartigue, 2019). A modelagem do microclima ao redor do edifício do estudo de caso foi realizada com o software ENVI-met. O impacto do microclima foi analisado calculando a carga de resfriamento do edifício do estudo de caso com três arquivos de dados meteorológicos. A carga de resfriamento foi calculada com o software de simulação de energia do edifício Ecotect para um dia típico de verão. Os arquivos de dados meteorológicos investigados consistiram nos dados experimentais da estação de referência do aeroporto de Argel, dados experimentais medidos no telhado do edifício do estudo e nos dados modelados pelo ENVI-met levando em consideração o microclima criado pelo edifício envidraçado. Verificou-se que a temperatura do ar no entorno do edifício aumentou significativamente devido às múltiplas reflexões do fluxo de calor por radiação, levando a um aumento na demanda de resfriamento.

Um estudo sobre o efeito de fatores geométricos como relação janela-parede e posicionamento da janela no consumo de energia para aquecimento, resfriamento e iluminação de uma célula de construção voltada para o sul em clima quente e úmido foi realizado (Ghosh; Neogi, 2018). Os desempenhos de diferentes dispositivos de proteção solar externos comumente usados foram comparados. O estudo também propôs o projeto de um dispositivo de sombreamento externo que, quando comparado com os projetos de sombreamento existentes, levou à redução do consumo anual de energia do edifício. As simulações foram realizadas usando o programa de simulação energética de edifícios *EnergyPlus* para o clima quente e úmido de Calcutá, na Índia. A fim de validar a aplicabilidade do novo sombreamento em outros locais com climas semelhantes, o desempenho do sombreamento proposto também foi avaliado para outros dois locais - Nápoles nos EUA e Hanói no Vietnã. Em ambos os casos, o novo sombreamento ofereceu melhor desempenho do que os outros projetos de sombreamento existentes, resultando no consumo mínimo de energia do edifício.

2.4 Tipos de Vidros

Os vidros consistem em uma variável extremamente importante para o desempenho de edificações, possuindo aspectos distintos no que diz respeito a luz, isolamento e transmissão de calor propiciados. Por isso, pode-se dizer que o conhecimento das suas características individuais e das possíveis combinações com materiais diversos, é fundamental. Diversos tipos de vidros são utilizados na construção civil, como os vidros do tipo: vidro float (ou flotado), temperado, laminado, insulado e de controle solar, de acordo com a NBR 7199:2016 (ABNT, 2016). O vidro do tipo float é o substrato para os demais de acordo com o tratamento e o sistema que estes vidros foram definidos. A seguir são apresentados os três tipos de vidro utilizados como base desta pesquisa: vidro reflexivo, Vidro baixo-emissivos (low-e) e o vidro insulado duplo com câmara de ar.

Vidro Reflexivo

As superfícies transparentes são bastante frágeis no que se refere ao ganho de calor direto, permitindo facilmente a entrada de radiação solar direta para o interior de um ambiente. A partir disso, profissionais buscam estratégias eficientes para revestimento em

fachadas, a partir da utilização de materiais refletivos, cores claras, películas espelhadas para equilibrar o conforto lumínico e termoenergetico em fachada envidraçada. Dessa forma, surge o vidro reflexivo, que é bastante usado na construção civil, principalmente em projetos empresariais, como estratégia de controlar a insolação, a entrada de calor excessivo no ambiente interno e refletir outra parte da radiação para o exterior, por meio do princípio de reflexão.

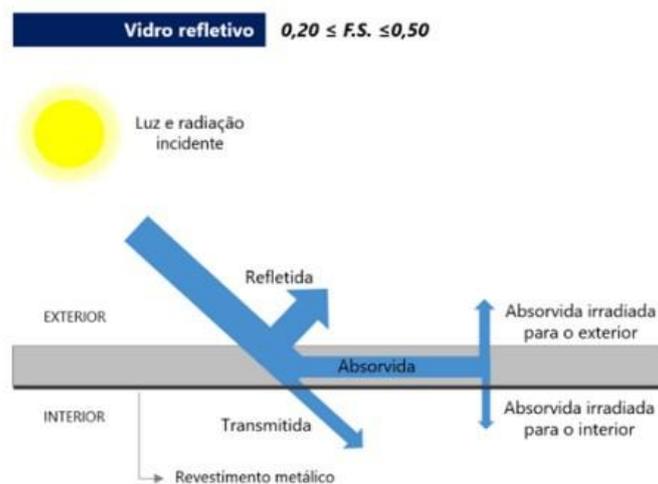


Figura 2 - Comportamento do vidro reflexivo frente à radiação incidente. **Fonte:** ZAGO, 2019, p. 17

Os vidros reflexivos passaram a integrar os envelopes de edificações nos grandes centros urbanos, devido a sua permeabilidade visual e pela conexão direta com o exterior, aliado ao seu poder de reflexão, o que auxilia aproximadamente dois terços dos ganhos de calor, quando comparados ao vidro incolor (Zago, 2019). A reflexão de calor pode favorecer o interior do ambiente, porém poderá haver desconforto alterando o microclima local, devido ao brilho excessivo. O vidro refletivo reflete para o eixo de mais iluminação natural. Isso significa que durante o dia a reflexão se dissipa externamente e a noite para o eixo interna na edificação, e se é excessiva o resultado pode ser desconfortável para o usuário.

O modelo se popularizou com a arquitetura contemporânea para projetos inovadores. São produzidos a partir do vidro *float* comum incolor ou colorido e são fundamentados a partir da inserção de uma camada metalizada, que pode ser de alumínio, cromo ou alumínio durante seu processo em uma das fases, e em seguida recebe uma camada

de tinta protetora (Westphal, 2014). São essas substâncias que conferem ao produto as características de refletividade parcial (Martins, 2022). Substancia essa que confere a visão da característica espelhada em um dos eixos. Atualmente, o mercado brasileiro dispõe de vidros espelhados de boa qualidade e para os mais diversos fins.

Vidro baixo-emissivos (low-e)

A escolha das fachadas envidraçadas garante aspecto estético moderno e contemporâneo à edificação, porém devem ter seus componentes devidamente estudados para que haja a garantia de durabilidade e bom desempenho para os ocupantes da edificação (Suller et al, 2017).

As fachadas envidraçadas são cada vez mais utilizadas nos edifícios comerciais buscando além da estética melhorar o conforto térmico, a eficiência lumínica e a energética. Em regiões de climas rigorosos, o vidro low-e possibilita a eficiência na economia de aquecedores, pois se perde menos calor através do vidro para o ambiente externo. Os vidros low-e são mais eficientes que os reflexivos comuns, capazes de selecionar ondas de radiação que irão entrar no ambiente, evitam perda de calor nos períodos frios (Luz, 2017). Ainda de acordo com a autora, geralmente esse tipo de vidro são utilizados como vidros duplos, reduz a transferência de calor por radiação em 5 a 10 vezes.

Os vidros com revestimento baixo emissivo (Low-e) reduzem a entrada direta de energia solar no edifício (Andreis 2014; Guardian, 2010). Este modelo de vidro contém uma película que reflete os raios do sol e filtra a luz natural, e a camada metalizada (óxido metálico) é aplicada na face superior do vidro. O vidro Low-e refletem menos luz visível e reduzem a entrada de energia solar, consequentemente controlar a transferência de calor por condução térmica, o que impede a troca de calor entre dois ambientes, o externo e o interno reduzindo o consumo energético para condicionamento do ar.

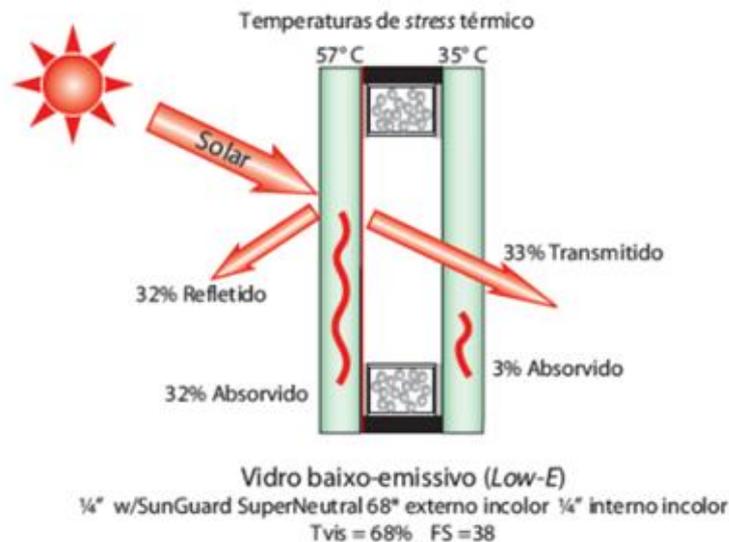


Figura 3 – Comportamento do vidro de baixa emissividade frente à radiação incidente. **Fonte:** Adaptado de Vidros de controle solar (2012)

O desempenho lumínico e termo energético do vidro low-e apresenta potencial de redução do consumo elétrico entre 25% a 35%, e essa redução pode chegar a barrar cerca de 60 a 65% dessa radiação devido suas características de oferta da luz natural reduz o uso da iluminação artificial e por controlar a temperatura do ambiente interior reduz ao uso de climatizadores de ar.

Vidro duplo com câmara de ar (insulado)

Os vidros insulados são formados basicamente por uma composição de duas ou mais placas de vidros de qualquer tipo de vidro plano (laminado, comum, temperado ou serigrafado) unidas hermeticamente e que formam uma câmara de ar, ou outro gás de baixa condutividade térmica, como o argônio, xenônio e criptônio e forma um conjunto unitário e que contribuem para o isolamento térmico.

Conhecido como “unidade insulada” e pelo termo em inglês IGU (Insulated Glass Unit), e é eficiente em diminuir a transferência de calor por condução através do vidro (Westphal, 2016). A Figura 4 apresenta um corte do perfil da composição de um vidro insulado duplo com câmara de ar.

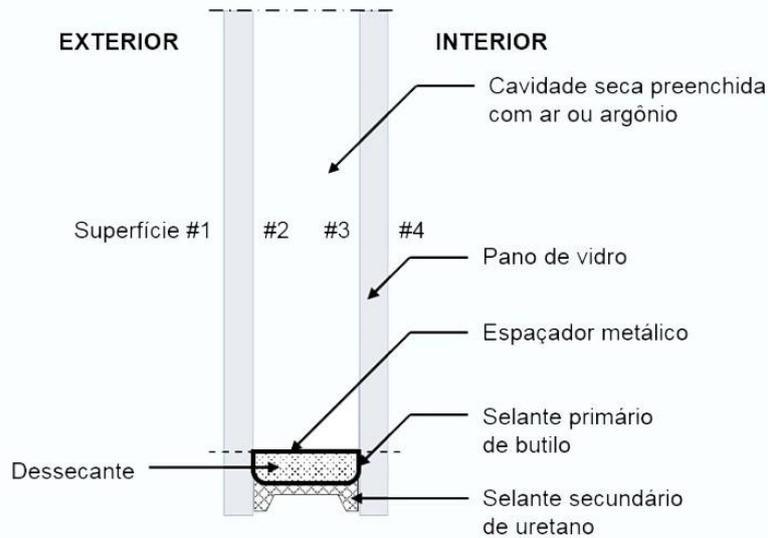


Figura 4 – Corte detalhado dos componentes do vidro duplo insulado. **Fonte:** Pinto (2017)

A partir da inserção da segunda lâmina de vidro, juntamente com a câmara de gás, favorece a elevação da resistência térmica do material, e a composição atua no fluxo exterior/interior, dificultando a entrada de calor para o interior da edificação. O sentido do fluxo de calor dependerá do eixo interno ou externo que estará com nível mais elevado de temperatura.

Segundo Pinto e Westphal (2016) para climas temperados, a câmara de ar isolante, impede a dissimilação de calor gerado pela carga interna instalada na edificação, por outro lado, aumenta o consumo para resfriamento. Por fim, essa composição disponibiliza alta performance de conforto térmico para fachadas envidraçadas, além de minimizar a transferência de calor e atenuar a propagação de ruídos entre locais distintos e por ser um vidro confeccionado por aparelhos automatizados e submetidos a rigorosos controles de qualidade.

3. Conclusões

Nesta pesquisa foi analisado o estado da arte das fachadas envidraçadas em edifícios comerciais e tipos de vidros utilizados no mercado brasileiro. Os resultados mostraram que apesar dos muitos benefícios para os edifícios, a utilização do envidraçamento de fachadas com o intuito de se conseguir um melhor desempenho energético e lumínico ainda possui algumas controversas e limitações, em especial relacionadas às condições bioclimáticas. Por isso, infere-

se que estudos mais aprofundados precisam ser realizados visando obter um melhor desempenho energético em locais com temperaturas elevadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES (Agência Nacional de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro.

Referências

ANDREIS, C. **Influência de fachadas envidraçadas no consumo de energia de um edifício de escritórios em diferentes cidades brasileiras**. Dissertação de Mestrado pela Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

ANDREIS, C.; BESEN, P.; WESTPHAL, F. S. Desempenho energético de fachadas em climas brasileiros. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XV, 2014, Maceió. **Anais** [...]. Disponível em: http://www.researchgate.net/publication/301435454_Desempenho_energetico_de_fachadas_envidracadas_em_climas_brasileiros. Acesso em: 02 jun. 2023.

ANDREIS, Cinthia. **Influência de Fachadas Envidraçadas no Consumo de Energia de um Edifício de Escritórios em Diferentes Cidades**. Brasileiras. 198 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, 2014.

ANTOUN, S.; GHADDAR, N.; GHALI, K. **Coaxial personalized ventilation system and window performance for human thermal comfort in asymmetrical environment**. *Energy Build*, 111. p. 253–266, 2016.

ARICI, M.; KARABAY, H.; KAN, M. **Flow and heat transfer in double, triple and quadruple pane windows**. *Energy Build*, p. 394–402, 2015.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **Relatório Síntese 2020**: Ano base 2021, 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf. Acesso em: 28 maio. 2023.

BRUGNERA, Rosilene Regolão. **Análise Integrada de desempenho energético, Impacto ambiental e custo: Estudo de soluções de fachada para edifícios de escritórios no Brasil**. 2018. 282 f. Tese (Doutorado) -Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-31082018-154505/pt-br.php>. Acesso em: 02 jun. 2023.

BRZEZICKI, M. **A typology of adaptive façades. An empirical study based on the morphology of glazed facades.** Cogent Arts & Humanities, p. 2-29, 2021.

CUSTÓDIO, F. C.; AGUIAR, G. S. **Aplicação estrutural do vidro na construção civil: fachadas estruturais com pilares de vidro.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina. Tubarão, 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Ações para promoção da eficiência energética nas edificações brasileiras: no caminho da transição energética,** 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/NT%20DEA-SEE-007-2020.pdf>. Acesso em: 28 maio. 2023.

FERNANDES, J. T. **Qualidade da iluminação natural e o projeto arquitetônico.** 2016. Tese – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: file:///C:/Users/mloro/Downloads/2016_J%C3%BAliaTeixeiraFernandes.pdf. Acesso em: 07 de jun. 2023.

GARCIA, Rafael Silva Suller; ANDRADE JUNIOR, Luiz Velloso de; OLIVEIRA, Luciana Alves de. **Seleção de Vidros de Fachadas, Considerando o Requisito de Desempenho Térmico.** 1º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos TECSIC, s.l., 2017.

GHOSH, A.; NEOGI, S. **Effect of fenestration geometrical factors on building energy consumption and performance evaluation of a new external solar shading device in warm and humid climatic condition.** Solar Energy, 169, p. 94–104, 2018.

GOUGH, D.; OLIVER, S.; THOMAS, J. **An Introduction to Systematic Reviews.** 2. ed. London: Sage Publishing, 2017.

GRANDE, I. P.; MESEGUER, J.; ALONSO, G. **Influence of glass properties on the performance of double-glazed facades.** Applied Thermal Engineering, 25, p. 3163–3175, 2005.

GUARDIAN. **Manual Técnico: Build with light.** 2010. Disponível em: <http://www.sa.pt.sunguardglass.com/cs/groups/sunguardsouthamer>

HWANG, R. L.; CHEN, W. A. **Creating glazed facades performance map based on energy and thermal comfort perspective for office building design strategies in Asian hot-humid climate zone.** Applied Energy, 311, p. 2-17, 2022. ica/documents/web_assets/gi_002781.pdf. Acesso em 10 jun. 2023.

KO, D. H. **Fenestration Guideline for Energy and Daylight Efficiency: Evaluation and Prediction of Performance in Office Buildings,** 2009.

KONTOLEON, J. K. **Dynamic thermal circuit modelling with distribution of internal solar radiation on varying facade orientations.** Energy Build, 47, p. 139–150, 2012.

LUTHER, M. **Designing for thermal comfort near a glazed exterior wall**. Architectural Science Review, p. 2-45, 2012.

LUZ, I. B., **O Impacto das Ilhas de Calor na Escala Gregária de Brasília com Ênfase nas Fachadas Espelhadas** Dissertação de Pós-Graduação e Pesquisa pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS Brasília-DF 2018.

MARTINS, Lívia de Oliveira. **Fachada de vidro: Reflexos da luz natural em uma cidade dos trópicos**. (Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Área de Concentração: Cidades. Linha de Pesquisa 2: Tecnologias. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2020. [file:///C:/Users/mloro/Downloads/Fachada%20de%20vidro%20reflexos%20da%20luz%20natural%20em%20uma%20cidade%20dos%20tr%C3%B3picos%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/mloro/Downloads/Fachada%20de%20vidro%20reflexos%20da%20luz%20natural%20em%20uma%20cidade%20dos%20tr%C3%B3picos%20(1).pdf).

MEHAOUED, K.; LARTIGUE, B. **Influence of a reflective glass façade on surrounding microclimate and building cooling load**: Case of an office building in Algiers. Sustainable Cities and Society, 46, p. 1-10, 2019.

PINTO, Mônica Martins. **Desempenho Energético de Edifícios de Escritório com Vidros Insulados em Climas Brasileiros**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina.

SCALCO, V. A.; PEREIRA, F. O. R.; RIGATTI, D. **Impacto de novas edificações na vizinhança: proposta de método para a análise das condições de iluminação natural e de insolação**. In: MARTINS, Lívia de Oliveria. **Fachada de Vidro: reflexos da luz natural em uma cidade dos trópicos**. 148f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Maceió, 2022.

SHAMERI, M. A. et al. Perspectives of double skin façade systems in buildings and energy saving. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 3, p. 1468–1475, abr. 2011.

SULLER, R. S. G. et al. **Seleção de vidros de fachadas, considerando o requisito de desempenho térmico**. 1º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos TECSIC – 2017 03 e 04 de agosto de 2017.

VEDOVELLO, C. A. da S. **Gestão de projetos de fachadas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-06062013-163302/pt-br.php>. Acesso em: 02 de jun. 2023.

WESTPHAL, F. **Manual técnico do vidro plano para edificações**. 1. ed. São Paulo: Abividro, 2016. 183 p.

WESTPHAL, F.S. **Vidros de controle solar, ARQ5658 – Eficiência Energética e Sustentabilidade em Edificações** https://arq5658.paginas.ufsc.br/files/2012/03/a4_vidros.pdf. pág 24 Acesso em 07/06/2023.

WHESTPHAL, F. S. **Vidros de alto desempenho e eficiência energética em edificações**. In: MARTINS, Lívia de Oliveria. **Fachada de Vidro: reflexos da luz natural em uma cidade dos trópicos**. 148f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Maceió, 2022.

ZAGO, A. C. **FACHADAS REFLETIVAS INFLUÊNCIA SOBRE AS EDIFICAÇÕES DO ENTORNO**. Trabalho de conclusão de curso. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Santa Catarina, 2020.

https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/204845/ANA%20CAROLINA_FACHADAS%20REFLETIVAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

PRODUÇÃO IMOBILIÁRIA FORMAL DE JOINVILLE

FORMAL REAL ESTATE PRODUCTION IN JOINVILLE

Anna Letícia Verardi¹

alv.rardi@gmail.com

Luiza Helena Moser²

luiza28.helena@gmail.com

Marcel Virmond Vieira³

marcel.virmond@joinville.sc.gov.br

Samara Braun⁴

samara.braun@joinville.sc.gov.br

Resumo: A forma e paisagem das cidades envolve uma relação entre as normativas de uso e ocupação do solo e a atuação de agentes locais. O objetivo deste estudo foi levantar e analisar a produção imobiliária formal, na cidade de Joinville, entre os anos de 2011 a 2020, sob a vigência de duas distintas leis de uso e ocupação do solo. A partir deste levantamento, busca-se contribuir com a publicização de dados para pesquisas e análises quanto uma melhor compreensão do perfil da produção imobiliária frente à legislação urbanística, que possa embasar a tomada de decisão em políticas públicas urbanas e eventuais revisões das normativas municipais.

Palavras-chave: Plano Diretor. Construção. Mercado Imobiliário. Adensamento Urbano.

Abstract: The form and landscape of cities involve a relationship between land use and occupation regulations and the actions of local agents. The objective of this study was to survey and analyze formal real estate production in the city of Joinville between 2011 and 2020, under the terms of two distinct land use and occupation laws. Based on this survey, we seek to contribute to the publication of data for research and analysis regarding a better understanding of the profile of real estate production in relation to urban legislation, which can support decision-making in urban public policies and possible revisions of municipal regulations.

Keywords: Master Plan. Construction. Real Estate Market. Urban Density.

¹ Acadêmica de Arquitetura e Urbanismo – Centro Universitário Católica de Joinville.

² Acadêmica de Arquitetura e Urbanismo – UNIVILLE.

³ Arquiteto Urbanista. Especialização em Desenvolvimento Urbano e Gerenciamento Ambiental. Secretário de Pesquisa e Planejamento Urbano da Prefeitura de Joinville.

⁴ Arquiteta Urbanista. MBA em Gestão e Políticas Públicas Municipais. Mestre em Desenvolvimento Regional.

1. Introdução

Na atualidade, a produção e a incorporação imobiliária se confundem com a própria produção e apropriação do ambiente construído (Abreu, 2019). A forma e paisagem das cidades envolve uma relação entre as normativas de uso e ocupação do solo, e a atuação de agentes locais. Enquanto a primeira reflete um pacto social da regulação sobre as possibilidades de se produzir e reproduzir no espaço urbano, a segunda reflete fisicamente as influências do sistema econômico e demais forças que por vezes atuam fora de seus limites políticos e administrativos.

A produção imobiliária no país passa por um expressivo crescimento a partir dos anos 2000, articulado ao crescimento da economia nacional como um todo, que refletiu-se nos índices do Produto Interno Bruto (PIB), e em tendências macroeconômicas (Miotto et al., 2019). Houve também consideráveis alterações em marcos regulatórios e políticas públicas voltados ao aumento da segurança jurídica e financeira para setor da construção civil (Ferreira, 2012) e medidas destinadas à ampliação do crédito (Fix, 2011), que consequentemente implicam no aumento produtivo do setor. Aliado a este cenário, melhorias em políticas socioeconômicas, como a valorização do salário mínimo e expansão de políticas sociais, ampliaram a capacidade de consumo das classes trabalhadoras (Pochmann, 2011). O pico da produção imobiliária no país se deu entre 2010 e 2012, e de financiamentos imobiliários em 2014, já a partir de 2015 observou-se um período de recessão (Martins, Pereira, 2022).

O objetivo deste estudo foi levantar e analisar a produção imobiliária formal, na cidade de Joinville na última década, a partir de dados disponibilizados pela Secretaria de Meio Ambiente - SAMA da Prefeitura de Joinville. A SAMA é responsável tanto pelo setor de análise e aprovação de projeto, que adota desde 2014 o padrão simplificado denominado Projeto Legal, quanto pelo setor de fiscalização. Referente à aprovação de projeto, foram considerados os relatórios de emissão de alvará de construção, deve se estar atento que a emissão de alvará de construção não implica necessariamente que a obra tenha ocorrido, pois se trata de um documento que é pré-requisito para iniciar a obra. Para obras formalmente concluídas, foram considerados os relatórios de emissão dos Certificados de Vistoria e Conclusão de Obra (CVCO).

Esta análise histórica abarca um recorte da produção imobiliária que compreende os anos de 2011 a 2020, sob a vigência de duas distintas leis de uso e ocupação do solo, a Lei Complementar nº 312/2010 e a vigência da Lei Complementar nº 470/2017.

A partir deste levantamento, busca-se contribuir com a publicização de dados para pesquisas e análises quanto uma melhor compreensão do perfil da produção imobiliária frente à legislação urbanística, que possa embasar a tomada de decisão em políticas públicas urbanas e eventuais revisões das normativas municipais.

2. Legislação Urbanística

O histórico da legislação urbana em Joinville remonta ao período da colônia. Numa tendência distinta da maioria das cidades brasileiras, Joinville se origina, até certa medida, de forma planejada (Wilheim, 1977). Os primeiros trabalhos urbanísticos de caráter de regulação urbana moderna em Joinville surgem a partir da década de 1960. Desde este período, o regime urbanístico tem tomado por diretriz o adensamento e ocupação urbana em áreas já servidas de infraestrutura urbana, principalmente em regiões centrais, seguido de eixos viários estruturantes do território. Com o advento do Estatuto da Cidade, um novo Plano Diretor é elaborado e sancionado em Joinville, e as diretrizes já abordadas em planos e projetos anteriores se consolidam com o Plano Diretor em 2008 (Lei Complementar nº 261/2018), e são reafirmadas na Revisão do Plano Diretor em 2022 (Lei Complementar nº 620/2022).

As leis de zoneamento da cidade, a saber, Lei Complementar nº 27/1996 consolidada pela Lei Complementar nº 321/2010 e Lei Complementar nº 470/2017 (figura 01), por meio dos índices de uso e ocupação do solo, refletem as diretrizes traçadas pelo plano diretor. Observa-se desde a década de 1990 que as normativas urbanas delineiam as áreas centrais e regiões próximas com índices de ocupação mais permissivos (tal como gabarito e coeficiente de aproveitamento do lote), e áreas mais distantes, ou periféricas do perímetro urbano, com índices mais restritivos.

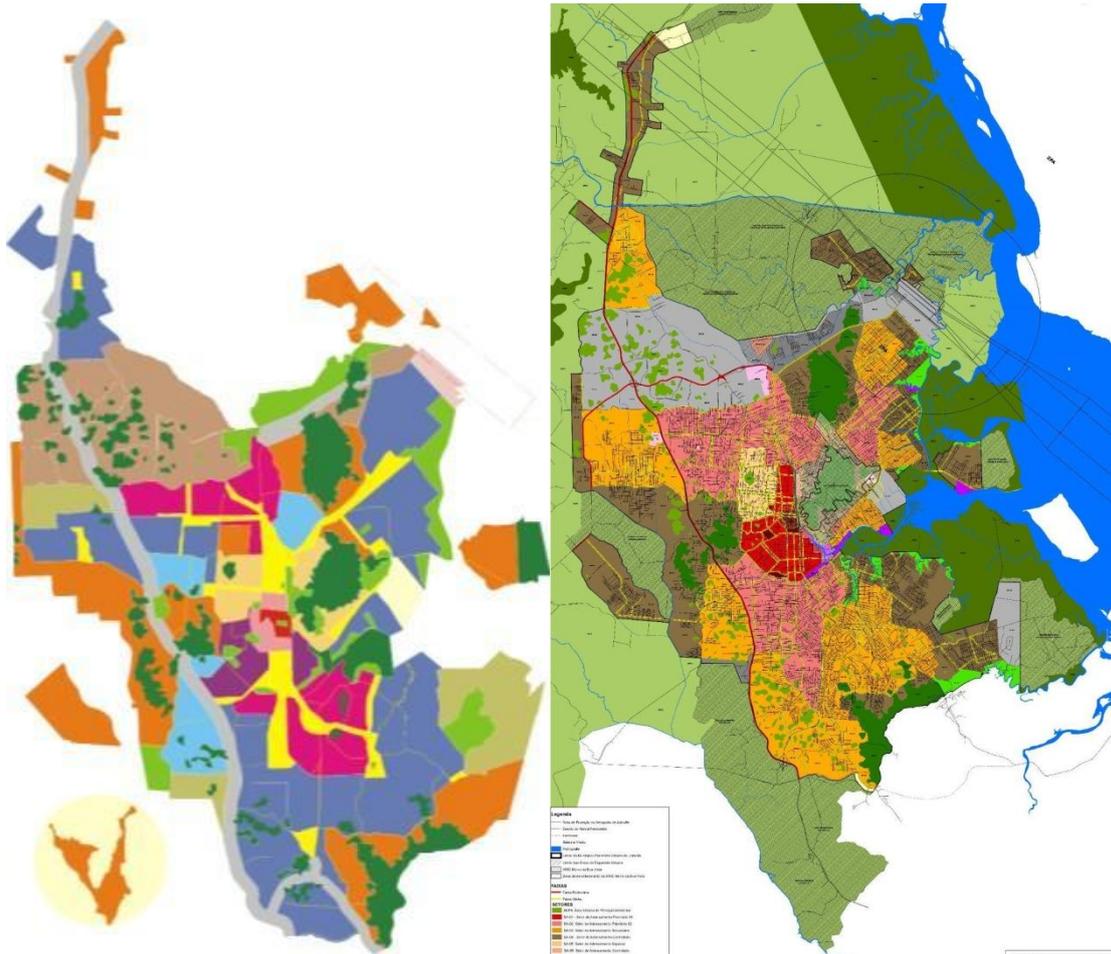


Figura 01: Mapa de Uso e Ocupação do Solo, Lei Complementar nº 321/2010 e Lei Complementar nº 470/2017, respectivamente. **Fonte:** Joinville, 2010, 2017.

Em 2019 são regulamentados os instrumentos urbanísticos de promoção ao desenvolvimento sustentável (a Lei Complementar nº 523/2019), que inclui por exemplo a Outorga Onerosa do Direito de Construir, e de Indução ao Desenvolvimento Sustentável (Lei Complementar nº 524/2019), como por exemplo o Parcelamento, Edificação ou Utilização Compulsórios, em atendimento às premissas do Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável de Joinville de estímulo à ocupação e desenvolvimento de regiões centrais e eixos estruturantes. Tais instrumentos visam contribuir para o adensamento nas áreas consideradas prioritárias e a indução da ocupação e utilização de vazios urbanos, respectivamente.

3. Produção Imobiliária Formal

A seguir, apresentamos os principais resultados das análises das séries históricas, primeiramente quanto aos usos, e posteriormente quanto ao potencial construtivo.

3.1 Usos Dos Empreendimentos

Para análise quanto aos usos, foram considerados os dados referente à emissão de alvarás de construção, visto que os relatórios de CVCO não apresentam esta informação. Cabe observar que a emissão de alvará de construção não implica que houve de fato a edificação.

Observa-se maior volume de emissão de alvarás de construção para uso residencial unifamiliar, seguido das emissões de alvará de construção para uso residencial multifamiliar com pico próximo ao fenômeno nacional de pico da produção imobiliária (figura 02).

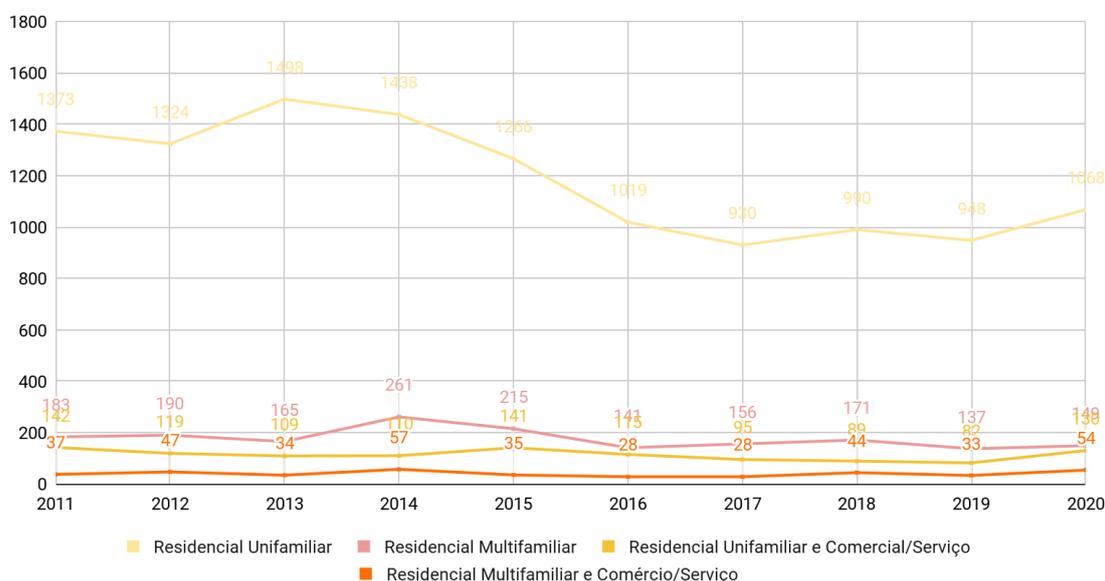


Figura 02: Emissão de Alvará de Construção Uso Residencial - 2011 - 2021. **Fonte:** Elaborado a partir de dados da SAMA.UAP.

Quanto à distribuição no perímetro urbano, nota-se que os alvarás de construção emitidos para usos residenciais se distribuem pelo território (figura 03), com maior concentração na porção norte da cidade, próximo de setores industriais da cidade - o que possivelmente indica a influência que a distância do local de emprego exerce sobre a produção

imobiliária. No território, observa-se que a emissão de alvará de construção para residência unifamiliar se encontra bem distribuída, destaca-se a menor incidência na região central da cidade, e vazios nas zonas industriais (neste caso, o uso residencial é proibido). Quanto às emissões para residências multifamiliares, observa-se maior incidência na porção norte da cidade, destacando-se o eixo entre os bairros Costa e Silva, Jardim Iriirú e Aventureiro, e maior proximidade de eixos estruturantes do sistema viário.

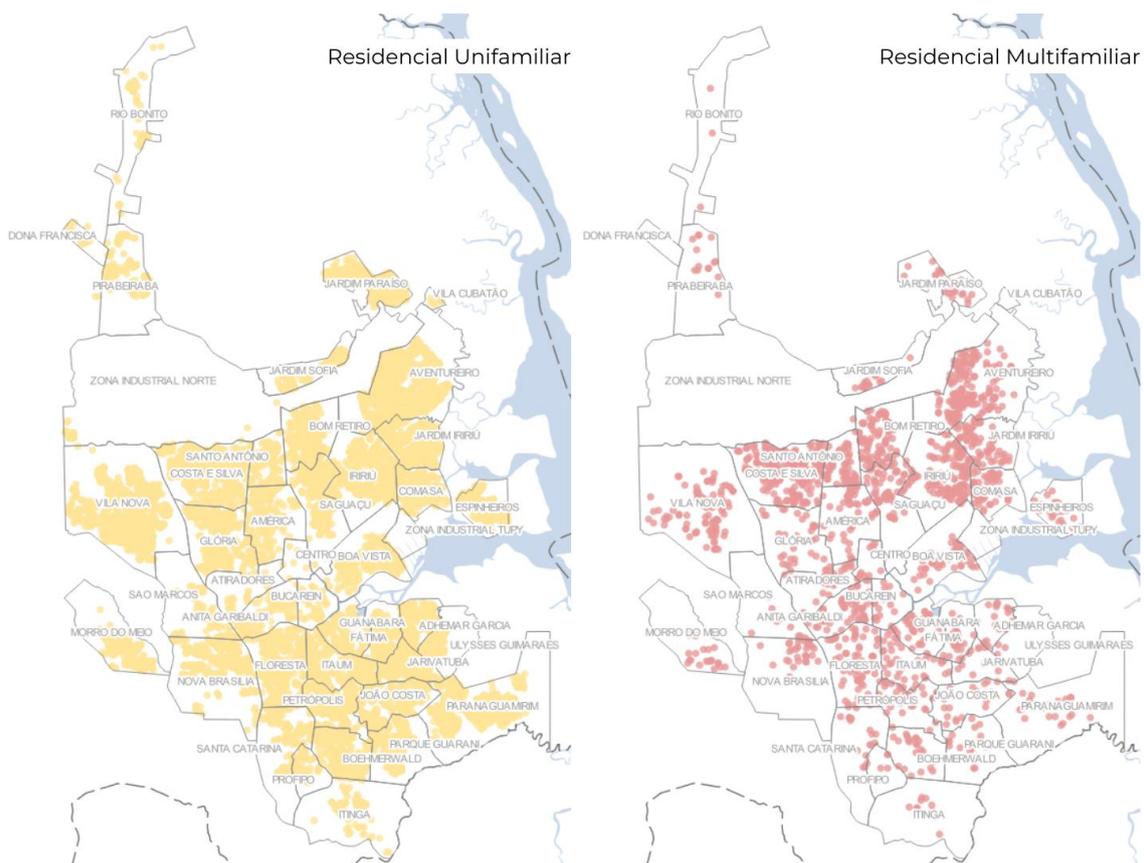


Figura 03: Emissão de Alvará de Construção Uso Residencial - 2011 - 2021. **Fonte:** Elaborado a partir de dados da SAMA.UAP, 2023.

Quanto aos demais usos, observa-se maior emissão de alvará de construção para atividades de comércio e serviço (figura 04).

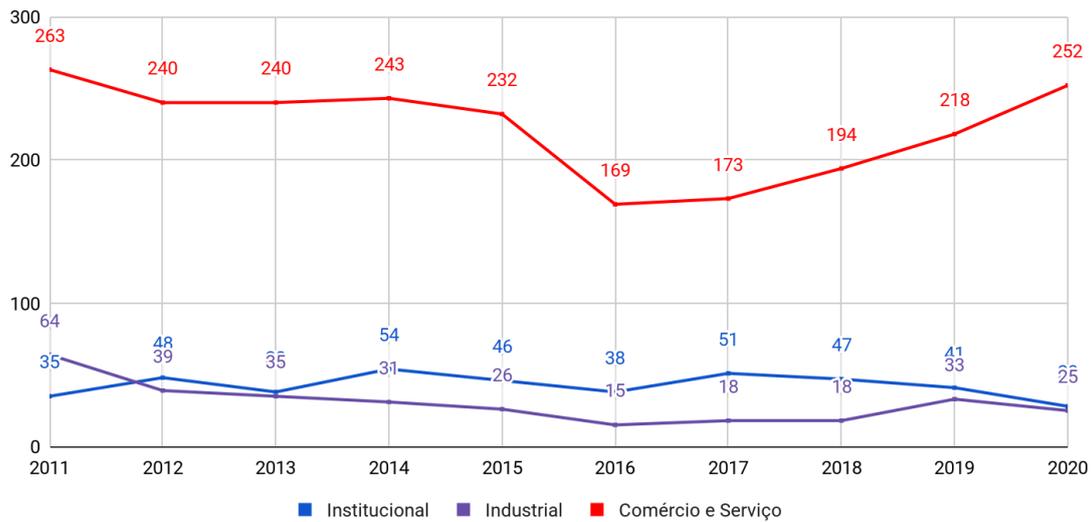


Figura 04: Quantidade de emissão de Alvará de Construção usos diversos - 2011 - 2021. **Fonte:** Elaborado a partir de dados da SAMA. UAP.

Na distribuição no território (figura 05), as atividades comerciais e de serviço se localizam próximas de áreas residenciais, com maior predominância ao longo das vias principais dos bairros, e na porção central da cidade. As atividades institucionais também seguem a tendência de proximidade de áreas residenciais (possivelmente relacionadas a edificações voltadas ao ensino e saúde), e proximidade de áreas com maior concentração de comércio e serviços, caracterizando a formação de centralidades e corredores de serviços ao longo do território. Já as atividades industriais se situam em regiões específicas da cidade, como as zonas industriais, onde há menor incidência de restrições de uso para tais atividades, e também ao longo de eixos rodoviários, como por exemplo, a BR-101 e SC-108.

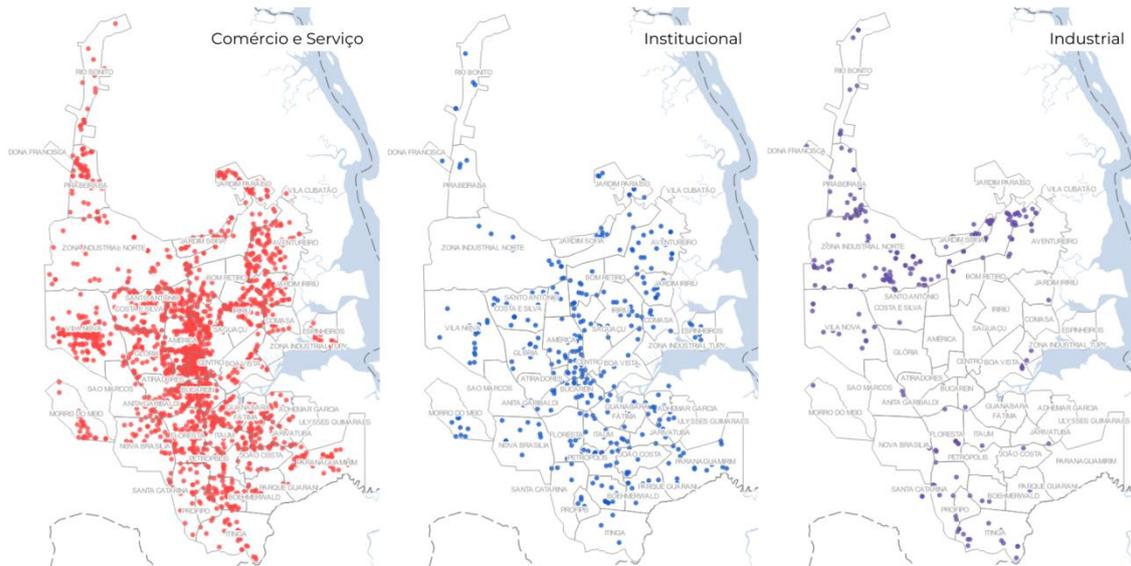


Figura 05: Emissão de Alvará de Construção usos diversos - 2011 - 2021. **Fonte:** Elaborado a partir de dados da SAMA. UAP, 2023.

3.2 Ocupação dos Empreendimentos

Para análise quanto ao potencial construtivo e ocupação, foram considerados os dados de emissão Certificados de Vistoria e Conclusão de Obra - CVCO, que referem-se às edificações formalmente finalizadas. Observa-se o ápice da conclusão de obras durante o ano de 2015 (figura 06), e não houve recebimento de dados referente ao ano de 2018. No volume de área construída com emissão de CVCO chama atenção o período entre 2011 a 2014, onde apesar da menor quantidade de CVCOs emitidas, abarcou um período de maior volume de metragem quadrada, seguindo a tendência nacional de crescimento e auge da produção imobiliária. Quanto ao declínio nos anos seguintes, da mesma forma, segue a tendência nacional, em decorrência do período de recessão. Especificamente quanto aos dados mais recentes, é necessário pontuar que os relatórios estavam incompletos devido a migração de sistema pelo qual a prefeitura passava, a partir de 2021.

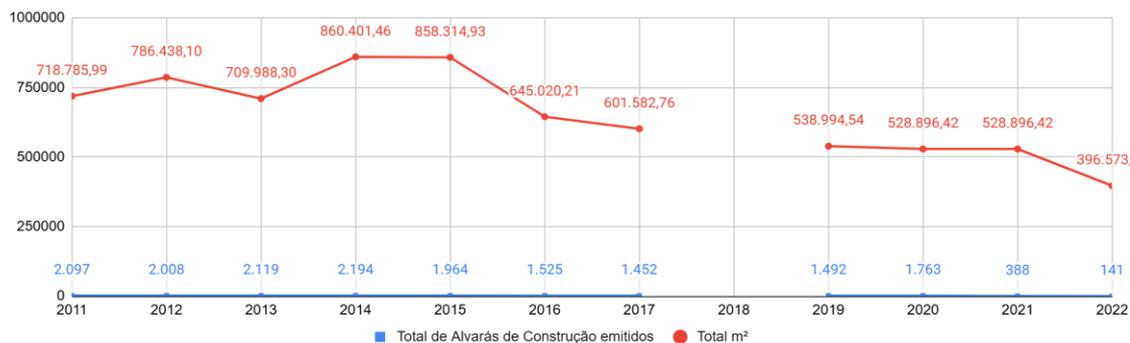


Figura 06: Total de CVCO emitidas por ano e Total de área construída em CVCO. **Fonte:** Elaborado pelos autores a partir de dados da SAMA. UNF.

A distribuição no território demonstra um maior volume de emissão de CVCO na porção oeste da cidade, principalmente no bairro Vila Nova (figura 07).

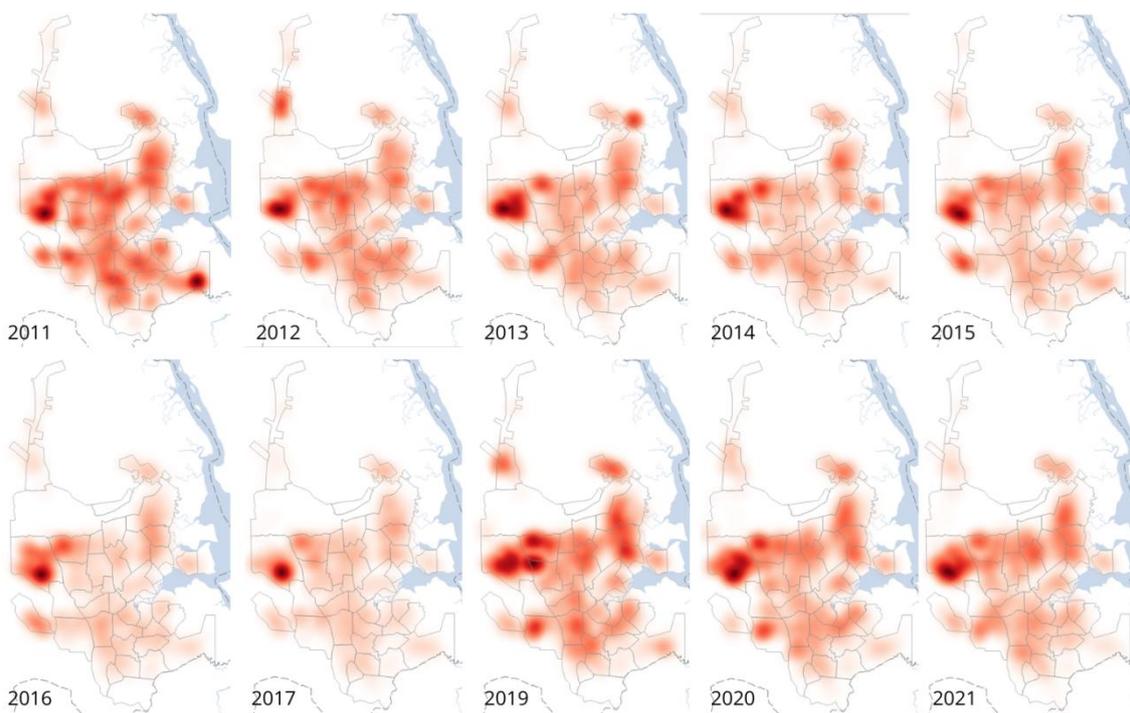


Figura 07: Série histórica CVCO - mapa de calor - 2011 a 2021. **Fonte:** Elaborado pelos autores a partir de dados da SAMA. UNF, 2023

Quanto à análise estimativa do potencial construtivo efetivamente utilizado (figura 08) neste comparativo tomou-se por base o coeficiente de aproveitamento do lote (CAL) instituído pela Lei Complementar nº 470/2017, e a média do potencial construtivo das CVCO's

emitidas no período entre 2017 e 2021. É importante observar que as áreas registradas na emissão de CVCO não necessariamente contemplam a totalidade do empreendimento, podendo estar vinculada também a reformas e ampliações, ou a emissão parcial. Não foi considerada a análise pela Lei Complementar nº 312/2010, visto que somente em setores específicos havia o índice de Coeficiente de Aproveitamento do Lote. Ao considerar a média, nota-se que o potencial construtivo utilizado é inferior ao que permite a lei, já em avaliação individualizada (figura 09), poucos casos ultrapassam o uso superior a 50% do potencial construtivo permitido.

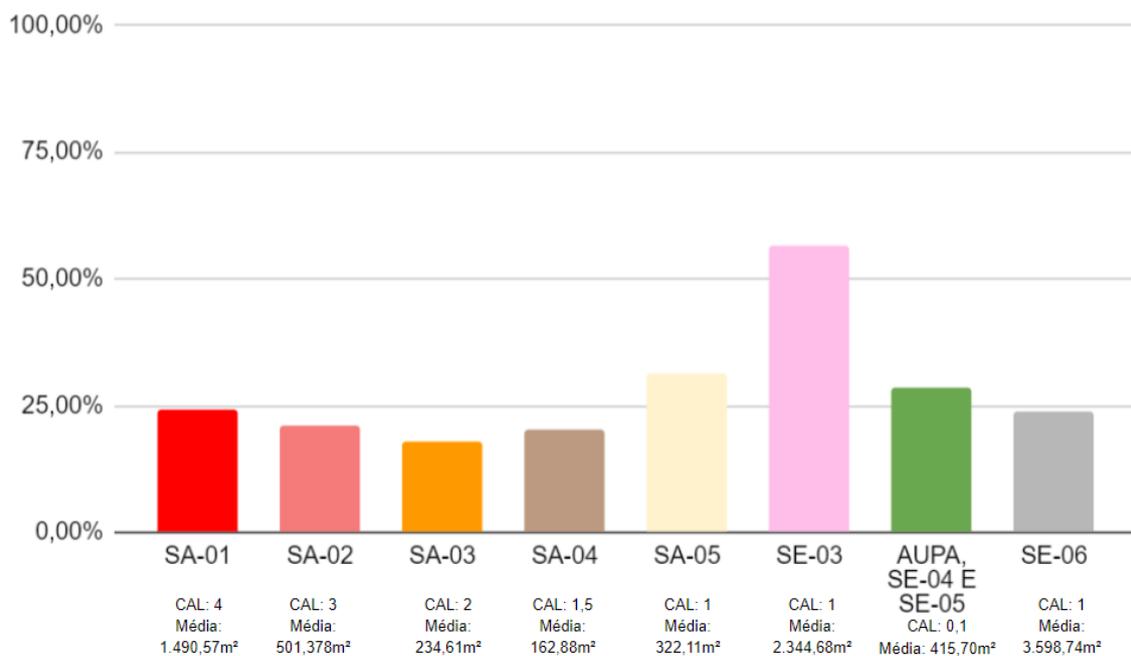


Figura 08: Gráfico de Potencial Construtivo Utilizado - 2017 a 2021. **Fonte:** Elaborado pelos autores a partir de dados da SAMA.UNF.

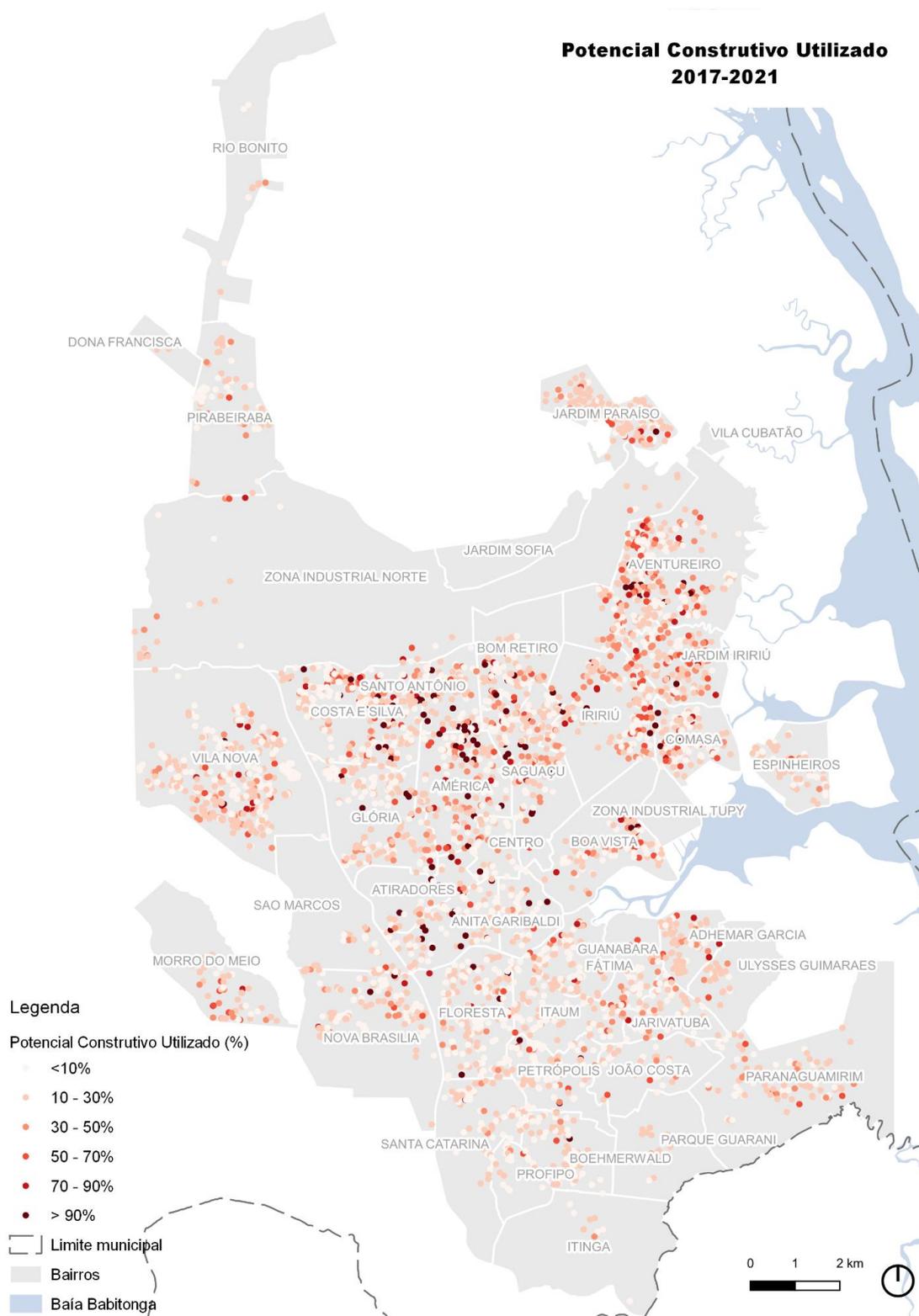


Figura 09: Mapa de Potencial Construtivo Utilizado - 2017 a 2021. **Fonte:** Elaborado pelos autores a partir de dados da SAMA. UNF, 2023.

Em situações que o potencial construtivo ultrapassa 100% cabe notar duas situações: (i) pode haver a aplicação de Outorga Onerosa do Direito de Construir, ou (ii) pode se tratar de área não contabilizada como Área Total Edificada - ATE, a exemplo de áreas de estacionamento (conforme § 2º do art. 65 da Lei Complementar nº 470/2017).

Ao sobrepor a distribuição territorial dos CVCO com o Macrozoneamento da cidade (figura 10), nota-se que há produção significativa em áreas classificadas de adensamento controlado (AUAC), e intensidade menor nas regiões demarcadas como adensamento prioritário (AUAP).

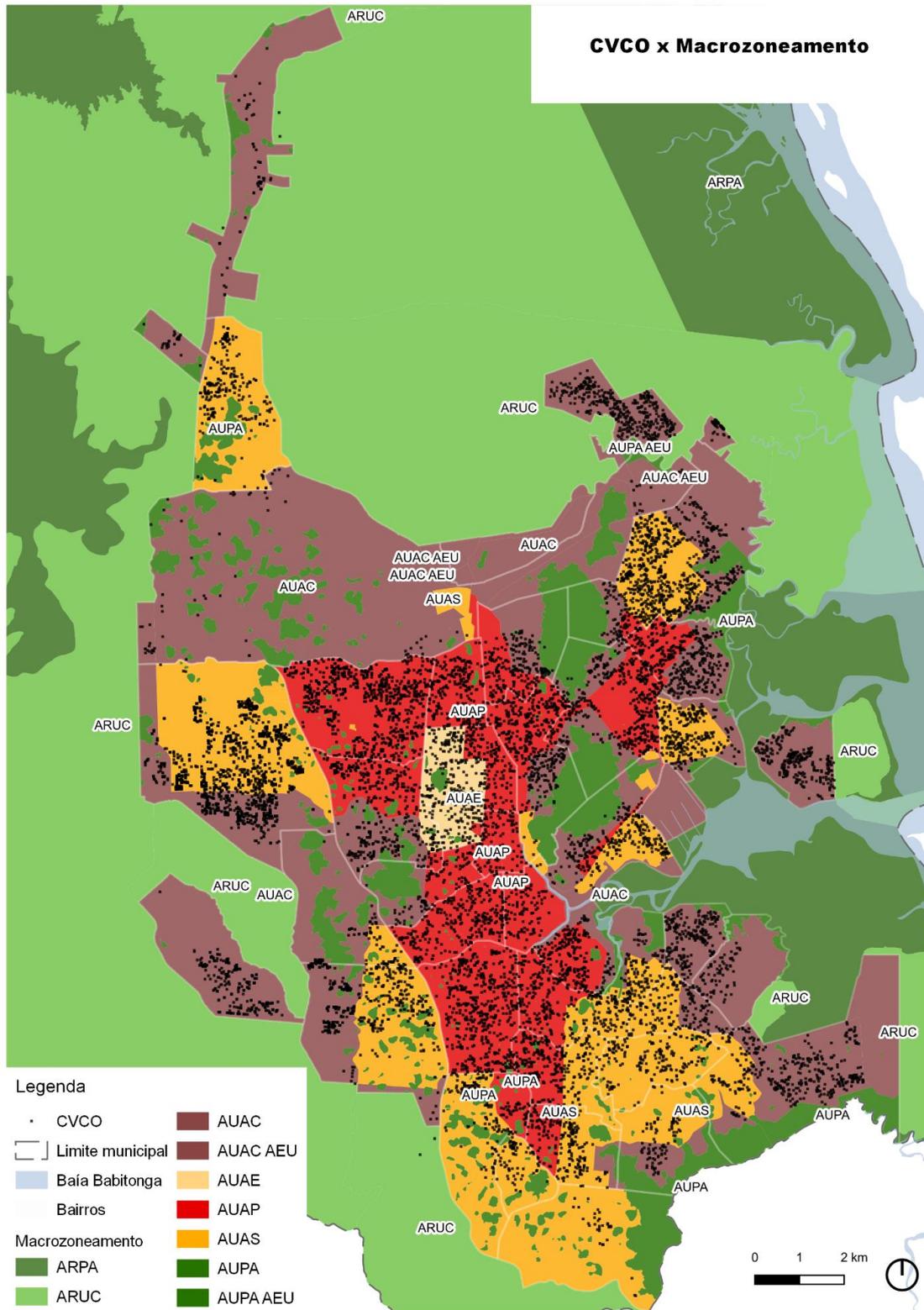


Figura 10: CVCO x Macrozoneamento - 2011 a 2021. **Fonte:** Elaborado pelos autores a partir de dados da SAMA. UNF.

Ainda, considerando os dados do Censo do IBGE de 2010 e 2022 quanto à densidade por bairro (figura 11), é possível notar certa similaridade entre a produção imobiliária formal e o aumento da densidade dos setores censitários.

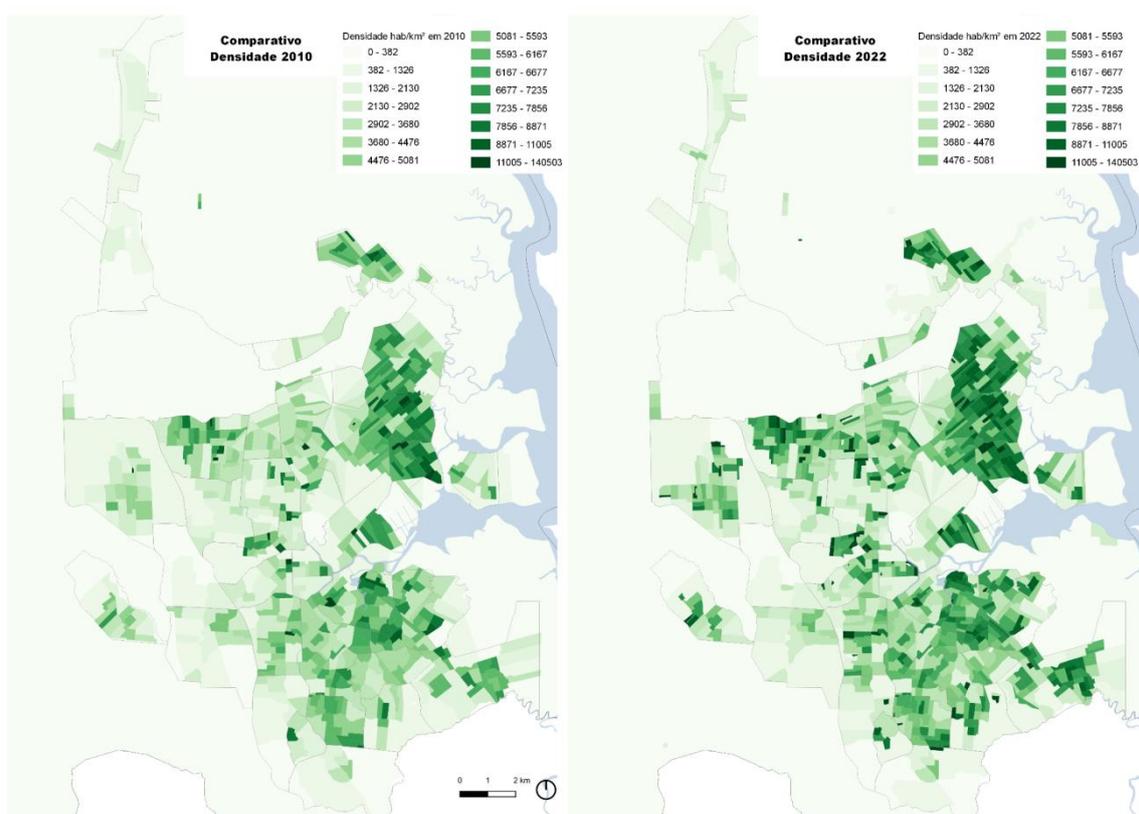


Figura 11: Evolução da densidade dos setores censitários. **Fonte:** Elaborado pelos autores a partir de dados Censo IBGE 201 e 2022.

Esta análise dos dados da produção imobiliária formal de Joinville trata-se de uma pesquisa inicial, que permite uma série de desdobramentos, sejam de pesquisa, quanto de análise e aprimoramento de políticas públicas.

Observa-se que ao longo do período analisado há produção imobiliária significativa de residências unifamiliares. Ainda que os últimos anos apresentem certa queda, trata-se do volume principal de análise e liberação de alvarás de construção. Neste cenário, cabe

continuidade das pesquisas quanto aos possíveis fatores que orientam esta preferência pela unidade unifamiliar do que por outros formatos (como apartamentos por exemplo).

Ao nos debruçarmos sobre a espacialização dos dados, nota-se um volume considerável na região norte do município, o que nos leva à hipótese de que a produção de moradia é influenciada diretamente pela proximidade da oferta de emprego (visto parte destes bairros ser fronteiro à zona industrial. Porém, cabe aprofundar a pesquisa, para investigar os fatores que afetam a produção imobiliária nestas localidades, e mesmo, contrapor à produção imobiliária informal.

Quando contrastada a produção imobiliária às leis de uso e ocupação do solo, alguns aspectos nos chamam atenção:

(i) a produção imobiliária se desenvolve de forma mais significativa em áreas que não são consideradas prioritárias para o adensamento pelos Planos Diretores, sendo necessário aprofundar a pesquisa quanto aos fatores de influência da produção imobiliária nas localidades em que houve maior adensamento;

(ii) é necessário avaliar o impacto dos instrumentos urbanísticos na produção imobiliária recente, considerando a regulamentação que se deu em 2019, para aferir se afeta na distribuição espacial dos empreendimentos;

(iii) as atividades comerciais e de serviço se desenvolvem principalmente ao longo de eixos viários estruturantes, onde a lei traz incentivo ao adensamento e uso de fachadas ativas, porém, não se constatou o mesmo nos setores de centralidades urbanas (áreas de entorno de estações do transporte coletivo), tópico que pode ser ampliado na relação da produção imobiliária com a mobilidade urbana;

Em todas as situações, desdobramentos de pesquisas podem contribuir para compreender de maneira mais aprofundada a dinâmica da produção imobiliária local. Em primeira análise, as leis de uso e ocupação do solo trazem potenciais construtivos e maior permissividade de usos, o que não implica em impedimentos ou restrições à produção imobiliária em quase todo perímetro urbano. Outrossim, instrumentos urbanísticos foram instituídos em consonância ao plano diretor, para priorizar o adensamento de áreas consideradas prioritárias.

4. Considerações

A partir deste levantamento inicial nota-se que a produção imobiliária em Joinville converge com cenário econômico nacional, porém há certa divergência entre as áreas selecionadas pela produção imobiliária formal, e as áreas tidas como prioritárias ao adensamento pela legislação local, principalmente quando considerada a evolução da densidade populacional, tomando por base os dados dos censos do IBGE de 2010 e 2022. Ao analisarmos a legislação, nota-se a liberalidade de potencial construtivo e de usos e convergência das diretrizes expressas na lei com conceitos contemporâneos, como usos mistos e o adensamento de regiões centrais, que se alinham aos preceitos de cidades compactas.

Os mapas e análises aqui apresentados trazem diversas possibilidades de continuidade e aprofundamento de pesquisas. Compreender a dinâmica imobiliária local permite embasar com maior segurança a formulação e revisão de políticas públicas, e compreender a atuação e influência dos agentes que interagem e afetam a produção do espaço urbano.

Referências

ABREU, Marlon Altavini de. **Produção imobiliária e os espaços da financeirização**: entre o abstrato da riqueza financeira e o concreto da cidade produzida. Tese de Doutorado Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Estadual Paulista: São Paulo, 2019.

BRASIL. **Estatuto da Cidade**. Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm>. Acesso em: set. 2024.

Joinville, Prefeitura Municipal de. **Cidade em Dados**, 2023. Disponível em: <<https://www.joinville.sc.gov.br/publicacoes/joinville-cidade-em-dados-2023/>>. Acesso em: set.2024

_____. **Lei de Ordenamento Territorial – LOT**. Lei Complementar nº 470, de 09 de janeiro de 2017. Disponível em: <<https://www.joinville.sc.gov.br/publicacoes/lei-de-ordenamento-territorial-lot/>>. Acesso em: set. 2024.

_____. **Norma de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo**. Lei Complementar nº 312, de 19 de fevereiro de 2010. Disponível em: <<http://leismunicipa.is/irkdg>>. Acesso em: set. 2024.

_____. **Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável**. Lei Complementar nº 261, de 28 de fevereiro de 2008. Disponível em: <<http://leismunicipa.is/gikrc>>. Acesso em: set. 2024.

_____. **Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável.** Lei Complementar nº 620, de 12 de setembro de 2022. Disponível em: <<https://www.joinville.sc.gov.br/publicacoes/plano-diretor-de-desenvolvimento-sustentavel-pdds/>>. Acesso em: set. 2024.

FERREIRA, João Sette Whitaker Ferreira (Coord.). **Produzir casas ou construir cidades?** Desafios para um novo Brasil urbano São Paulo: Labhab; Fupam, 2012.

FIX, Mariana. **Financeirização e transformações recentes no circuito imobiliário no Brasil.** Tese de doutorado Programa Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico. Campinas: Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, 2011.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Joinville.** IBGE Cidades. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/joinville/panorama>>. Acesso em: abr. 2024.

MARTINS, Fabiana Moro. PEREIRA, Gislene de Fátima. Produção imobiliária de habitação em Curitiba na década de 2010: algumas reflexões. **Caderno MetrÓpole**, 24 (53), 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/2236-9996.2022-5312>>. Acesso em: set. 2024.

MIOTO, Beatriz. CASTRO, Carolina Maria Pozzi de. SÍGOLO, Letícia Moreira. Expansão e desaceleração do mercado privado formal de moradia a partir dos anos 2000 na Região Metropolitana de São Paulo. **Cadernos MetrÓpole**, 21(44), p. 253-280. 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/2236-9996.2019-4411>>. Acesso em: set. 2024.

POCHMANN, Marcio. **Nova Classe Média?** O trabalho na base da pirâmide social brasileira. São Paulo: Boitempo, 2011.

WILHEIM, Jorge. **Urbanismo y subdesarrollo.** Buenos Aires: Nueva Visión, 1977.

O POTENCIAL DO SISTEMA DE *WOOD FRAME* PARA HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL CONSIDERANDO O DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

THE POTENTIAL OF THE WOOD FRAME SYSTEM FOR SOCIAL HOUSING CONSIDERING THERMAL AND ENERGY PERFORMANCE IN THE FACE OF CLIMATE CHANGE

Alexandre Santana Cruz¹
alexandre.cruz@fau.ufrj.br

Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos²
leopoldo.bastos@fau.ufrj.br

Resumo: A crise energética e as mudanças climáticas continuam sendo questões importantes para o desenvolvimento da humanidade. Dentro deste contexto, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) afirma que as regiões tropicais serão as mais afetadas pelo aquecimento global. Paralelamente, apesar dos avanços sociais e econômicos no Brasil, estima-se que 20% da população viva em condições inadequadas. Sendo assim, o déficit habitacional representa uma oportunidade de implementação de novas tecnologias para economizar energia e promover maior resiliência ao ambiente construído. Por esse motivo, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial do sistema de *wood frame* para habitações de interesse social, considerando o desempenho térmico e energético, frente às mudanças climáticas em três zona bioclimáticas brasileira. O estudo foi composto por duas principais etapas: 1) Os arquivos climáticos futuros foram desenvolvidos utilizando a ferramenta CCWorldWeatherGen; e 2) Uma análise paramétrica foi realizada para explorar diferentes sistemas construtivos. Nesta etapa, o objetivo foi estimar as horas de desconforto e a demanda de energia das

¹ Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PROARQ - UFRJ). Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e mestrado em Arquitetura e Urbanismo pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Participou do Programa Ciências sem Fronteiras, desenvolvendo atividades na University of New Hampshire (UNH), nos Estados Unidos, e atuou como aluno-pesquisador no Summer Practicum Program in Civil Engineering na California State University Long Beach (CSULB).

² Docente do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PROARQ-UFRJ) e coordenador do Grupo de Pesquisa Projeto Arquitetura e Sustentabilidade (GPAS). Atua também como docente no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Cidade da Universidade Vila Velha (UVV). Possui experiência internacional por meio de pós-doutorado no LAAS/CNRS, em Toulouse, França. É doutor e mestre em Ciências em Engenharia Mecânica pela UFRJ e graduado em Engenharia Industrial Mecânica pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Além disso, atuou como professor visitante na Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), bem como na Universidade de Coimbra, na Universidade Técnica de Berlim, no Centre Thermique des Bâtiments (CETHIL) – Institut des Sciences Appliquées de Lyon (INSA) e na École d'Architecture (ENSA) e INSA de Toulouse.

possíveis combinações de envelope do modelo; e por fim, identificar a melhor solução construtiva para cada localização avaliada. O EnergyPlus foi utilizado como ferramenta de simulação e acoplado com a ferramenta de parametrização jEPlus para realizar a análise paramétrica. As três cidades consideradas foram Curitiba – PR, Brasília – DF e Rio de Janeiro – RJ, enquanto os sistemas construtivos avaliados foram as paredes de bloco de concreto, paredes de *wood frame*, telhado de fibrocimento, e telhado de fibrocimento com isolamento térmico. Os resultados apontaram que as paredes de *wood frame* combinadas com telhados isolados termicamente representam uma alternativa construtiva promissora para promover resiliência em habitações de interesse social frente às mudanças climáticas.

Palavras-Chave: habitação de interesse social, simulação computacional, sistema de *wood frame*, mudanças climáticas

Abstract: The energy crisis and climate change continue to be important issues for human development. Within this context, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) states that tropical regions will be most affected by global warming. At the same time, despite social and economic advances in Brazil, it is estimated that 20% of its population lives in inadequate conditions. Therefore, the housing deficit represents an opportunity to implement new technologies to save energy and promote greater resilience to the built environment. For this reason, this work aimed to evaluate the potential of the wood frame system for social housing, considering the thermal and energy performance, toward climate change in three Brazilian bioclimatic zones. The study consisted of two main steps: 1) Future weather files were developed using the CCWorldWeatherGen tool; 2) A parametric analysis was performed to explore different building systems. In this step, the objective was to estimate the discomfort hours and the energy demand of the possible envelope combinations of the model; and finally, identify the best constructive solution for each evaluated location. The EnergyPlus was used as a simulation tool and coupled with the jEPlus parameterization tool to perform the parametric analysis. The three cities considered were Curitiba - PR, Brasília - DF and Rio de Janeiro - RJ, while the constructive systems evaluated were concrete block walls, wood frame walls, fiber cement roof, and fiber cement roof with thermal insulation. The results showed that wood frame walls combined with thermally insulated roofs represent a promising constructive alternative to promote resilience in social housing in the face of climate change.

Keywords: social housing, computer simulation, wood frame system, climate change

1. Introdução

No Brasil, estima-se que haja um déficit de 6 milhões de unidades habitacionais (FJP 2021). Para atender essa demanda, o Governo Federal implementou os programas "Minha Casa, Minha Vida" e posteriormente o "Casa Verde e Amarelo", com o intuito de facilitar o acesso à moradia para famílias de baixa renda (Governo Federal, 2022). Ambos os programas foram concebidos para promover o crescimento da economia, e ao mesmo tempo, atender a demanda de moradia das famílias de baixa renda. Além disso, foi adotado um modelo padronizado em todo o país visando reduzir custos e agilizar o processo de construção. Contudo, como resultado, muitos dos edifícios construídos apresentam baixa qualidade e não atendem às necessidades dos moradores, especialmente no que diz respeito ao conforto térmico e desempenho energético (Cruz, Carvalho, e Cunha 2020; Dalbem et al. 2019).

As discussões sobre eficiência energética são recentes no Brasil. A NBR 15220, lançada em 2005, foi a primeira norma brasileira a oferecer diretrizes e estratégias para avaliar o desempenho térmico de habitações de interesse social, levando em conta aspectos construtivos e bioclimáticos (ABNT, 2005). Em seguida, em 2008, a NBR 15575 estabeleceu requisitos e critérios de desempenho para edificações residenciais na fase de projeto (ABNT, 2013). Posteriormente, em 2010, foi publicado o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética dos Edifícios Residenciais (RTQ-R), que classifica os edifícios em termos de eficiência energética em uma escala de "A" a "E" (INMETRO, 2012). Apesar dos avanços na regulamentação nos últimos anos, as edificações representam metade da demanda total de energia elétrica no Brasil, sendo o setor residencial o maior consumidor, responsável por um quarto dessa demanda (MME, 2019).

Ao mesmo tempo, é crescente a preocupação com as mudanças climáticas, uma vez que pode representar uma ameaça ao desempenho térmico e energético de edificações, podendo aumentar a demanda de energia dos edifícios e a dependência dos sistemas de climatização (HVAC) (Invidiata e Ghisi, 2016). Por meio de simulações com dados meteorológicos futuros, diversos estudos têm demonstrado que a implementação de medidas de adaptação é crucial para mitigar o impacto das mudanças climáticas no desempenho térmico e energético das construções (Triana, Lamberts, e Sassi 2018). Essas medidas incluem o uso de dispositivos de sombreamento em janelas, revestimentos com baixa absorção solar e a aplicação de isolamento térmico (Cruz e Cunha, 2021).

Dentre as soluções construtivas inovadoras, os biomateriais têm se destacado como alternativas promissoras. Esses materiais, derivados de fontes renováveis, possuem a capacidade de armazenar carbono, além de apresentarem um desempenho térmico superior em relação aos materiais convencionais, como concreto, cerâmica e aço. Desta forma, contribui para a redução do consumo de energia durante a operação dos edifícios. Entre as diversas opções disponíveis, a madeira desponta como um sistema construtivo leve e otimizado, conhecido como *wood frame*. Esse sistema utiliza perfis de madeira provenientes de florestas plantadas e tratadas. O *wood frame* se destaca por sua leveza, durabilidade, rapidez na execução e redução de desperdícios, proporcionando um elevado controle de qualidade (Mendon, Hart, e Vangeem 2017). Amplamente adotado em países da América do Norte, Ásia e Europa, o *wood frame* vem conquistando espaço na América Latina (Clemente,

2019). Quando combinado com isolantes térmicos, como lã de rocha e vidro, o *wood frame* possibilita a criação de um envelope de alto desempenho, reduzindo as trocas de calor indesejadas. Isso resulta em uma melhoria na qualidade do ar interno e na redução do risco de problemas relacionados à umidade e crescimento de mofo. Dessa forma, o *wood frame* se apresenta como uma escolha mais sustentável para a construção de edifícios, oferecendo uma série de benefícios em termos de construção e desempenho térmico-energético (Mendon, Hart, e Vangeem 2017).

2. Objetivo

O propósito principal deste estudo foi avaliar o potencial, em relação ao desempenho térmico e energético, da utilização do sistema de *wood frame* em uma habitação de interesse social frente às mudanças climáticas. Para isso, um modelo de habitação de interesse social foi analisado em diferentes zonas bioclimáticas (Curitiba, Brasília e Rio de Janeiro). Sendo assim, este trabalho científico contribui ao apresentar um estudo que considera arquivos climáticos futuros e traz à tona a discussão de uma análise mais robusta para promover a resiliência do ambiente construído. Além disso, contribui para a divulgação de sistemas construtivos não convencionais, mais industrializados e que façam uso de biomateriais, como é o caso do *wood frame*.

3. Método

Como mencionado, um projeto de habitação de interesse social foi utilizado como estudo de caso. Na Tabela 1 foi apresentado o método seguido para este trabalho, que foi dividido em três etapas.

Etapa	Descrição	Objetivo	Variáveis
1	Geração de arquivos climáticos futuros.	Identificar mudanças climáticas.	1. Temperatura de bulbo seco, 2. Umidade relativa, 3. Radiação global horizontal.
2	Análise paramétrica	Estimar horas de desconforto e demanda de energia.	1. Tipo de parede, 2. Tipo de telhado, 3. Arquivos climáticos futuro.

Tabela 1. Etapas do método.

Na etapa 1, os arquivos climáticos futuros foram desenvolvidos utilizando a ferramenta CCWorldWeatherGen. Nesta etapa, os parâmetros avaliados foram a temperatura de bulbo seco, umidade relativa e radiação global horizontal. Na segunda etapa, uma análise paramétrica foi realizada para explorar diferentes sistemas construtivos. Nesta etapa, o objetivo foi estimar as horas de desconforto e a demanda de energia das possíveis combinações de envelope do modelo. O EnergyPlus foi utilizado como ferramenta de simulação e foi acoplado com a ferramenta de parametrização jEPlus para realizar a análise paramétrica. Além disso, as variáveis de projeto foram o tipo de parede, tipo de telhado e os arquivos climáticos futuros desenvolvidos na etapa anterior. Os sistemas construtivos considerados foram as paredes de bloco de concreto, paredes de *wood frame*, telhado de fibrocimento, e telhado de fibrocimento com isolamento térmico; enquanto as três cidades consideradas foram Curitiba – PR, Brasília – DF e Rio de Janeiro – RJ, localizadas nas zonas bioclimáticas 1, 4 e 8, respectivamente. Finalmente, uma análise comparativa foi realizada para identificar a melhor solução construtiva.

3.1. Estudo de caso

Foi utilizado um modelo de habitação de interesse social com uma área total de 43m². Essa residência segue o programa nacional de habitação de interesse social denominado "Casa Verde e Amarela" (Governo Federal, 2022). O modelo é composto por uma sala integrada à cozinha, dois quartos e um banheiro. A Figura 1 ilustra o modelo residencial utilizado como objeto de estudo.

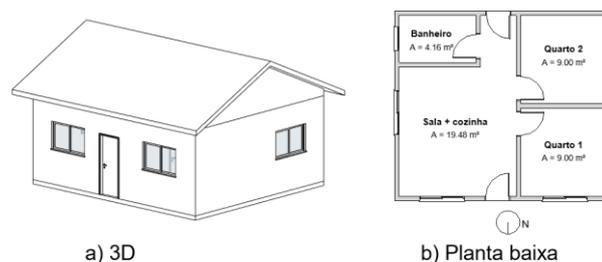


Figura 1 – Modelo residencial

3.1.1. Sistemas construtivos

Como dito anteriormente, os sistemas construtivos avaliados neste estudo foram: paredes de bloco de concreto, paredes de *wood frame*, telhado de fibrocimento, e telhado de fibrocimento com isolamento térmico. A Tabela 2 apresentou a lista completa dos sistemas construtivos avaliados, seus respectivos ID e propriedades térmicas como transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT), absorvância solar (α).

ID	Categoria	Descrição	U (W/m ² K)	CT (kJ/m ² K)	α
P1	Parede	Tijolo cerâmico	2,48	158	0,2
P2		Wood frame	0,62	33	
T1	Telhado	Telha fibrocimento	2,25	84	0,5
T2		Telha fibrocimento com EPS	0,65	34	

Tabela 2 – Sistemas construtivos avaliados.

A parede de *wood frame* possui por várias camadas, sua estrutura é composta por um painel de madeira estruturado em Pinus preenchido por poliestireno expandido (50mm), chapas de OSB (Oriented Strand Board) com 18mm em ambos os lados, placa de gesso de 13mm em ambos os lados, caso seja parede interna, e no caso de paredes externa, a placa de gesso da face externa é substituída por placa cimentícia de 10mm (Mendon, Hart, e Vangeem 2017). Existem vários tipos de materiais de isolamento térmico, como lã de rocha, lã de vidro, espuma rígida de poliuretano e espuma de poliestireno extrudado. Neste estudo foram adotados painéis de poliestireno expandido (EPS) como isolante térmico, pois sua leveza garante fácil aplicação sem grandes alterações no processo construtivo (Ramli Sulong, Mustapa, e Abdul Rashid, 2019). Por fim, ambos os telhados apresentaram forro de PVC em suas respectivas composições.

3.1.2. Configurações do modelo

O modelo de energia desenvolvido no EnergyPlus foi composto por quatro zonas térmicas e seguiu os valores padrão de simulação estabelecidos pelo RTQ-R como estratégia de configuração (INMETRO, 2012). Para o estudo de caso em questão, os horários de ocupação e iluminação foram configurados de acordo com a Figura 2. Foi adotado um total de duas pessoas por quarto e quatro pessoas na sala, enquanto o padrão de iluminação variou de acordo com a presença de pessoas no ambiente e o horário do dia. A taxa metabólica para a sala e os quartos foi estabelecida em 108 W/pessoa e 81 W/pessoa, respectivamente. Quanto à densidade de potência de iluminação, adotou-se 6 W/m² para sala e 5 W/m² para os quartos. Além disso, foi considerada uma carga de equipamento de 1,5 W/m² para a sala, que permaneceu ativa durante as 24 horas do dia.

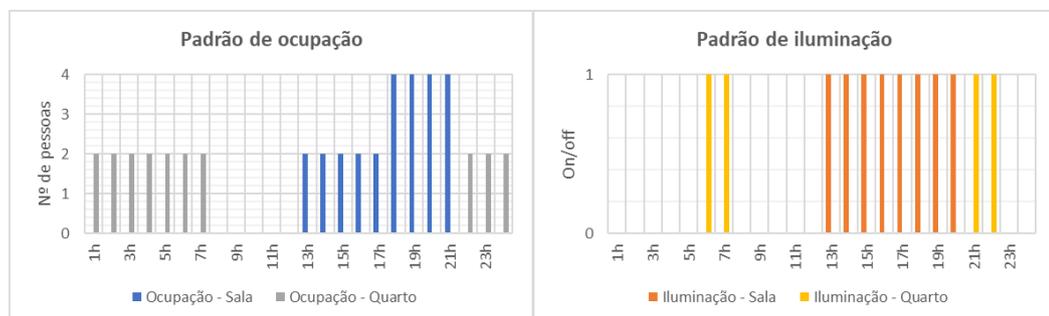


Figura 2 – Padrão de ocupação e iluminação

O estudo de caso foi configurado com dois modos de operação: 1) ventilação natural e 2) ar-condicionado nos quartos e na sala. No primeiro modo de operação, a ventilação natural foi estabelecida para ocorrer durante o horário de ocupação dos ambientes e foi configurada utilizando o objeto Airflow network no EnergyPlus (DOE, 2021). A ventilação natural foi programada para acontecer em duas situações: quando a temperatura do ar interno é igual ou superior ao *setpoint* do termostato e quando a temperatura do ar interno é maior do que a temperatura externa. O modelo de conforto térmico adotado neste estudo baseou-se no modelo de conforto adaptativo da ASHRAE, com limites de aceitabilidade de 90% (ASHRAE, 2010). No segundo modo de operação, o sistema de ar-condicionado foi modelado utilizando o objeto Packaged Terminal Heat Pump (PTHP) no EnergyPlus (DOE, 2021). O sistema foi configurado com um *setpoint* de 20°C para aquecimento e 25°C para resfriamento,

além de um coeficiente de performance (COP) de 3,24 (INMETRO, 2012). Portanto, os indicadores de performance foram calculados a partir das Equações 1 e 2:

$$HD = \frac{HD_{sl} + HD_{qt1} + HD_{qt2}}{3} \quad (1)$$

$$DE = DE_{sl} + DE_{qt1} + DE_{qt2} \quad (2)$$

Onde: HD foi o número de horas de desconforto ao longo de um ano e HD_{sl} , HD_{qt1} e HD_{qt2} representaram o número de horas de desconforto na sala de estar, quarto 1 e quarto 2, respectivamente. DE representou a demanda total de energia do sistema de ar-condicionado em um ano e DE_{sl} , DE_{qt1} e DE_{qt2} representaram a demanda de energia do sistema de ar-condicionado para a sala de estar, quarto 1, quarto 2, respectivamente.

3.2. Previsão das mudanças climáticas

Conforme a NBR 15220, o território brasileiro possui oito Zonas Bioclimáticas (ZB), sendo a ZB 8 classificada como a zona mais quente e ZB 1 a zona mais fria (ABNT, 2005). Com o objetivo de realizar uma análise abrangendo uma diversidade climática significativa, foram selecionadas três cidades brasileiras. Este estudo considerou as cidades de Curitiba, Brasília e Rio de Janeiro, localizadas nas Zonas Bioclimáticas 1, 4 e 8, que correspondem a aproximadamente 0,8%, 2,0% e 53,7% do território brasileiro, respectivamente. A Tabela 3 apresentou os dados climáticos atuais, incluindo temperatura de bulbo seco - TBC (°C), umidade relativa - UR (%) e radiação horizontal global - RGH (Wh/m^2), para as cidades analisadas.

Cidade	ZB	TBC (°C)			UR (%)	RGH (Wh/m^2)
		Média	Max	Min	Média	Média
Curitiba - PR	1	16	31	-2	86	129
Brasília - DF	4	21	33	6	75	167
Rio de Janeiro - RJ	8	25	38	14	82	210

Tabela 3. Média anual dos parâmetros climáticos

Esta pesquisa levou em consideração, cenários climáticos futuros para avaliar o impacto das mudanças climáticas. De acordo com estudos anteriores (Cruz e Cunha 2021; Invidiata e Ghisi 2016; Triana, Lamberts, e Sassi 2018), utilizou-se a ferramenta denominada CCWorldWeatherGen para gerar arquivos climáticos futuros (SER Group, 2012). Essa ferramenta é baseada no Microsoft Excel e utiliza arquivos EnergyPlus Weather (EPW) para gerar dados meteorológicos futuros para qualquer local no mundo, seguindo o cenário de emissões A2 para os anos 2020, 2050 e 2080. O estudo foi baseado no cenário A2 que representa a tendência mundial atual de altas emissões (IPCC, 2001). Por fim, os arquivos climáticos das três cidades avaliadas no formato *Test Reference Year* (TRY) foram inseridos na ferramenta CCWorldWeatherGen para desenvolvimento dos arquivos climáticos futuros.

3.3. Simulações

A abordagem de simulação considerada neste estudo foi a simulação paramétrica. A análise paramétrica varia um parâmetro de cada vez, enquanto os outros são mantidos constantes. Nesta etapa, o objetivo foi estimar as horas de desconforto e a demanda de energia das possíveis combinações de envelope do modelo. O EnergyPlus foi utilizado como ferramenta de simulação e foi acoplado com a ferramenta de parametrização jEPlus para realizar a análise paramétrica. A ferramenta jEPlus tem a capacidade de preparar automaticamente os arquivos de entrada (formato de arquivo idf) para o EnergyPlus de acordo com um arquivo de tarefas, em que o EnergyPlus é inicializado para simulações paralelas e os resultados das simulações são coletados de acordo com a configuração especificada pelo usuário (Zhang, Yi; Korolija 2019).

As variáveis de projeto foram o tipo de parede, tipo de telhado, localização e os arquivos climáticos atuais e futuros como indicado na Tabela 4. Os sistemas construtivos considerados foram as paredes de bloco de concreto, paredes de *wood frame*, telhado de fibrocimento, e telhado de fibrocimento com isolamento térmico (veja a Tabela 2); enquanto as três cidades consideradas foram Curitiba – PR, Brasília – DF e Rio de Janeiro – RJ, localizadas nas zonas bioclimáticas 1, 4 e 8, respectivamente. Finalmente, com base nos resultados, uma análise comparativa foi realizada para identificar a melhor solução construtiva em termos de

desempenho térmico e energético frente as mudanças climáticas para cada uma das cidades avaliadas.

Variável	Amostragem
Tipo de parede	P1 a P2
Tipo de telhado	T1 a T2
Localização	ZB 1 a ZB3
Contexto climático	Atual ou futuro

Tabela 4. Variáveis de projeto utilizadas na análise paramétrica

4. Resultados

Os resultados foram apresentados em duas etapas. Na primeira, as previsões das mudanças climáticas foram ilustradas a partir da análise dos arquivos futuros. E na segunda etapa, os resultados das simulações paramétricas e a análise comparativa foram apresentados.

4.1. Previsão das mudanças climáticas

A Figura 3 mostra as médias mensais da temperatura de bulbo seco (°C) - TBC, umidade relativa (%) - UR e radiação horizontal global (Wh/m²) – RHG das cidades analisadas para os arquivos climáticos atuais (TRY) e futuros (2080).

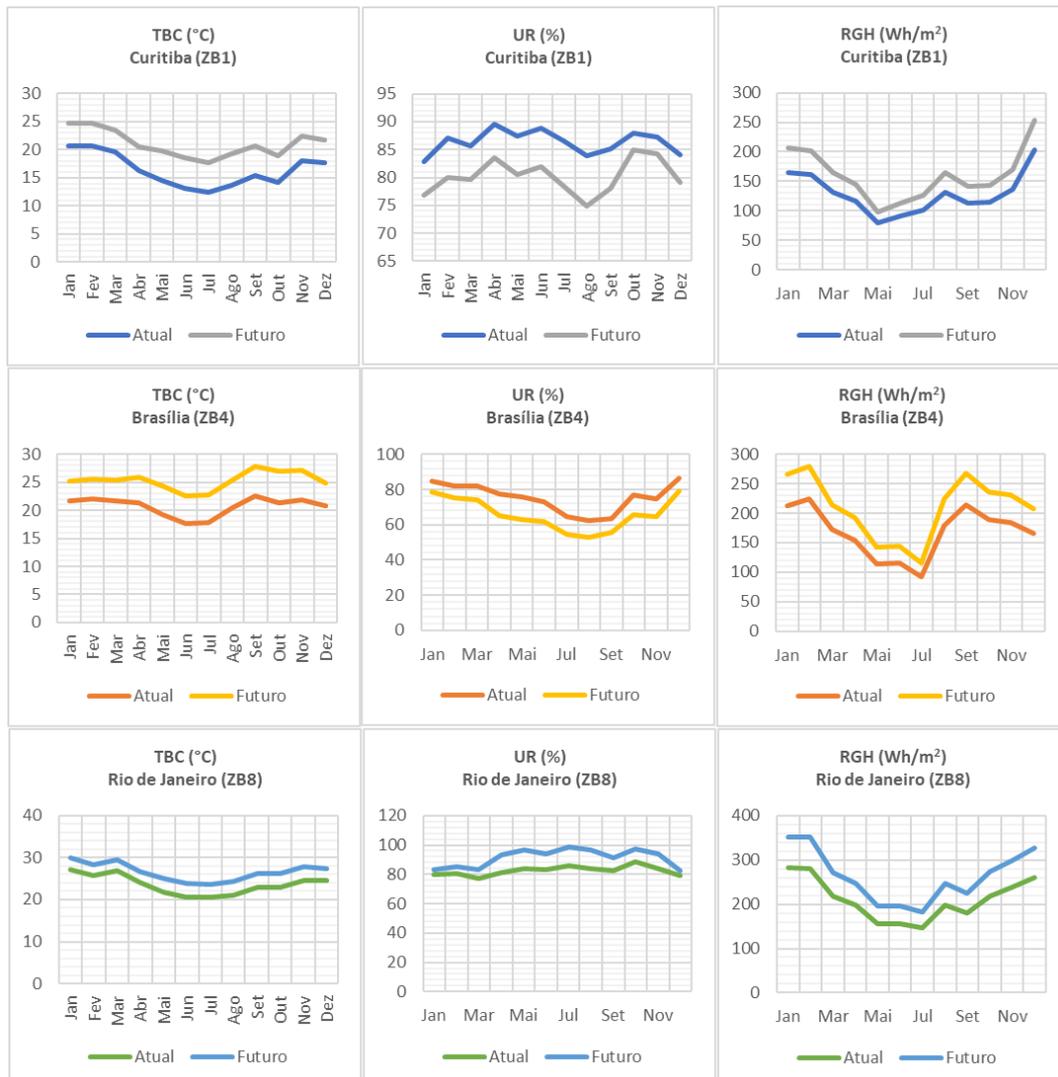


Figura 3 – Parâmetros climáticos para contexto atual e futuro.

Conforme apontado pelo IPCC, o clima global está aquecendo rapidamente, com aumento da frequência de eventos severos, incluindo ondas de calor. Além disso, com base nas previsões e nos resultados apresentados, espera-se que o contexto climático atual mude drasticamente. Analisando a cidade de Curitiba (ZB1), a média anual da temperatura de bulbo seco, umidade relativa e radiação global horizontal deve aumentar cerca de 4,6°C, -6,2%, e 32Wh/m² até 2080, respectivamente. Para a cidade de Brasília (ZB4), a média anual da temperatura de bulbo seco, umidade relativa e radiação global horizontal deve aumentar cerca de 4,1°C, -9,3%, e 42Wh/m² até 2080, respectivamente. E finalmente, para cidade do Rio de

Janeiro (ZB8), a média anual da temperatura de bulbo seco, umidade relativa e radiação global horizontal deve aumentar cerca de 3°C, 10%, e 52,7Wh/m² até 2080, respectivamente.

4.2. Simulações

Na segunda etapa, uma análise paramétrica foi realizada para explorar diferentes sistemas construtivos. Nesta etapa, o objetivo foi estimar as horas de desconforto e a demanda de energia das possíveis combinações de envelope do modelo. As variáveis de projeto foram o tipo de parede, tipo de telhado e os arquivos climáticos atuais e futuros. Os sistemas construtivos considerados foram as paredes de bloco de concreto, paredes de *wood frame*, telhado de fibrocimento, e telhado de fibrocimento com isolamento térmico; enquanto as três cidades consideradas foram Curitiba – PR, Brasília – DF e Rio de Janeiro – RJ, localizadas nas zonas bioclimáticas 1, 4 e 8, respectivamente.

A Figura 4 e 5 apresentaram o desempenho térmico e energético para as possíveis combinações de envelope nas três cidades avaliadas no contexto climático atual e futuro, respectivamente. Inicialmente foi avaliado o desempenho térmico e posteriormente o desempenho energético.

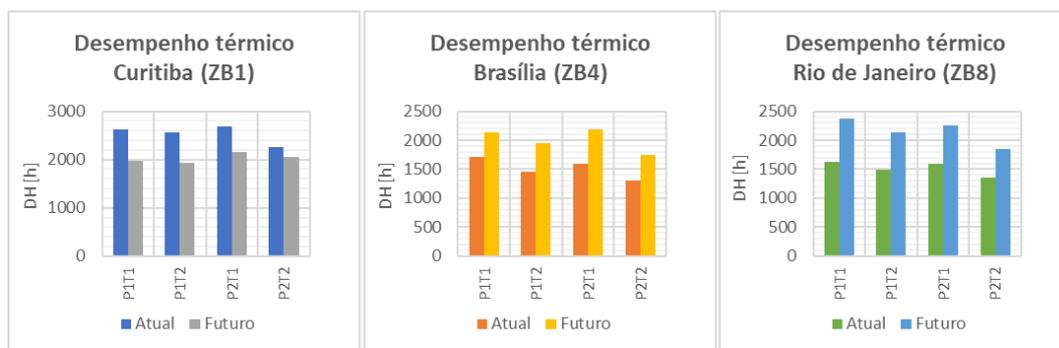


Figura 4 – Desempenho térmico atual e futuro para ZB1, ZB4 e ZB8.

Com base nos resultados apresentados na Figura 4, foi possível identificar a melhor e pior solução em termos de desempenho térmico para cada cidade avaliada. Para a cidade de Curitiba (ZB1), considerando o arquivo climático atual, a melhor solução foi a combinação P2T2, enquanto P2T1 registrou o pior desempenho. A solução P2T2 conseguiu promover uma redução em 16% nas horas de desconforto quando comparada com a solução P2T1. Porém, considerando o arquivo climático futuro, os resultados foram diferentes. A combinação P1T2

registrou a melhor performance, enquanto P2T1 se manteve com o pior desempenho. A solução P1T2 conseguiu promover uma redução em 10% nas horas de desconforto quando comparada com a solução P2T1. Em termos de impacto devido ao arquivo climático atual e futuro, na cidade de Curitiba, as horas de desconforto diminuíram em até 25% devido as projeções das mudanças climáticas. Para a cidade de Brasília (ZB4), considerando o arquivo climático atual, a melhor solução foi a combinação P2T2, enquanto P1T1 registrou o pior desempenho. A solução P2T2 conseguiu promover uma redução em 24% nas horas de desconforto quando comparada com a solução P1T1. Porém, considerando o arquivo climático futuro, os resultados foram diferentes. A combinação P2T2 manteve-se com a melhor performance, enquanto P2T1 registrou o pior desempenho. A solução P2T2 conseguiu promover uma redução em 18% nas horas de desconforto quando comparada com a solução P2T1. Em termos de impacto devido ao arquivo climático atual e futuro, na cidade de Brasília, as horas de desconforto aumentaram em até 37% devido as projeções das mudanças climáticas. Para a cidade do Rio de Janeiro (ZB8), considerando o arquivo climático atual, a melhor solução foi a combinação P2T2, enquanto P1T1 registrou o pior desempenho. A solução P2T2 conseguiu promover uma redução em 17% nas horas de desconforto quando comparada com a solução P1T1. Porém, considerando o arquivo climático futuro, os resultados foram diferentes. A combinação P2T2 manteve-se com a melhor performance, enquanto P2T1 registrou o pior desempenho. A solução P2T2 conseguiu promover uma redução em 21% nas horas de desconforto quando comparada com a solução P2T1. Em termos de impacto devido ao arquivo climático atual e futuro, na cidade do Rio de Janeiro, as horas de desconforto aumentaram em até 45% devido as projeções das mudanças climáticas.

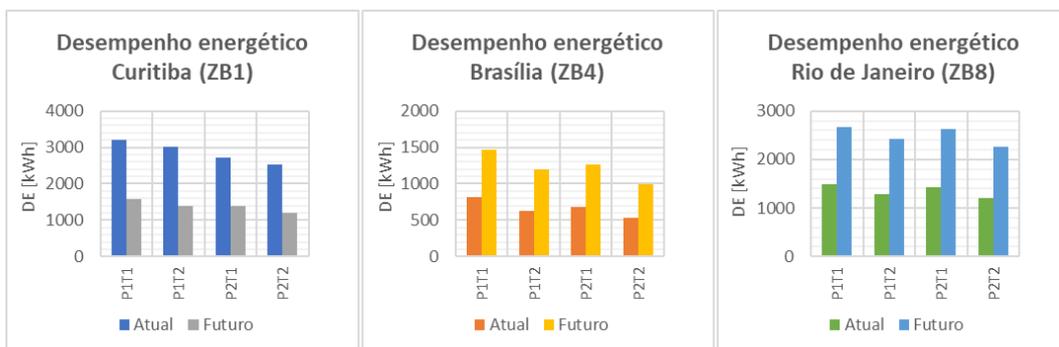


Figura 5 – Desempenho energético atual e futuro para ZB1, ZB4 e ZB8.

Com base nos resultados apresentados na Figura 5, foi possível identificar a melhor e a pior solução em termos de desempenho energético para cada cidade avaliada. Para a cidade de Curitiba (ZB1), considerando o arquivo climático atual, a melhor solução foi a combinação P2T2, enquanto P1T1 registrou o pior desempenho. A solução P2T2 conseguiu promover uma redução em 19% da demanda de energia quando comparada com a solução P2T1. Além disso, considerando o arquivo climático futuro, os resultados para melhor e pior solução foram semelhantes. Porém, com um potencial de redução em 31% da demanda de energia. Em termos de impacto devido ao arquivo climático atual e futuro, na cidade de Curitiba, a demanda de energia diminuiu em até 54% devido as projeções das mudanças climáticas. Para a cidade de Brasília (ZB4), considerando o arquivo climático atual, a melhor solução foi a combinação P2T2, enquanto P1T1 registrou o pior desempenho. A solução P2T2 conseguiu promover uma redução em 35% da demanda de energia quando comparada com a solução P2T1. Semelhante a cidade de Curitiba, considerando o arquivo climático futuro, os resultados para melhor e pior solução foram semelhantes. Porém, com um potencial de redução em 32% da demanda de energia. Em termos de impacto devido ao arquivo climático atual e futuro, na cidade de Brasília, a demanda de energia aumentará em até 87% devido as projeções das mudanças climáticas. Para a cidade do Rio de Janeiro (ZB8), considerando o arquivo climático atual, a melhor solução foi a combinação P2T2, enquanto P1T1 registrou o pior desempenho. A solução P2T2 conseguiu promover uma redução em 19% da demanda de energia quando comparada com a solução P2T1. Semelhante as cidades anteriormente avaliadas, considerando o arquivo climático futuro, os resultados para melhor e pior solução foram semelhantes. Porém, com um aumento em 16% da demanda de energia. Em termos de impacto devido ao arquivo climático atual e futuro, na cidade de Brasília, a demanda de energia aumentará em até 90% devido as projeções das mudanças climáticas.

Além disso, uma análise comparativa foi realizada para quantificar o impacto das mudanças climáticas no desempenho térmico e energético das melhores soluções para cada cidade. A Figura 6 ilustrou o desempenho térmico e energético das soluções P2T2 e P1T2 em Curitiba (ZB1) e P2T2 para Brasília (ZB4) e Rio de Janeiro (ZB8), respectivamente.

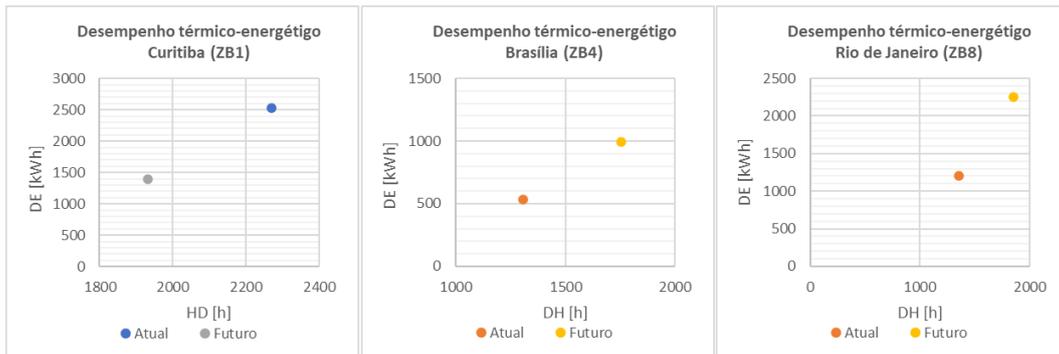


Figura 6 – Desempenho térmico-energético das melhores soluções para ZB1, ZB4 e ZB8.

Diferentemente das melhores soluções para Brasília e Rio de Janeiro, em Curitiba a solução ótima mudou ao considerar o contexto climático futuro. Devido as mudanças climáticas, a expectativa para cidade de Curitiba é de uma redução das horas de desconforto e demanda de energia em 25% e 54%, respectivamente. Sendo assim, as mudanças climáticas favoreceram o desempenho avaliado e as paredes de bloco de concreto se destacam em relação as paredes de *wood frame* para esta localização. No entanto, o telhado de fibrocimento com isolamento térmico se manteve como estratégia preferida. Para cidade de Brasília e Rio de Janeiro, as soluções ótimas atuais e futuras foram as mesmas. A parede de *wood frame* e telhado de fibrocimento com isolamento térmico se destacaram tanto no contexto climático atual quanto no futuro. Devido às mudanças climáticas, a expectativa para cidade de Brasília é de um aumento das horas de desconforto e demanda de energia em 37% e 87%, respectivamente. Enquanto a expectativa para cidade do Rio de Janeiro é de um aumento das horas de desconforto e demanda de energia em 45% e 90%, respectivamente. Finalmente, foi possível concluir que as paredes de *wood frame* combinadas com telhados isolados termicamente representam uma alternativa construtiva promissora para promover resiliência em habitações de interesse social frente as mudanças climáticas.

5. Conclusão

O propósito principal deste estudo foi avaliar o potencial, em relação ao desempenho térmico e energético, da utilização do sistema de *wood frame* em uma habitação de interesse social frente às mudanças climáticas. Para isso, um modelo de habitação de interesse social foi analisado em diferentes zonas bioclimáticas (Curitiba, Brasília e Rio de Janeiro). Na primeira

etapa, os arquivos climáticos futuros foram desenvolvidos utilizando a ferramenta CCWorldWeatherGen. Com base nas previsões e nos resultados apresentados, espera-se que o contexto climático atual mude drasticamente. Para cidade de Curitiba, a média anual da temperatura de bulbo seco, umidade relativa e radiação global horizontal deve aumentar cerca de 4,6°C, -6,2%, e 32Wh/m² até 2080, respectivamente. Para a cidade de Brasília, esses valores devem aumentar cerca de 4,1°C, -9,3%, e 42Wh/m² até 2080, respectivamente. E finalmente, para cidade do Rio de Janeiro, a média anual da temperatura de bulbo seco, umidade relativa e radiação global horizontal deve aumentar cerca de 3°C, 10%, e 52,7Wh/m² até 2080, respectivamente. Na segunda etapa, uma análise paramétrica foi realizada para explorar diferentes sistemas construtivos. Nesta etapa, o objetivo foi estimar as horas de desconforto e a demanda de energia das possíveis combinações de envelope do modelo. Os sistemas construtivos considerados foram as paredes de bloco de concreto, paredes de *wood frame*, telhado de fibrocimento, e telhado de fibrocimento com isolamento térmico. Devido às mudanças climáticas, a expectativa para cidade de Curitiba é de uma redução das horas de desconforto e demanda de energia em até 25% e 53%, respectivamente. A expectativa para cidade de Brasília é de um aumento das horas de desconforto e demanda de energia em 37% e 87%, respectivamente. Enquanto a expectativa para cidade do Rio de Janeiro é de um aumento das horas de desconforto e demanda de energia em 45% e 90%, respectivamente. Considerando o contexto climático atual, a melhor solução para as cidades avaliadas foi a parede de *wood frame* e o telhado de fibrocimento com isolamento térmico. No entanto, para o contexto climático futuro, a melhor solução para Curitiba foi a parede de bloco de concreto e o telhado de fibrocimento com isolamento térmico, enquanto a solução ótima se manteve para as cidades de Brasília e Rio de Janeiro. Finalmente, foi possível concluir que as paredes de *wood frame* combinadas com telhados isolados termicamente representam uma alternativa construtiva promissora para promover resiliência em habitações de interesse social frente às mudanças climáticas.

Referências

U.S. Department of Energy. 2021. “EnergyPlus™ Input Output Reference.”

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2005. **NBR 15220**: O Desempenho Térmico Para Edificações de Interesse Social.

———. 2013. *NBR 15575 NBR 15575: A Norma Brasileira de Desempenho de Edifícios Habitacionais*. Rio de Janeiro.

ASHRAE. 2010. *ASHRAE STANDARD - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. ANSI/ASHRAE Standard 55-2010 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta, GA. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0140700779901142>.

Brazilian Federal Government. 2022. “**Programa MCMV - Minha Casa, Minha Vida No Brasil.**” <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/habitacao/minha-casa-minha-vida/programa-minha-casa-minha-vida-mcmv> (October 21, 2022).

Clemente, Beatriz Mapa. 2019. “**Avaliação de Desempenho Térmico de Edificação Em Wood Frame No Brasil.**”

Cruz, Alexandre S., Ramon S. de Carvalho, and Eduardo G. da Cunha. 2020. “Passive House Alternative Proposal for the Brazilian Bioclimatic Zone 8.” *International Journal of Sustainable Development and Planning* 15(6): 827–33.

Cruz, Alexandre Santana, and Eduardo Grala da Cunha. 2021. “The Impact of Climate Change on the Thermal-Energy Performance of the SCIP and ICF Wall Systems for Social Housing in Brazil.” *Indoor and Built Environment* 0(0): 1–15.

Dalbem, Renata et al. 2019. “Optimisation of a Social Housing for South of Brazil: From Basic Performance Standard to Passive House Concept.” *Energy* 167: 1278–96.

FJP, Fundação João Pinheiro. 2021. “**Deficit Habitacional e Inadequação De Moradias No Brasil: Principais Resultados Para o Período de 2016 a 2019.**” : 71. http://novosite.fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2020/12/04.03_Cartilha_DH_compressed.pdf.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia. 2012. *RTQ-R O Regulamento Técnico Da Qualidade Para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R*. <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf>.

Invidiata, Andrea, and Enedir Ghisi. 2016. “Impact of Climate Change on Heating and Cooling Energy Demand in Houses in Brazil.” *Energy and Buildings* 130(2016): 20–32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.067>.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. *Third Assessment Report of the IPCC. III AR*. Geneva – Switzerland.

Mendon, Vrushali, Reid Hart, and Martha Vangeem. 2017. “**Evaluating the Thermal Performance of Mass Walls Compared to Wood-Framed and Steel-Framed Walls in Residential Buildings Using EnergyPlus Pacific Northwest National Laboratory , Richland , Washington , USA Self-Employed , Mount Prospect , Illinois , USA.**” : 2599–2608.

MME, Ministry of Mines and Energy. 2019. **Brazilian Energy Balance.**

Ramli Sulong, Nor Hafizah, Siti Aisyah Syaerah Mustapa, and Muhammad Khairi Abdul Rashid. 2019. "Application of Expanded Polystyrene (EPS) in Buildings and Constructions: A Review." **Journal of Applied Polymer Science** 136(20): 1–11.

SUSTAINABLE ENERGY RESEARCH GROUP - University of Southampton. 2012. CCWorldWeatherGen **Climate Change World Weather File Generator for World-Wide Weather Data.** <http://www.energy.soton.ac.uk/ccworldweathergen>.

**ABRIGO TEMPORÁRIO E SUSTENTÁVEL:
proposta para a cidade de Petrópolis, Rio de Janeiro**

TEMPORARY AND SUSTAINABLE SHELTER:
proposal for the city of Petrópolis, Rio de Janeiro

Jorge Daniel de Melo Moura¹
jordan@uel.br

Renata Bernardi Miguel²
renata.bernardi@uel.br

Tais Marini Brandelli³
taisbrandelli@hotmail.com

Talita Marini Brandelli⁴
talitabrandelli@hotmail.com

¹ Professor Associado do programa de mestrado e doutorado em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina. Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1983), mestrado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (1989) e doutorado em Ciências da madeira – pela École Nationale Supérieure des Technologies et Industries du Bois França – Université de Nancy I (1996), pós-doutorado pela Forintek Canada Corp. Canadá (2002) e no Forest Products Laboratory-EUA (2013).

² Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Estadual de Londrina (2007), e duas pós-graduações. Primeira em Arquitetura e Pós Modernidade: Composição e Linguagem, pela Universidade Estadual de Londrina (2008) e a segunda em Construção de Obras Públicas pela Universidade Federal do Paraná (2010). Proprietária da empresa RBM - Serviços de arquitetura e engenharia, desde 2009.

³ Doutoranda em Arquitetura e Urbanismo, desde 2023, pelo Programa de Associado UEM/UEL de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPU). Mestre em Arquitetura e Urbanismo pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PROGRAU) da Universidade Federal de Pelotas, na linha de pesquisa Tecnologia e Conservação do Ambiente Construído. MBA em Gestão de Projetos pelo Centro Universitário Univel. Especialista em Educação pelo Programa de Pós-Graduação em Educação (PPGEdu) do Instituto Federal Sul-Rio-Grandense. Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Pelotas (2016).

⁴ Servidora Técnico-Administrativa em Educação no Instituto Federal do Paraná. Mestre em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Pelotas (2024). De 2018 a 2023 atuou como servidora da Universidade Federal de Pelotas na Coordenadoria de Obras e Planejamento Físico. Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande (2015), realizando graduação sanduíche na Università degli Studi di Trento na Itália no curso de Ingegneria Civile (2013-2014).

Resumo: Os desastres naturais aumentaram em frequência e gravidade nos últimos anos; as inundações e deslizamentos de terra são as tragédias mais recorrentes no Rio de Janeiro. Este estudo propõe se apropriar do conhecimento técnico de arquitetos para contribuir com soluções adequadas, rápidas e mais econômicas para acomodar os afetados. O presente artigo parte de uma revisão bibliográfica, fundamental para a escolha adequada de materiais a serem utilizados em um abrigo de caráter temporário, emergencial e sustentável. Como fruto do estudo tem-se a concepção de um pré-projeto de abrigo para a cidade de Petrópolis, o qual se espera exequível. A proposta é a substituição de materiais convencionais por materiais mais limpos e econômicos, com a utilização do bambu, caixas de plástico (engradados), placas de OSB e lonas de poliestireno, todos com boas características físicas, que proporcionam agilidade na construção e menor custo.

Palavras-chave: Abrigo; Habitação Emergencial; Sustentabilidade

Abstract: Natural disasters have increased in frequency and severity in recent years; floods and landslides are the most recurrent tragedies in Rio de Janeiro. This study proposes to appropriate the technical knowledge of architects to contribute with adequate, fast and more economical solutions to accommodate those affected. This article is based on a bibliographic review, fundamental for the adequate choice of materials to be used in a temporary, emergency and sustainable shelter, as a result of the study, there is the conception of a pre-project of shelter for the city of Petrópolis, which is expected to be feasible. The proposal is to replace conventional materials with cleaner and more economical materials, with the use of bamboo, plastic boxes (crates), oriented strand boards and polystyrene tarpaulins, all with good physical characteristics, which provide agility in construction and lower cost.

Keywords: Shelter; Emergency Housing; Sustainability

1. Introdução

Os desastres naturais tais como os dilúvios, deslizamentos de terras, erosões, incêndios florestais, inundações, tempestades, representam um conjunto de fenômenos da natureza e são conceituados como decorrência de acontecimentos adversos que acarretam grandes impactos na sociedade. Depois de um desastre natural, muitos locais precisam ser reconstruídos e o ambiente afetado muitas vezes não possui abrigos suficientes para a população. A arquitetura tem um papel importante e em muitos casos a experiência técnica de arquitetos pode ajudar dando respostas e soluções rápidas capazes de adaptar um espaço e materiais para acomodar os afetados.

Diante desse cenário, como também pensando em minimizar a problemática dos altos custos e gerar menos impactos ambientais, esse estudo tem como objetivo elaborar um pré-projeto para um abrigo temporário substituindo os materiais convencionais por materiais mais limpos e econômicos, com um impacto negativo mínimo ao meio ambiente. Dentre uma gama de materiais possíveis e disponíveis de utilização para a elaboração de um abrigo

temporário, o estudo propõe o emprego de bambu, caixas de plástico (engradados) e placas de OSB, materiais que possuem boas características físicas, velocidade da construção, fácil transporte e baixo custo.

O método de pesquisa aplicada para este trabalho foi um modelo misto que combina duas abordagens metodológicas. O trabalho inclui uma revisão bibliográfica a fim de ajudar na tomada de decisão para a escolha de materiais e desenvolvimento de critérios de projeto e arranjo de projeto técnico que resultou na concepção de um pré-projeto de abrigo de caráter temporário, emergencial e sustentável. Foi considerada a adoção de um projeto único que correspondesse às circunstâncias e necessidades locais. A proposta apresentada traz como principais diretrizes a modularidade, a funcionalidade e a sustentabilidade.

2. Desastres Naturais e a Necessidade de Abrigo

A frequência e a gravidade dos desastres aumentaram desde o final de 1900 e só devem aumentar ainda mais devido às mudanças climáticas, crescimento populacional, aumento da densidade costeira e preparação inadequada para desastres (Perrucci; Vazquez; Aktas, 2016).

Os desastres naturais são uma grande preocupação social em todo o mundo. Inundações e deslizamentos de terra, furacões ou terremotos podem matar um grande número de pessoas a qualquer hora e em qualquer lugar, deixando os sobreviventes em situações altamente vulneráveis (Pérez-Valcárcel et al., 2021).

Existem vários indicativos e estudos científicos que mostram a crescente frequência dos eventos ambientais causadores de desastres em diversas regiões do Brasil, aumento de incidentes como tempestades e deslizamentos de terras (Tolentino, 2013).

No Rio de Janeiro as inundações e deslizamentos de terra são os desastres naturais mais recorrentes. Em fevereiro de 2022, centenas de pessoas morreram vítimas de um desmoronamento causado pela chuva em Petrópolis, além de deixar milhares de desabrigados, sendo registrado como o pior desastre no município (Satriano, 2022).

Em 1966 ocorreu o primeiro registro de desastre, quando houve 80 mortes, que se repetem ano após ano, em 1979, 1988, 2001, 2011, 2013, devastando a região e deixando muitas vítimas (Satriano, 2022).

Uma série de medidas deveriam ser tomadas para evitar tais desastres, como o respeito ao planejamento urbano, a promoção de políticas de habitação social e o preparo dos municípios e defesa civil para prevenção e também para resposta imediata aos desastres (Assumpção, 2015).

As perdas e danos causados pelos desastres comprometem os elementos básicos de dignidade e bem-estar da população, como o acesso à alimentação, energia, água e moradia, mas como também acesso aos serviços como saúde e educação, agravando as consequências dos desastres (Freitas et al, 2012).

Contudo, após um desastre, entre as medidas tomadas é também necessário resolver imediatamente a questão da habitação, porque a perda da habitação significa muito mais do que uma perda material: implica uma perda de dignidade, identidade e privacidade (Barakat, 2003).

A definição e os benefícios da habitação temporária não são simples, nem há consenso entre os especialistas (Pérez-Valcárcel et al., 2021). De acordo com Davis e Alexander (2015), após um desastre, existem três modos principais de abrigo e habitação: abrigos provisórios, abrigos transitórios e habitações permanentes. Nesse mesmo sentido, o manual *IRC Shelter after Disaster* simplifica para uma estratégia de três fases: abrigo de emergência, abrigo transitório e alojamento permanente (IFRC, 2015).

A etimologia do adjetivo temporário define uma maneira de viver em uma casa que é limitada no tempo, permitindo que as pessoas tenham acesso a um ambiente protegido, seguro e espaço confortável para retornar à vida cotidiana (Félix et al., 2015).

A última classificação amplamente utilizada é a de Quarantelli (1995), que define quatro soluções, embora de acordo com a definição fornecida pela UNDRO (1982), existam oito tipos. A classificação de Quarantelli é considerada a mais apropriada. De acordo com o projeto Sphere (2018) as definições da classificação de Quarantelli são:

1) Abrigo de emergência: local onde uma família fica no local da emergência. Pode ser uma instalação pública ou a casa de um amigo ou familiar. O fornecimento de alimentos ou serviços é resolvido em um ambiente comunitário.

2) Abrigo temporário: um local onde uma família permanece imediatamente após um desastre e por um curto período de tempo. Pode ser uma barraca, um abrigo autoconstruído, uma instalação pública, a casa de familiares ou amigos ou uma segunda casa. Dependendo da

duração da estadia, serão determinadas as formas de alimentação e outros serviços, especialmente os médicos.

3) Habitação temporária: local onde uma família reside temporariamente, e retoma as suas atividades domésticas e, se necessário, laborais. Pode ser uma casa pré-fabricada temporária, uma tenda de inverno, um abrigo autoconstruído, uma casa móvel, um apartamento ou a casa de um familiar ou amigo.

4) Habitação permanente: o local onde uma família irá residir definitivamente após o desastre. Isso se refere ao retorno da família à sua casa reconstruída ou à mudança para uma nova moradia permanente em sua própria comunidade ou em uma nova comunidade.

Quarantelli propôs uma categorização dos abrigos com base no tempo de vida dos abrigos e no comportamento das pessoas (Alshawwreh et al., 2020). Nesse sentido é importante a diferenciação de abrigo temporário e habitação temporária no aspecto comportamental, no abrigo as pessoas ainda não têm condições de voltar às atividades diárias e laborais.

Pérez-Valcárcel et al. (2021) ressaltam que os abrigos para situações de emergência precisam ser transportáveis, uma vez que se supõe que os edifícios permanentes existentes foram destruídos ou danificados; para que o transporte seja fácil e econômico, o prédio precisa ser o mais leve e compacto possível. É também altamente desejável que este envoltório possa ser desconstruída e reutilizada quando não for mais necessária, pois foi substituída por soluções permanentes.

Johnson (2007) identifica uma série de características, fatores e recursos necessários para um abrigo temporário, alguns deles são: tempo rápido, custo adequado em relação aos padrões do país, consideração da estratégia geral de reconstrução, design e conforto adequados da unidade, manutenção de laços sociais pré-desastre. Karami, Nazari e Karami (2015) explicam que sem abrigos temporários a sociedade é mais vulnerável a desastres, portanto, pode-se afirmar que há uma melhoria da resiliência da comunidade com o projeto de abrigos.

3. A proposta

O estudo propõe um abrigo temporário para a cidade de Petrópolis, uma cidade brasileira ao norte do estado do Rio de Janeiro. Petrópolis está localizada em uma região

serrana, com encostas muito íngremes e rios entre elas. A possibilidade de episódios de chuvas concentradas nessa região é alta. A cidade possui o clima tropical de altitude, com verões úmidos e quentes e invernos secos e relativamente frios. No período dos meses de verão, as chuvas e tempestades são catastróficas.

O conceito principal deste estudo se deu a partir do formato de coroa, apresentada na Figura 1, uma vez que a cidade de Petrópolis foi fundada por iniciativa do imperador Dom Pedro II, a qual seria o refúgio de verão de toda a corte. Por meados de 1843, vários palácios, mansões e construções do tipo foram erguidos e, então, criou-se uma atmosfera imperial na cidade.

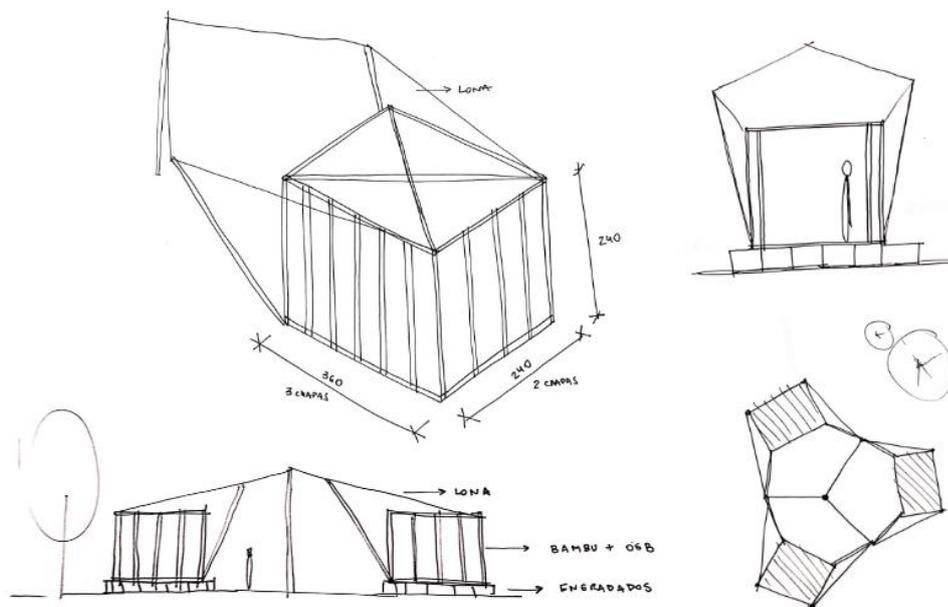


Figura 1 - Croquis iniciais. **Fonte:** Autores (2023).

Elaborou-se um estudo preliminar para um abrigo com soluções sustentáveis e eficientes do ponto de vista construtivo, buscando custo baixo e construção rápida. O abrigo proposto é para um período de permanência de dois meses ou menos, local para a pessoa permanecer imediatamente após o desastre por um curto período de tempo, e tem a função principal de dormitório, no qual cada módulo tem capacidade para quatro pessoas. A proposta é que haja, além dos módulos dormitórios, áreas de apoio, banheiros químicos e áreas de alimentação.

O curto tempo de permanência no abrigo está diretamente relacionado à estrutura oferecida ao usuário, que não é destinada a longos períodos de permanência, devido às suas características rústicas, apesar da estrutura e demais materiais serem resistentes a períodos mais longos, o que permitiria a montagem e desmontagem dos abrigos.

A proposta de projeto foi guiada pelos seguintes princípios: permitir montagem e desmontagem; possibilitar a execução com agilidade; empregar sistemas construtivos leves; permitir a execução do modelo sem a necessidade de mão de obra especializada; utilizar materiais sustentáveis; obter um abrigo capaz de ser utilizado mais de uma vez (Rodrigues et al., 2020); ser fácil de processar e manusear; manter o mínimo custo possível relacionado ao material e à fabricação; em termos de desempenho físico, o clima interior deve ser de conforto e ambiente saudável (Fajrin et al., 2021).

Todos os critérios foram discutidos a partir de diferentes pontos de vista, percebeu-se que é impossível satisfazer todos os critérios no mesmo nível, especialmente quando tempo e dinheiro eram uma restrição significativa, conforme afirma Fajrin et al. (2021). Além dos princípios já citados, a busca por racionalização no processo de execução trouxe a necessidade de projetar com base na arquitetura modular.

A coordenação modular desempenha papel importante na realidade moderna da indústria da construção, onde produtividade, baixo custo e desempenho ambiental são características indispensáveis para a produção de edificações (Greven; Baldauf, 2007). A coordenação modular pode ser definida como o uso de uma unidade de medida comum, representada pelo módulo (ABNT, 1975).

Junior (2019) apresenta as vantagens do sistema de coordenação modular, são elas: racionalização do processo projetual; menor número de modificações na hora da execução, o que reduz custo e tempo; relação do modo de construir aos processos de produção industrial; maior produtividade da mão de obra; redução do prazo de execução de obra; maior conexão entre o autor do projeto, o fabricante e o executor.

Dessa forma, a utilização de módulos de construção, além de auxiliar na montagem da estrutura, reduz o custo em virtude da otimização do uso da matéria prima, com aumento da agilidade dos processos e diminuição de perdas (Bataier; Petini; Moura, 2021).

Por isso, no projeto proposto, as medidas do abrigo foram adaptadas para as dimensões dos materiais utilizados; o primeiro passo do projeto modular foi determinar quais

componentes seriam utilizados para a montagem da edificação, definindo a chapa de OSB como elemento de fechamento, assim, utilizou-se como dimensões base para o abrigo valores múltiplos da dimensão da chapa, que possui 1,22 x 2,44m, resultando em um abrigo com medidas externas de 3,66 x 2,44m.

As principais diretrizes que guiaram a identificação dos problemas e as tomadas de decisões para a resolução foram a necessidade de simplicidade na concepção, a facilidade de montagem e desmontagem e a utilização de materiais de refugio abundantes e materiais sustentáveis. Os materiais que compõem o abrigo são: bambu, chapas de OSB, engradados de cerveja, areia e lona.

Para a fundação do abrigo emergencial foi proposta a utilização de engradados de cerveja com saco de areia em seu conteúdo interior e aparafusados entre si. Os engradados utilizados como fundação possuem papel muito importante uma vez que a utilização dele eleva a construção a 31,5 cm acima do nível do terreno, assim protege o bambu e o abrigo contra a umidade do solo e contra a água da chuva. Segundo Rodrigues et al. (2020), a escolha se torna uma opção de reaproveitamento de materiais que são descartados e evita o uso do concreto na fundação não gerando resíduos, tornando-se ambientalmente correta.

O bambu é largamente utilizado como material de construção, sendo tradição em várias regiões do mundo, especialmente em países asiáticos, em outros países orientais e na América do Sul, em países andinos (Marinho, 2013). O bambu como material de construção pode ter um impacto social positivo na sociedade (Manandhar, Kim; Kim, 2019).

É conhecido como o aço vegetal, as vantagens fundamentais do uso do bambu na construção são: sua leveza e resistência; seu rápido crescimento, pronto para uso dentro de 3 a 6 anos de idade; por ser da família das gramíneas, podemos fazer diversas colheitas em uma mesma touceira, o que fortalece o bambuzal; alta captação e fixação de carbono; é o material do futuro (Lengen, 2021, p. 170). É importante ressaltar que, para o uso do bambu na indústria da construção civil, deve-se fazer a sua retirada no mínimo a partir de 3 anos de amadurecimento do colmo, pois assim já está com 80% da sua resistência (Junior, 2019).

Freire e Beraldo (2003) corroboram, dizem que o bambu oferece muitos benefícios, tais como: resistência mecânica, custo diminuído, flexibilidade, leveza, é renovável, pode ser facilmente carregado; porém, por ser um material biológico apresenta desvantagens como baixa durabilidade natural, combustibilidade e modificações dimensionais (Junior, 2019).

Alguns destes fatores inconvenientes podem ser minimizados com tratamentos preservativos dos colmos, que permite aumentar de quatro a cinco vezes a resistência do bambu (Freire; Beraldo, 2003). De forma geral, para a construção de abrigos de emergência, o bambu é fortemente recomendado (Karami; Nazari; Karami, 2015).

Em sua forma natural o bambu dura de 2 a 3 anos, com a utilização de tratamentos químicos para protegê-lo de pragas naturais e com o uso de elementos arquitetônicos adequados para protegê-lo dos efeitos do clima, a vida útil do bambu pode aumentar para 30 a 40 anos (Manandhar, Kim; Kim, 2019).

O bambu é suscetível à degradação e a ataques de insetos xilófagos, conforme Oliveira, Gaffuri e Moura (2020), é necessário tratamento adequado para protegê-lo, preferencialmente, um tratamento de menor impacto ambiental. Conforme Souza (2004), o tratamento impede o ataque de fungos, insetos, aumenta a durabilidade e eficiência e ainda protege da umidade; existem os métodos por imersão, *boucheire*, por transpiração das folhas e aplicação externa.

Com o intuito de não ferir um dos maiores fatores que tornam viável a utilização do bambu, que é o fato de ser um recurso natural, renovável e não poluente, procura-se evitar o tratamento químico das peças; pode-se, portanto, tomar partido de defensivos naturais, como o nim, o tanino, tabaco e outros (Barros; Souza, 2004).

Por isso, é proposto o tratamento das peças de bambu utilizadas para a execução do abrigo com o tanino, um tratamento natural, que, conforme a pesquisa de Carbonari (2013), aumenta a vida útil dos colmos de bambu pois o tanino tem propriedades ácidas e adstringentes, que neutralizam o amido presente nas células do bambu, acabando com o atrativo para os insetos.

A supraestrutura será executada em bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*, conhecido como “bambu gigante”, “bambu balde” ou “bambu do dragão”, que, em função da grande espessura da parede do colmo desta espécie foi escolhida para ser utilizada como estrutura principal do abrigo. O bambu gigante é uma planta considerada de grande porte que se adaptou com excelência ao Brasil (Moraes; Uchôa, 2011), sendo uma das espécies mais utilizadas na construção civil. Apresenta altura dos colmos de 24 a 60m, diâmetro dos colmos de 10 a 20cm e espessura da parede de 2,5cm (Souza, 2004).

A estrutura será do tipo viga-pilar (Santana, 2016), composta por varas com diâmetro em torno de quinze centímetros. Devem ser escolhidos exemplares que apresentem um aspecto mais retificado e uniforme em sua extensão útil. Apesar do bambu gigante apresentar uma forma mais cônica do que circular, como a altura dos colmos dessa espécie vai de 24 a 60m e serão utilizadas alturas de até 5m, a variação de diâmetro e de formato não será significativa.

Ainda no que se refere às características físicas, nos pontos nodais o bambu apresenta menos resistência e rigidez, contudo, isto pode ser compensado pela espessura do colmo na região do nó (Junior, 2018). Carbonari (et al., 2017) realizaram ensaios de laboratório com várias espécies de bambu a fim de estudar suas características mecânicas, concluíram que o bambu possui uma alta resistência aliada a uma alta flexibilidade. Segundo os autores, a presença de nós não afetou significativamente o valor do módulo de elasticidade e tão pouco a resistência à compressão das espécies de bambu ensaiadas.

O bambu é um material extremamente eficiente, com baixo peso e altas resistências, tanto à tração quanto à compressão, porém com uma deficiência natural em seu módulo de elasticidade à flexão. Os valores relativamente baixos obtidos dos módulos de elasticidade à flexão comprovam a alta flexibilidade do bambu, características estão associadas às ações impostas pela natureza, já que no bambuzal os colmos de aproximadamente 25 metros devem resistir à ação do vento (Carbonari et al., 2017).

Conforme Souza (2004), é o sistema mais indicado, porém deve ser cuidadosamente executado devido à necessidade de executar furos; é recomendado utilizar borracha ou silicone nas ligações estruturais, no contato entre as peças de bambu e entre o bambu e o parafuso, a fim de melhorar o ajuste e evitar as fissuras ou o esmagamento.

Uma vez concluída a estrutura resistente, são instalados os painéis que formam o piso, os fechamentos verticais e o teto, com a utilização da chapa de *Oriented Strand Board* (OSB). A escolha do OSB se deu visto que as chapas são confeccionadas com madeira de reflorestamento, logo, apresenta um menor impacto ambiental.

A carência de matéria-prima para construção em alvenaria induziu civilizações a desenvolverem um processo que fosse tão bom quanto a alvenaria, e com um material que fosse muito mais acessível; portanto, através desta circunstância se desenvolveu a tecnologia dos painéis de madeira, por se tratar de algo muito fácil de deparar na natureza, e sendo uma

matéria-prima renovável. O incremento desta tecnologia alternativa, e tão efetiva quanto a alvenaria, cunhou um caminho muito mais acessível a este tipo de cultura ideologia (Poblete, 2001).

O fato de a madeira ser uma matéria-prima renovável e requerer um baixo consumo de energia para ser processada, representa uma vantagem comparativa em relação a outros produtos de mesma aplicação (Mendes, 2001). De acordo com Hometeka (2016), cerca de 90% do tronco de uma árvore pode ser convertido em OSB; além disso, as placas são totalmente recicláveis, tornando o produto uma alternativa mais sustentável.

Segundo Cloutier (1998) os painéis de OSB podem ser empregados para aplicações estruturais, tais como paredes, suporte para piso e forro, elementos de vigas estruturais, e embalagens. Portanto, as chapas serão utilizadas nas paredes, pisos, esquadrias e forro do abrigo temporário proposto, as chapas utilizadas terão dimensões de 2,44 x 1,22m e espessura de 18,3mm. Nas paredes serão utilizadas duas chapas de OSB, uma interna e outra externa à estrutura, presas nas vigas da estrutura, nas faces superior e inferior, com a utilização de parafusos.

Além da questão ambiental, as chapas de OSB possuem um bom isolamento termoacústico e são consistentes e uniformes, não deixando espaços vazios (Hometeka, 2016). As esquadrias foram projetadas para serem de fácil execução, por isso também são executadas em chapas de OSB com moldura, conforme ilustrado na Figura 5.

Consequentemente em virtude de a estrutura principal ser construída em bambu e das vedações serem duplas, proporcionando maior conforto térmico dos abrigos devido a camada de ar entre as chapas de OSB, o abrigo ficou com medidas internas de 3,29 x 2,03m, totalizando uma área interna de 6,68m², procurando atender somente a necessidade de dormir das pessoas. A Figura 2 apresenta a planta baixa do abrigo na qual pode-se observar que será possível utilizar dois beliches para abrigar 4 pessoas.

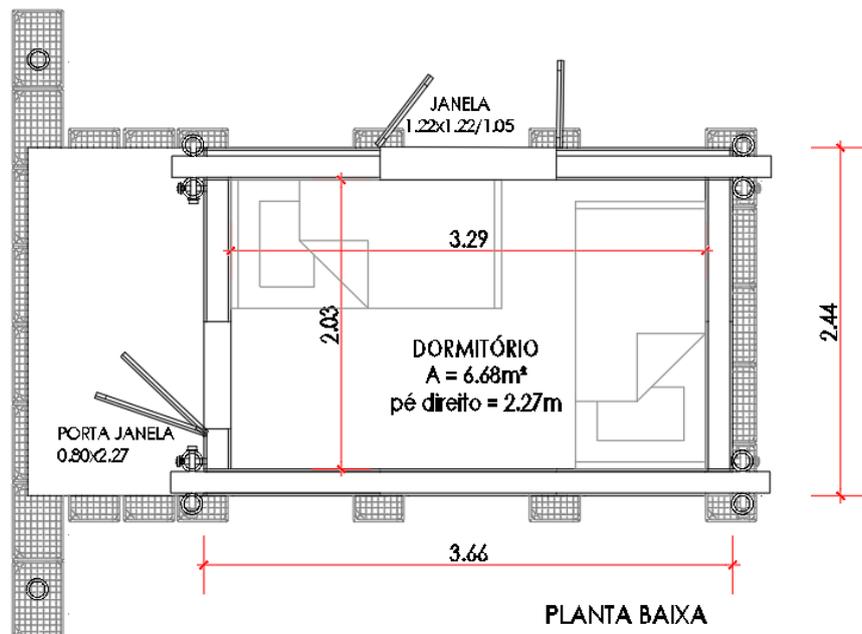


Figura 2 - Planta baixa do abrigo. Fonte: Autores (2023).

A Figura 3 apresenta as vistas lateral e frontal do abrigo, pode-se observar a cobertura inclinada e uma altura livre de pé-direito no interior do abrigo de 2,27m.

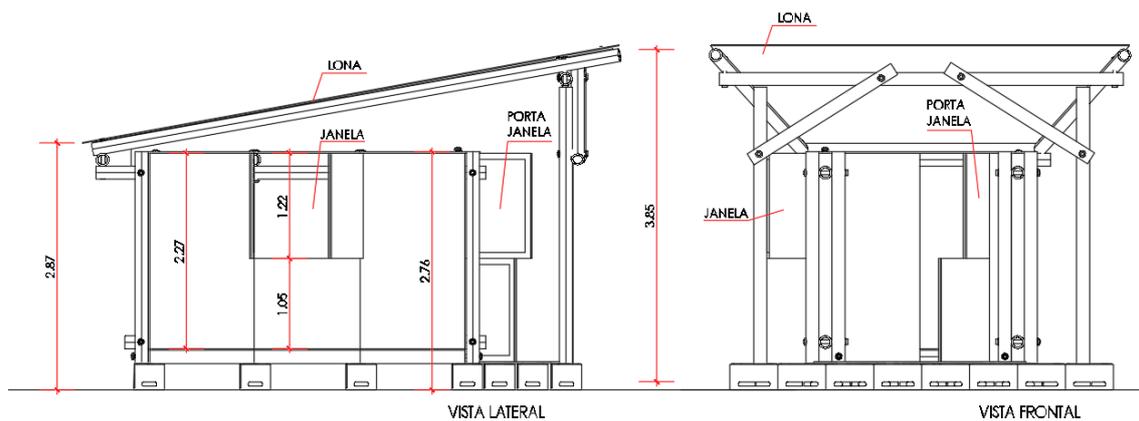


Figura 3 - Vistas lateral e frontal do abrigo. Fonte: Autores (2023).

O design para circunstâncias emergenciais pode ser definido como parte do conceito de design social, assim unido diretamente às necessidades humanas; o objetivo é se apropriar

das ferramentas de projeto arquitetônico como instrumento criativo para suprir problemas sociais e ambientais, antes de quaisquer questões mercadológicas (Papanek, 1984).

Conforme Junior (2019) em sua proposta, é importante a ideia de conexão nortear o projeto, assim as pessoas que ficaram desabrigadas não se dispersam, pelo contrário, ficam unidas. Pensando nisso, a solução propõe uma relação humanizada entre as pessoas, com uma integração social pós-desastre, projetando a possibilidade de união de seis dormitórios, a fim de formar um módulo completo, com uma área de convivência coberta, espaço privativo semiexterior.

A Figura 4 apresenta a união de seis módulos de abrigo em torno de uma área central, um espaço de convivência e de colaboração entre os abrigados, porém, cabe salientar que o módulo também pode ser utilizado de forma individual ou em outras conformações.

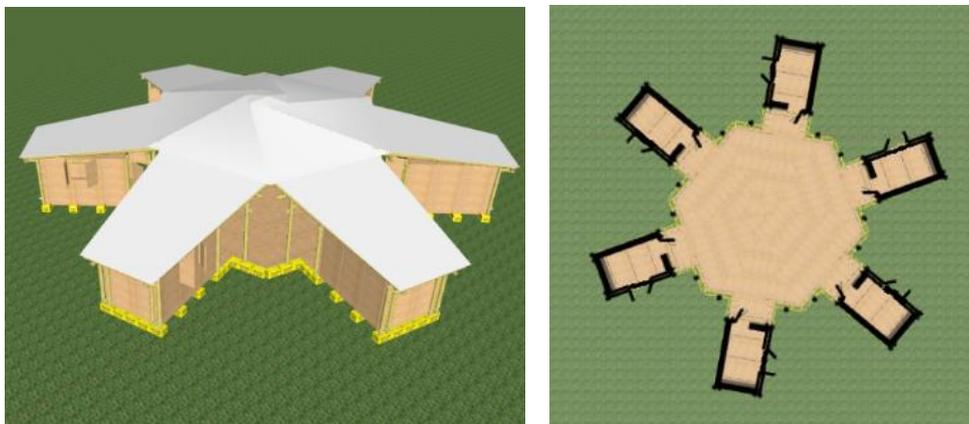


Figura 4 – Área de convivência. Fonte: Autores (2023).

Em seu estudo, Albadra, Coley e Hart (2018) destacaram a importância da criação de espaços privados semiexteriores em frente aos abrigos, o layout em grade dos abrigos resultou em famílias tendo que construir suas próprias extensões para impedir os transeuntes de olhar para seus abrigos. Ainda segundo os autores, espaços privados sombreados e bem ventilados são muito desejáveis no verão, enquanto no inverno oferece certa proteção contra os ventos (Albadra; Coley; Hart, 2018).

Para a cobertura central é proposta uma estrutura independente com bambu gigante e pele superior em lona, material maleável, leve e de fácil transporte, bem como o proposto

por Yano e Moura (2021). A cobertura é o elemento de destaque do abrigo, confere leveza, dá um aspecto delicado, a lona abraça o abrigo, ao mesmo tempo em que protege, há uma dinamicidade na composição estética.

Conforme ilustrado na Figura 5, a proposta de uma porta janela com duas folhas para a área coberta permite que se mantenha a ventilação com proteção contra os ventos fortes e intempéries no inverno. Além disso, a concepção de uma janela adicional garante a ventilação cruzada, importante estratégia bioclimática que permite um adequado conforto térmico internamente, bem como garante a renovação de ar e salubridade do ambiente.

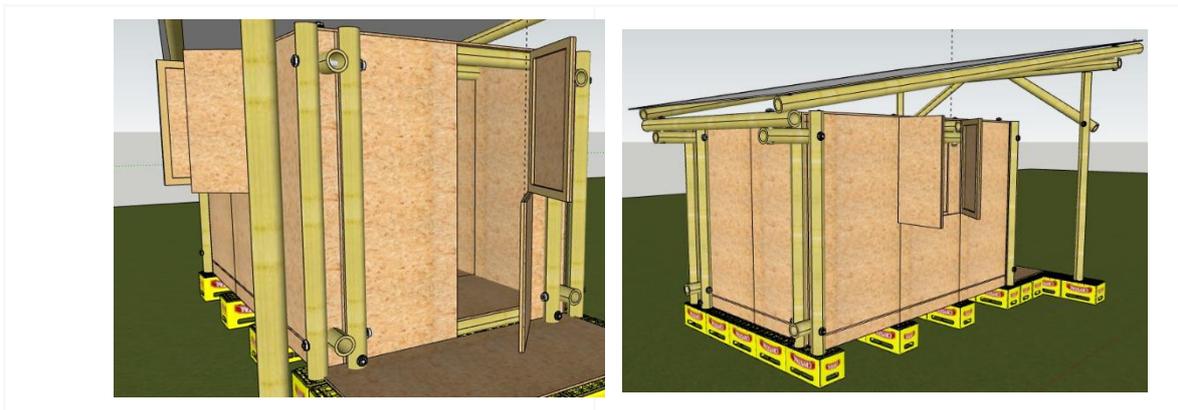


Figura 5 – Ventilação: janelas e portas. Fonte: Autores (2023).

A estrutura em bambu que une os seis módulos possui auto travamento, inspirado na estrutura ilustrada na Figura 6 à direita, não sendo necessárias, portanto, barras adicionais de contraventamento, sem movimentação e deslocamento horizontal e vertical, a estrutura por si só é estável e leve, em virtude de a cobertura ser executada com lona. A estrutura pode ser executada no chão e içada e amarrada aos módulos.

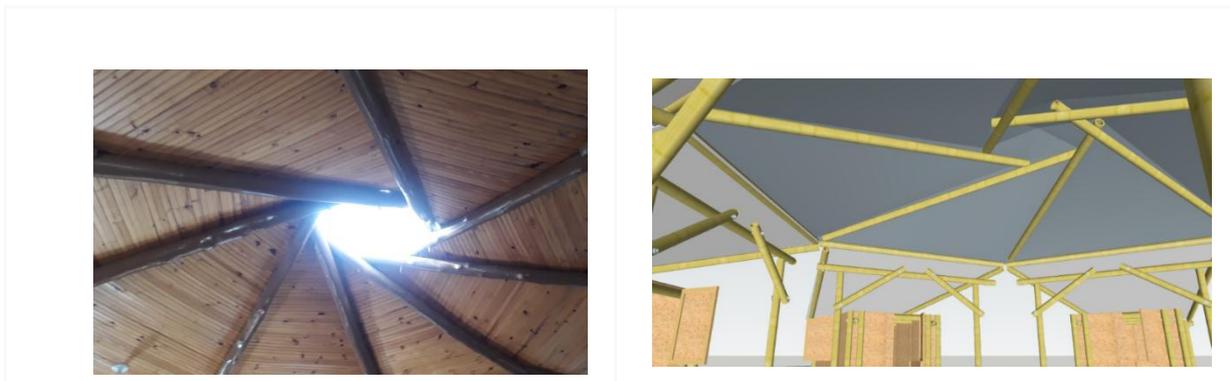


Figura 6 – Contraventamento cobertura. Fonte: Autores (2023).

A lona, impermeável e de fácil amarração na estrutura, pode ser proveniente de materiais publicitários, como banners e outdoors, que são facilmente encontrados. Devido a maleabilidade e adaptação à forma, elas podem revestir os colmos de bambu, ajudando na proteção contra intempéries, prolongando a vida útil das estruturas.

As lonas podem ser compostas de polietileno de baixa densidade (PE) e de policloreto de vinila (PVC), a escolha pela lona de polietileno reciclada tem papel importante na questão ambiental. O polietileno é o polímero mais empregado no mundo, não-tóxico, frequentemente reciclado e usado em artigos diários (FESPA BRASIL, 2017).

A lona vinílica leva cerca de 400 anos para se decompor e é raramente reaproveitada (Revista Press, 2019). A lona de PVC geralmente acaba em aterros sanitários devido às dificuldades da reciclagem. As lonas de PE têm um baixo custo de produção com o emprego de matéria-prima completamente reciclada, essencial para a conservação do meio ambiente. Por causa da diferença de peso e dos materiais utilizados em cada produto, a energia consumida na produção de um metro quadrado de lona PE é menos da metade do que o necessário para produzir a mesma quantidade de lona PVC (FESPA BRASIL, 2017).

4. Considerações finais

Este trabalho proporcionou conhecimento acerca da arquitetura emergencial, a partir do estudo de abrigos temporários e de materiais e técnicas construtivas sustentáveis. A sustentabilidade destaca-se na construção de abrigos visto que está diretamente ligada à resiliência, indispensável em situações emergenciais e de desastres.

A construção de abrigos temporários deve ocorrer de forma veloz, ser de baixo custo e de baixo impacto ambiental. Diante disso, o projeto de abrigo temporário proposto neste trabalho buscou soluções viáveis para atender as necessidades das pessoas em situações emergenciais.

A revisão bibliográfica se tornou uma ferramenta importante para a determinação das diretrizes e processo de concepção da unidade emergencial. A utilização de materiais de baixo custo e ambientalmente corretos, como o OSB, o bambu, os engradados e a lona de poliestireno, bem como a solução construtiva proposta, que segue os princípios da modularidade, da sustentabilidade e da eficácia construtiva, com utilização de sistemas leves e

de fácil processamento, montagem e desmontagem, surgem como soluções factíveis a esse tipo de situação.

Além disso, a proposta buscou soluções além de construtivas e técnicas, mas também de cunho social, como a proposição de um ambiente de convivência entre diferentes abrigados junto aos espaços privados, possibilitando compartilhamento e integração entre as pessoas em situações pós-desastres.

Destaca-se que este trabalho não é o fim, é somente uma das etapas de um longo processo de concepção de uma edificação, no qual são necessários estudos mais aprofundados, bem como a execução de um protótipo para a verificação da exequibilidade da construção do abrigo.

Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Síntese da Coordenação Modular**. Rio de Janeiro, 1975.

ALBADRA, D.; COLEY, D.; HART, J. RIBA President's Awards for Research 2017 Winner of the Annual Theme-Housing, **The Journal of Architecture**. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13602365.2018.1424227>. Acesso em: 8 abr. 2023.

ALSHAWAWREH, et al. Qualifying the Sustainability of Novel Designs and Existing Solutions for Post-Disaster and Post-Conflict Sheltering. **Sustainability** 2020, 12, 890. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/3/890>. Acesso em: 8 abr. 2023.

ASSUMPÇÃO, R. **Petrópolis: Um histórico de desastres sem solução? Do Plano Koeler ao Programa Cidades Resilientes**. Tese (Doutorado) – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/40233/ve_Rafaela_dos_Santos_Facchetti_Vinhaes_ENSP_2015?sequence=2&isAllowed=y. Acesso em: 8 abr. 2023.

BARAKAT, S. **Housing reconstruction after conflict and disaster**. London: Overseas Development Institute. 2003.

BARROS, R. de B.; SOUZA, F. A. M. de. **Bambu: Alternativa Construtiva de Baixo Impacto Ambiental**. I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável - X **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. 2004. São Paulo. ISBN 85-89478-08-4.

BATAIER; PETINI; MOURA. **Coordenação Modular Para Abrigos Emergenciais: A Proposta De Um Sistema Construtivo Utilizando Bambu**. IX ENSUS – **Encontro de Sustentabilidade em Projeto** – UFSC. Florianópolis. 2021.

CARBONARI, G. **Tratamento do Bambu com Tanino**. 2013. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR1020130207888, título: Tratamento do Bambu com Tanino. Instituição de registro: INPI Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

CARBONARI, G.; et al. Bambu – O Aço Vegetal. **Mix Sustentável**. Edição 05. V3. N.1. 2017.

CLOUTIER, A. Oriented Strand Board (OSB): raw material, manufacturing process properties, and uses. In: **International Seminar On Solid Wood Products Of High Technology**. Belo Horizonte: 1998. p. 173-185.

DAVIS, I.; Alexander, D. **Recovery from disaster**. Routledge. 2015

FAJRIN, et al. Bamboo-based temporary house for post disaster relief: A conceptual design and prototype built after Lombok Earthquake 2018. 2nd International Conference on Disaster and Management IOP Conf. Series: **Earth and Environmental Science 708**. 2021. 012076; doi:10.1088/1755-1315/708/1/012076

FÉLIX, D., et al. The role of temporary accommodation buildings for post-disaster housing reconstruction. **Journal of Housing and the Built Environment**, 2015. 30(4), 683-699.

FESPA BRASIL. **Lona de PE**. 2022. Disponível em: <https://www.fespabrasil.com.br/pt/noticias/nova-lona-pe-rafia-da-digigraf-e-100-reciclavel>. Acesso em: 8 abr. 2023.

FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. **Tecnologias e Materiais Alternativos de Construção**. Campinas, SP. Editora Unicamp. 1 ed. 2003. v.1. 338p.

GREVEN, H. A.; BALDAUF, A. S. F. **Introdução à coordenação modular da construção no Brasil: uma abordagem atualizada**. Porto Alegre. ANTAC, 2007. Coleção Habitare, 9. 72 p. ISBN 978-85-89478-23-6

HOMETEKA. **OSB: Tudo que você precisa saber sobre o material**. 2016. Disponível em: <https://www.hometeka.com.br/aprenda/osb-tudo-que-voce-precisa-saber-sobre-o-material/>. Acesso em: 8 abr. 2023.

IFRC. INTERNATIONAL FEDERATION OF RED CROSS. OCHA. **Shelter after disaster**. Second Edition. Genebra: International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. 2015.

JOHNSON, C. Strategic planning for post disaster temporary housing. **Disasters**, 31(4): 435-458. Journal compilation © Overseas Development Institute, 2007. doi:10.1111/j.0361-3666.2007.01018.x

JUNIOR, E. E. de L. **Arquitetura emergencial: abrigo para desastres**. Monografia (Graduação). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2019. 52f.

KARAMI, N.; NAZARI, S.; KARAMI, A. A. Improving Community Resilience using Bamboo Emergency Sheltering in the Face of Disasters. **International Journal of Scientific Engineering and Technology** ISSN: 2277-1581. Volume N 4. Issue N 10. pp:494-497. 2015.

LENGEN, J. V. **Manual do Arquiteto Descalço**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2021.

MARINHO, A. C. **Abrigo desmontável para emergências ambientais utilizando painel-sanduíche de Bambu**. Rio de Janeiro, 2013, 184p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

MANANDHAR, R.; KIM, J.; KIM, J. Environmental, social and economic sustainability of bamboo and bamboo-based construction materials in buildings. **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**. 2019. 18:2, 49-59, DOI:10.1080/13467581.2019.1595629

MENDES, L. M. **Pinus spp na Produção de Painéis de Partículas Orientadas (OSB)**. Curitiba: Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, 2001.

MORAES, J.; UCHÔA, E. **Usos do bambu em construções**. 2a ed. Brasília: Bioestrutura Engenharia Ltda, 2011.

NOIA, P. R. da C.; YOSHIOKA, E. Y. Sistema construtivo em bambu para habitação de interesse social. **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. Tradução. Rio de Janeiro: ICH, 2017.

OLIVEIRA, A. M. DOS S. B.; GAFFURI, B. A.; MOURA, J. D. de M. Proposta de Sistema Modular em Bambu para Habitação Emergencial. **Mix Sust**. Florianópolis. v.8. n.1. p.102-116. 2022. <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2022.v8.n1.102-116>

PAPANNEK, V. **Design for the real world: human ecology and social change**. 2. ed. Chicago: Academy Chicago Publishers, 1984.

PÉREZ-VALCÁRCEL, et al. Modular Temporary Housing for Situations of Humanitarian Catastrophe. **Journal of Architectural Engineering**, 2021, 27(2), 05021004; [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000471](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000471)

PERRUCCI, D. V.; VAZQUEZ, B. A.; AKTAS, C. B. Sustainable Temporary Housing: Global Trends and Outlook. **Procedia Eng**. 2016, 145, 327–332.

POBLETE, H. **Tableros de Partículas**. Chile: Ed. El Kultrún, 2001.

QUARANTELLI, E. L. Patterns of sheltering and housing in US disasters. **Disaster Prevention and Management**, 4, 43-53. 1995.

REVISTA PRESS. **Aplicativo 99 transforma todas as suas lonas de publicidade em brindes e objetos para doações**. Advertising. Revista Press. 2019. Disponível em: <http://revistapress.com.br/advertising/aplicativo-99-transforma-todas-as-suas-lonas-de-publicidade-em-brindes-e-objetos-para-doacoes/>. Acesso em: 8 abr. 2023.

RODRIGUES, N. N. A., et al. Estudo De Projeto De Um Abrigo De Carater Temporário, Emergencial E Sustentável Em Wood Frame E Bambu. VIII ENSUS – **Encontro de Sustentabilidade em Projeto**. UNISUL. Palhoça. 2020

SANTANA, I. de R. A. **Aplicação do Bambu na Arquitetura de Brasília: Obtendo a Maior Eficiência para a Elaboração de um Projeto com Qualidade Construtiva e Ambiental**. Relatório final. Pós-Graduação e Pesquisa. Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas. Brasília/DF. 2016.

SATRIANO, N. Com 178 mortos, tragédia em Petrópolis é a maior já registrada na história do município. Portal G1, 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2022/02/20/tragedia-em-petropolis-maior-registrada-na-historia-o-municipio.ghtml>

SOUZA, A. P. C. C. **Bambu na Habitação de Interesse Social no Brasil**. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, Belo Horizonte, v. 11, n. 12, p. 217-245, dez. 2004.

SPHERE. Manual Esfera: **Carta Humanitaria Y Normas Mínimas Para La Respuesta Humana**. 2018.

TOLENTINO, L. **Desafios dos eventos climáticos**. 2013. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/desafios-dos-eventos-climaticos>> Acesso em: 8 abr. 2023.

UNDRO. UNITED NATIONS DISASTER RELIEF ORGANIZATION. **Shelter after Disaster: Guidelines for Assistance**. Folder United Nations Disaster Relief Organization: New York, NY, USA, 1982.

YANO, B. B. R., MOURA, J. D. De M. Projeto de abrigo emergencial: etapas e desafios a partir de um método construtivo com materiais de refugio. USJT. **ARQ.URB**. número 31. 2021. DOI: 10.37916/arq.urb.vi31.507

**SIMULAÇÃO DE CRESCIMENTO URBANO EM CERRITO E
PEDRO OSÓRIO, RS, BRASIL:
preservação ambiental, áreas de inundação e polos de atração**

SIMULATION OF URBAN GROWTH IN CERRITO AND
PEDRO OSÓRIO, RS, BRAZIL:
environmental preservation, flood areas and attraction poles

Maurício Polidori¹

mauricio.polidori@gmail.com

Renata Zschornack²

renata_zschornack@hotmail.com

Sarah Dorneles³

sarahjdorneles@gmail.com

Resumo: Este artigo apresenta experimentos com modelagem urbana, realizando simulações de crescimento urbano com autômatos celulares, nas cidades de Cerrito e Pedro Osório, no Estado do RS, Brasil, localizadas às margens do Rio Piratini, em área de fronteira do Brasil com o Uruguai. As simulações estão legitimadas por replicação do presente a partir de estado passado do sistema, em processo de calibração realizado entre os anos de 1985 e 2022, com 79,0% de acertos e precisão de 200m. Mediante cenários com e sem preservação ambiental, depois com a presença de polos de atração, são realizadas simulações com o modelo calibrado, verificando tendências de crescimento urbano em áreas de inundação do Rio. Os resultados sugerem que cidades à beira de rios, especialmente quando há ocupação de ambos os lados, tendem a ocupar suas áreas de inundação, com danos para o ambiente natural e riscos para a segurança urbana. Continuando, os experimentos indicam que polos de atração podem ajudar no redirecionamento do crescimento urbano, porém dependem de interação com outros fatores, como o tamanho das cidades, a morfologia das áreas urbanizadas e o traçado das vias de acesso, no encontro com as áreas ainda não urbanizadas.

Palavras-chave: crescimento urbano; áreas de inundação de rios; polos de atração.

¹ Arquiteto e urbanista, professor na FAUrb UFPel. Mestre em Planejamento Urbano e Regional. Doutor em Ciências - Ecologia.

² Arquiteta e Urbanista, Técnica em Edificações na FURG. Mestranda em Arquitetura e Urbanismo FAUrb UFPel.

³ Arquiteta e Urbanista (UFPel), servidora de carreira na Prefeitura Municipal de Cerrito - RS. Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo FAUrb UFPel.

Abstract: This article presents experiments with urban modeling, performing simulations of urban growth with cellular automata, in the cities of Cerrito and Pedro Osório, in the State of RS, Brazil, located on the banks of the Piratini River, in the border area between Brazil and Uruguay. The simulations are legitimized by replicating the present from the past state of the system, in a calibration process carried out between the years 1985 and 2022, with 79,0% of hits and accuracy of 200m. Through scenarios with and without environmental preservation, then with the presence of poles of attraction, simulations are carried out with the calibrated model, verifying urban growth trends in flood areas of Rio. The results suggest that cities along rivers, especially when there is occupation on both sides, tend to occupy their flood areas, with damage to the natural environment and risks to urban security. Continuing, the experiments indicate that poles of attraction can help in redirecting urban growth, but they depend on the interaction with other factors, such as the size of cities, the morphology of urbanized areas and the layout of access roads, in the encounter with areas still not urbanized.

Keywords: urban growth; river flood areas; urban attraction.

1. Apresentação

Este trabalho pretende simular crescimento urbano nas áreas urbanizadas das cidades de Cerrito e Pedro Osório, RS, Brasil, realizando exercícios de modelagem urbana com autômatos celulares, o que é alcançado utilizando o programa de computador CityCell. Essas cidades do sul do país, na faixa de fronteira do Brasil com o Uruguai, ocupam parte da área de inundação do Rio Piratini, sendo que as simulações realizadas aqui se dedicam a duas questões principais: a) considerando que as cidades vêm experimentando expansões de suas áreas urbanizadas, qual a relação dessas áreas acrescidas com as áreas de inundação? b) assumido que é importante direcionar o crescimento urbano do futuro dessas cidades para fora da área de inundação do Rio, qual pode ser a contribuição da localização de novos polos de atração em locais altos e seguros?

Para enfrentar essas duas questões, ambas vinculadas à morfologia da futura área urbanizada, são apresentados os seguintes conteúdos: a) o que são modelagem urbana, autômatos celulares e simulações; b) como funciona o programa de computador CityCell, que vai ser utilizado para realizar simulações de crescimento urbano; c) onde estão e como são as áreas urbanas das cidades de Cerrito e Pedro Osório; d) como foi feita a calibração do modelo de simulação de crescimento para o caso dessas cidades, legitimando os estudos através da replicação do modo de crescimento passado das duas cidades; e) realização de simulações de crescimento da área urbana para o futuro, com dois cenários: e.1) preservando as áreas de interesse ambiental e verificando a tendência de as cidades avançarem sobre áreas de inundação do Rio Piratini; e.2) testando a capacidade de novos polos de atração direcionarem o crescimento urbano para locais fora da área de inundação do Rio. Ao final deste artigo, de

modo encadeado com os conteúdos anteriores, aparecem as principais conclusões e as referências bibliográficas.

2. Modelagem urbana, autômatos celulares e simulações

Modelagem urbana pode ser entendida como um modo de capturar algum aspecto da realidade e replicá-la de maneira controlada, permitindo a realização de experimentos, apoiando trabalhos de pesquisa e auxiliando na tomada de decisões, incluindo aspectos teóricos, empíricos e metodológicos. Como a realização dos trabalhos de modelagem urbana normalmente ocorre com intenção de construir ou testar uma ideia, a aproximação com alguma teoria é evidente, o que aparece tanto na escolha ou produção de modelos, como no delineamento experimental. Do ponto de vista empírico, a modelagem se realiza ao escolher o local de trabalho e o modelo propriamente dito, sendo que ambos colaboram para determinar os limites e o escopo de assuntos passíveis de inclusão em cada caso. Com relação à metodologia, embora seja conhecida a aproximação entre a modelagem urbana e a pesquisa científica tradicional, pode ser sugerido que a modelagem urbana é também um exercício de criatividade, invenção e abstração.

A criatividade pode aparecer em dois momentos diferentes: na produção de modelos e no seu uso. A produção de modelos parece demandar capacidade de sintetizar e recriar a realidade, numa delicada união com modos de ver e interpretar o mundo. Ao usar algum modelo, aparece o desafio de associar o conhecimento do usuário com o problema que será modelado, decidindo as variáveis que o constituem e os resultados que podem ser encontrados. Nesse caminho, a invenção aparece como resultado da formulação de novas perguntas e novas respostas, sugerindo possibilidades contraintuitivas e alcançando transgressões ao que é usualmente admitido. Para fazer isso, é preciso exercitar a abstração, quer pelo modo de representação que os modelos normalmente utilizam, quer pela interpretação dos resultados, ao mesmo tempo que se transcrevem dados abstratos para a realidade, dando uso aos modelos numa troca permanente entre abstração e realidade.

Modelos são representações simplificadas da realidade (Almeida, Câmara e Monteiro, 2007), sendo seu principal objetivo representar determinado sistema, de modo a incluir os aspectos principais de teorias subjacentes, auxiliando em seu entendimento e dos processos que regem sua dinâmica (Batty, 2009). Modelos têm sido usados com sucesso na

representação e simulação de sistemas complexos e dinâmicos, como é o caso das cidades (Batty, 1998), permitindo que processos urbanos sejam reproduzidos em laboratório, viabilizando a realização de experiências que seriam impossíveis na prática, dada a impossibilidade de manipular pessoas ou estruturas físicas reais (Krafta, 2009). Inicialmente entendidos como simples representações materiais da realidade, modelos obtidos através de sistemas computacionais têm possibilitado que a cidade passe a ser modelada de modo simbólico, a partir da tradução de determinadas características físicas em linguagem matemática. Nesse caminho, o uso de modelos urbanos passa a ser complementar à ideia de teoria, onde ambientes computacionais atuam como espécie de laboratório e o fenômeno urbano, depois de capturado, pode ser reproduzido experimentalmente através de simulações (Echenique, 1975; Batty, 2009). Vários autores destacam os limites dos modelos, em particular no que diz respeito às suas possibilidades de predição (Batty e Torrens, 2001). Todavia, temos indicado o uso de modelos não somente para a antecipação de cenários de futuro prováveis, mas também para a indicação de condições desejáveis para a cidade.

Autômatos celulares têm sido usados, em estudos urbanos, especialmente para simular crescimento das cidades, aproveitando sua capacidade de representar dinâmicas espaciais e processos de mudança. Eles se diferenciam de outras abordagens no estudo e no desenho da forma urbana por duas razões principais: por representarem o espaço de modo contínuo, podendo incluir fatores urbanos e naturais num mesmo conjunto; e por assumirem que as relações de proximidade e de vizinhança influenciam fortemente os estados presente e futuro do espaço. Experimentos dedicados a simular crescimento urbano têm permitido observar padrões de mudança na forma da cidade e nas relações com fatores naturais, indicando que as transformações urbanas se comportam de maneira complexa, porém passível de identificação. Simulações com autômatos celulares também vêm permitindo observar aspectos estruturais da forma do sistema urbano, relacionando crescimento urbano com zoneamento ambiental e com a influência de grandes polos de atração.

As simulações têm sido consideradas como importantes instrumentos de trabalho no campo do urbanismo, particularmente quando envolvem interação entre aspectos físicos, sociais e ambientais (Alberti, 1999). Sendo assim, elas podem oferecer aos pesquisadores cenários hipotéticos de cidades reais, estimulando a descoberta e auxiliando na formulação de teorias (Axelrod, 1997). Para isso, técnicas computacionais, que podem ser reunidas sob o

conceito de geocomputação, são crescentemente utilizadas em trabalhos de simulação e de modelagem urbana, transformando o computador em laboratório e em meio de experimentação (Burrough, 1998; Batty, 1998).

Um dos aspectos das cidades que pode ser investigado com o uso de simulações é o seu crescimento, o que inclui capturar dinâmicas de mudança, considerar o tempo e modos de representação espacial. Neste trabalho, as mudanças urbanas estão assumidas como decorrentes de interações entre a estrutura urbana, a social e o ambiente natural, utilizando modelagem computacional dinâmica com o auxílio de autômatos celulares (O'sullivan e Torrens, 2000); o tempo vai ser incorporado como uma sucessão de estados encadeados, onde mecanismos de feedback positivo e negativo interagem e influenciam estados seguintes; por fim o modo de representação adotado é o de um grid, onde células representam espaços discretos e contêm atributos físicos, naturais e institucionais (Polidori, 2005).

Esse crescimento da cidade é composto por dinâmicas internas e externas, sendo que a primeira ocorre mediante ocupação de espaços vacantes ou substituição de estoques construídos, enquanto a segunda opera por conversão de solos não urbanizados em novos espaços urbanos, caracterizando um processo complexo, auto-organizado e emergente. A ideia de complexidade advém da compreensão da cidade e de suas mudanças como algo que inclui múltiplas interferências e agentes, com diversas relações possíveis entre eles, as quais ocorrem de modo iterativo e com feedback composto, de modo a acelerar ou frear mudanças; o conceito de auto-organização está associado à ideia de ausência de um elemento controlador central do conjunto (que ditaria suas transformações), sendo o crescimento urbano decorrente de lógicas próprias da cidade, onde seus atributos, encontrados na sua forma, na sociedade e no substrato natural, encarregam-se de manter ou de dissipar mudanças; enfim a ideia de emergência aparece como a compreensão de que a transformação interativa, complexa e auto-organizada da cidade faz surgir padrões notáveis de ordenação espacial, observáveis na sua morfologia e nas transformações das preexistências urbanas e naturais (Portugali, 1997; Johnson, 2003; Polidori, 2003).

Neste artigo, dedicado a simular crescimento urbano nas áreas urbanizadas das cidades de Cerrito e Pedro Osório, RS, Brasil, são feitos exercícios de modelagem urbana com autômatos celulares, utilizando-se o programa de computador CityCell.

3. O programa CityCell e sua possibilidade de utilização em simulações de crescimento urbano realizadas neste trabalho

Neste trabalho é utilizado o modelo de simulação de crescimento urbano originalmente elaborado por Polidori em 2005, o qual é dedicado a estudar modificações na área efetivamente urbanizada das cidades, assumindo como base espacial um ambiente com células quadradas, resolvida como um grid bidimensional de um sistema de informações geográficas – SIG, com características operacionais de um autômato celular (Batty, Couclelis e Eichen, 1997). É assumido então que entre cada par de células que possui alguma característica urbana (carregamento) desenvolve-se uma tensão, como nos modelos de Centralidade e Desempenho (Krafta, 1994), sendo essa tensão calculada através do produto do carregamento total de cada célula pelo carregamento total de cada uma das outras que lhe são alcançáveis, de modo semelhante ao que ocorre em modelos de interação espacial (WILSON, 1985; TORRENS, 2000), porém sem limitações referentes à origem e destino. Essas tensões são distribuídas de modo axial, polar e difuso, como mostra a Figura 01, adiante, sendo seu acúmulo em cada célula chamado de centralidade celular. Sequencialmente, é assumido como potencial de crescimento a diferença entre a centralidade celular máxima da vizinhança e a de cada célula, o que pode implicar em crescimento interno ou externo às células urbanas preexistentes. Desse modo, apresentam maior potencial aquelas células com menor centralidade própria, combinada com maior centralidade celular na vizinhança (Polidori, 2005).

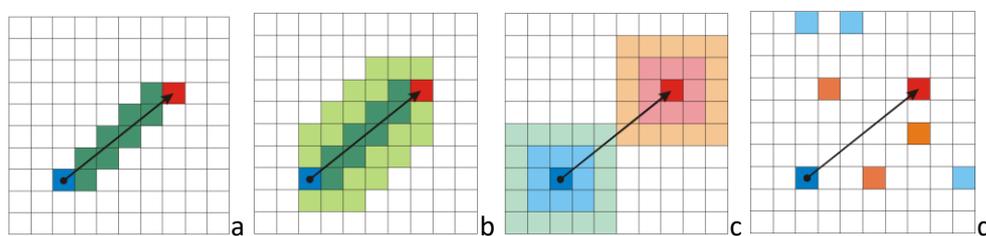


Figura 01: diagramas em formato de grids, representando: a) células incluídas na distribuição axial (verde); b) células incluídas na distribuição axial de buffer, com raio igual a uma célula (verde claro); c) células incluídas na distribuição de tensões do tipo polar, com vizinhança de raio igual a duas células (azul claro e rosa); d) hipótese de células incluídas em distribuição difusa. **Fonte:** Polidori, 2005.

Esse modelo de simulação de crescimento urbano é implementado com o uso do software CityCell (disponível em <https://wp.ufpel.edu.br/CityCell/>), desenvolvido pela equipe

do Laboratório de Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFPel. Neste trabalho, são utilizadas duas habilidades desenvolvidas no CityCell: 1ª a possibilidade de simular a existência de áreas de preservação ambiental, impedindo sua urbanização; 2ª a possibilidade de implantar novas áreas urbanizadas e testar sua capacidade de redirecionar o crescimento urbano, como aparece nos subtítulos a seguir.

4. As cidades de Cerrito e Pedro Osório, suas enchentes e o delineamento das simulações de crescimento urbano

Este trabalho tem como foco o estudo do crescimento urbano das cidades de Cerrito e Pedro Osório, que estão localizadas na metade sul do estado do Rio Grande do Sul, Brasil (31°50'23"S 52°49'11"O), em área próxima à fronteira do Brasil com o Uruguai. As duas cidades podem ser consideradas de pequeno porte, sendo que Cerrito tem 3.747 habitantes e Pedro Osório tem 7.301 habitantes, vivendo na área urbanizada (IBGE, 2012).

O povoamento da região tem início por volta de 1872 (Caldas, 1990; Bento, 2005; IBGE, 2012) e se desenvolve, simultaneamente, nas margens norte e sul do Rio Piratini, que hoje delimita a divisa entre as duas cidades. No ponto de encontro entre elas, há o desague de um afluente do Rio Piratini, o Arroio Basílio, também conhecido como Arroio Santa Maria. A jusante do trecho que atravessa as cidades de Cerrito e Pedro Osório, o Rio Piratini segue seu curso até se conectar com o canal São Gonçalo, que estabelece a ligação entre a Lagoa Mirim e a Laguna dos Patos — vasto complexo lagunar da costa sul-rio-grandense (Figura 02, a seguir).

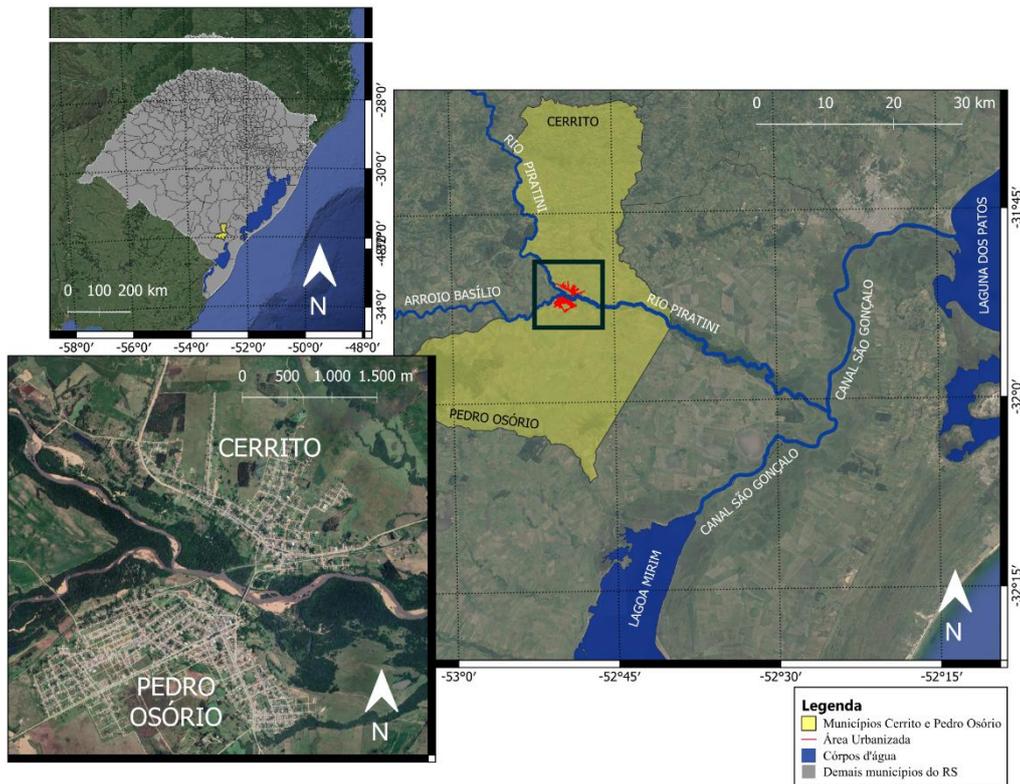


Figura 02: mapa de localização da área de estudo, as cidades de Cerrito e Pedro Osório.
Fonte: imagem de satélite da plataforma Google Earth e elementos vetoriais da base de dados do IBGE, SEMA e Fepam, em 2023.

Uma característica peculiar dessa região é que ela está localizada em uma faixa de transição topográfica, em que as altitudes se reduzem drasticamente, passando do Planalto Rebaixado Marginal para a Planície Costeira Interna (Telles, 2002), provocando modificação da dinâmica de fluxo e infiltração das águas. Além disso, a área de implantação dos dois núcleos urbanos é constituída por solo com baixíssima permeabilidade, predominantemente constituído de planossolo háplico (Cunha e Silveira, 1996). Com relação à bacia e as áreas urbanizadas, Telles destaca que no trecho em que passa pelos núcleos urbanos de Cerrito e Pedro Osório, o Rio Piratini já drenou mais de 70,0% da área total de sua bacia (Telles, 2002).

Portanto, pode-se dizer que o ponto de encontro de ambas as cidades também configura uma zona altamente suscetível a enchentes, sendo que as mais impactantes ocorreram nos anos de 1959, 1983 e 1992, sendo que nesta última, o Rio Piratini atingiu a cota de 28,62m, em Pedro Osório (Telles, 2002). Segundo as reportagens da época (RBS Documento

Especial: Pedro Osório, uma cidade arrasada, 1992), dos treze mil habitantes que residiam na cidade, dez mil foram atingidos pela enchente. Estima-se que cerca de um terço do território urbano tenha sido afetado pela inundação. Essa informação pode ser confirmada pela análise espacial da área inundável para a região. Tomando-se como base a cota de 30 metros acima do nível do mar, cerca de 27% da área urbanizada — considerando-se ambas as cidades — encontra-se em região inundável, conforme ilustrado na Figura 03. Quando analisadas individualmente, Pedro Osório conta com 30,0% de sua área urbanizada em região inundável, percentual um pouco maior que o para a cidade de Cerrito, a qual apresenta 23,0% da área urbanizada em área de risco para inundação.

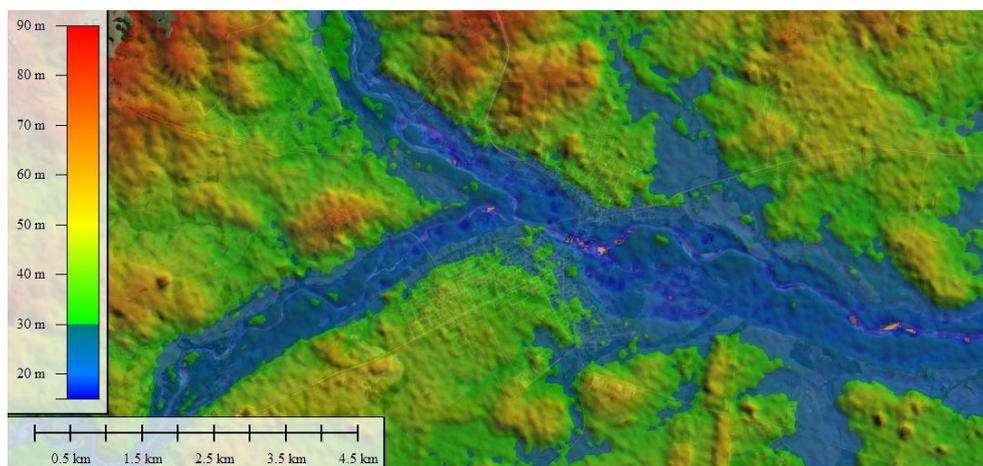


Figura 03: área de inundação à cota de 30m (em azul) e altimetria (20 à 90 m), na área de estudo. **Fonte:** base da plataforma WordImagery (Digital Globe, 2023), com superposição de altitudes da missão SRTM (obtidas em Embrapa Territorial, 2023).

Diante desse cenário, as enchentes do Rio Piratini e seu afluente, o Arroio Basílio, em relação às possibilidades de crescimento urbano, constituem a principal questão a ser tratada neste artigo, por meio dos seguintes procedimentos:

- a. legitimação do modelo de simulação de crescimento, o que é feito mediante sua calibração, buscando replicar o presente, a partir de um estado passado;
- b. uma vez calibrado o modelo, simulação de crescimento para o futuro, verificando tendências de crescimento urbano dentro ou fora da área de inundação do Rio;

- c. implementação de polos de atração fora da área de inundação, testando sua capacidade de redirecionar o crescimento urbano para áreas seguras.

5. Legitimação das simulações pelo passado, de modo a replicar o presente

Conforme a definição de Marques et al. (2021), o crescimento urbano é resultante da interação entre diversos fatores, que afetam a dinâmica urbana em diferentes graus de intensidades. Para a execução das simulações, é necessário que esses fatores sejam reconhecidos e configurados, ajustando regras e parâmetros que regem as interações entre os componentes do sistema, legitimando a aplicabilidade e os resultados do modelo, de modo a obter sua calibração. Segundo Liu (2009), a calibração é o processo de verificar se um objeto de medição está funcionando dentro de sua precisão designada, cujo objetivo é encontrar os parâmetros que afetam o sistema estudado e os mensurar, de maneira que repliquem as dinâmicas já ocorridas no sistema. Para tanto, a calibração pode ser um processo que envolve tentativas e a execução de um modelo teste para avaliar os resultados do sistema (Liu, 2009).

Neste trabalho, o processo de legitimação foi realizado a partir de imagens de satélite, partindo de uma imagem histórica, de 1985 e de uma imagem atualizada, de 2022, para simular crescimento a partir do passado até o estado presente, ajustando os fatores interagentes e os parâmetros que implicam em sua importância no sistema. (Figura 04, a seguir).



Figura 04. Imagens de satélite da área de estudo: a) em 1985; b) em 2022.
Fonte: Google Earth (Landsat/Copernicus), acessado em junho de 2023.

Sobre essas bases foi realizado o mapeamento do uso do solo na área de estudo, destacando os principais fatores a participarem das simulações: área urbanizada, rios, vias de acesso, mata nativa, mata plantada e campos (Figura 05). O mapeamento dos usos do solo está realizado sobre o grid, com células quadradas de 200m, adequadas à visualização das simulações realizadas, ao tamanho das cidades e ao tempo destinado ao processamento.

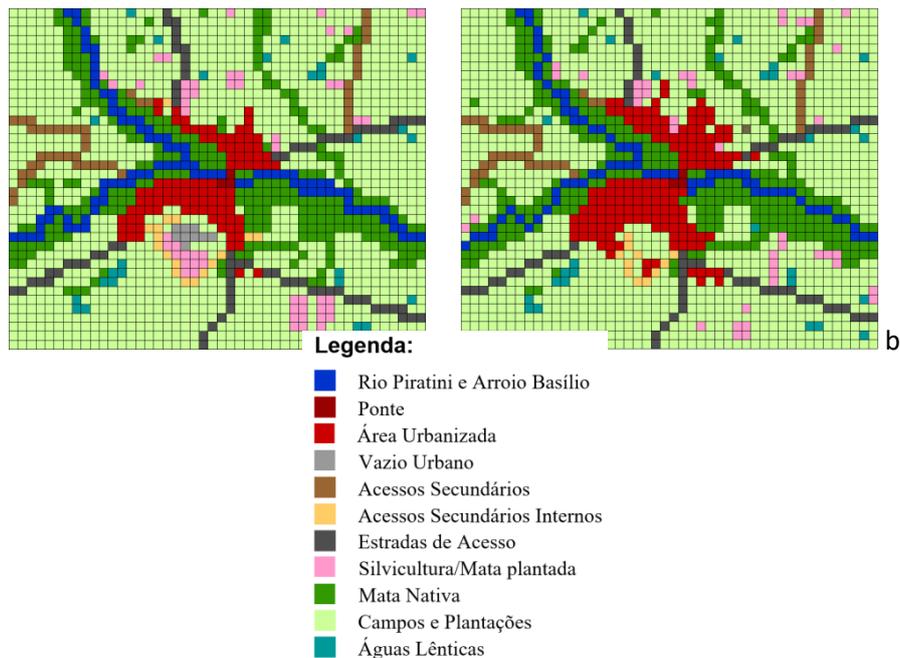


Figura 05: mapeamento do uso de solo sobre o grid de 200m, gerado no Programa CityCell, a partir de imagens de satélite da área: a) em 1985; b) em 2022. **Fonte:** executado e extraído do programa CityCell pelos autores, em 2023.

Durante a execução do mapeamento, cada atributo deve ser tipificado e configurado de acordo com o seu comportamento no contexto urbano. No programa CityCell, os comportamentos associados aos atributos podem ser de três categorias: atração, resistência ou neutra. A cada tipo de atributo está associado um comportamento específico diante das tensões espaciais ocorridas no processo de expansão urbana. Por exemplo, as áreas já urbanizadas têm tendência para atração de urbanização, já as áreas com mata nativa ou presença de água, oferecem resistência para o crescimento urbano. A partir da configuração inicial e lançamento dos atributos no sistema, são geradas as tensões espaciais gerais que simulam o crescimento urbano.

Após a etapa de mapeamento — ou lançamento dos dados — pode-se iniciar a calibração dos parâmetros da modelagem. Segundo Polidori (2005), as simulações trabalham com dois tipos de parâmetros: a) os parâmetros vinculados aos atributos, os quais buscam replicar as dinâmicas ocorridas entre os agentes do sistema e b) os parâmetros vinculados às regras de crescimento, os quais regulam os fenômenos espaciais que interferem no crescimento urbano.

Após cinco tentativas experimentais, o modelo com melhor resultado obteve 79,0% de acertos, quando comparado com a realidade em 2022, mediante taxa de crescimento média de 2,0% por iteração, correspondendo cada iteração a um ano cronológico. Os parâmetros resultantes da calibração, podem ser visualizados nas figuras 06 e 07, a seguir, mediante as telas de trabalho do CityCell.

Attribute name	Type	Behavior	Active	Weight	Threshold	Mutable	Freezing	Percolator
Vazio_urbano_1985	Environmental	Resistance	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
zonas altas	Environmental	Resistance	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
alagamento_30m	Environmental	Resistance	<input type="checkbox"/>	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
alagamento_37m	Environmental	Resistance	<input type="checkbox"/>	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Area_urbanizada_1985	Urban	Attraction	<input type="checkbox"/>	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pedro_osorio_1985	Urban	Attraction	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cerrito_1985	Urban	Attraction	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estrada_acesso_1985	Urban	Attraction	<input checked="" type="checkbox"/>	0,1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Acessos_secundarios_1985	Urban	Attraction	<input checked="" type="checkbox"/>	0,1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mata_plantada_1985	Environmental	Resistance	<input checked="" type="checkbox"/>	0,8	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mata_nativa_1985	Environmental	Resistance	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Campo_plantacao_1985	Environmental	Resistance	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aguas_lenticas_1985	Environmental	Resistance	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rio_1985	Environmental	Resistance	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Arroios_linhas de drenagem	Environmental	Resistance	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Arroios	Environmental	Resistance	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ponte	Urban	Attraction	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Area_urbanizada_2022	Urban	Attraction	<input type="checkbox"/>	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pedro_Osorio_2022	Urban	Attraction	<input type="checkbox"/>	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cerrito_2022	Urban	Attraction	<input type="checkbox"/>	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estrada_acesso_2022	Urban	Attraction	<input type="checkbox"/>	0,2	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Acessos_secundarios_2022	Urban	Attraction	<input type="checkbox"/>	0,2	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mata_nativa_2022	Environmental	Resistance	<input type="checkbox"/>	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mata_plantada_2022	Environmental	Resistance	<input type="checkbox"/>	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Campo_plantacao_2022	Environmental	Resistance	<input type="checkbox"/>	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aguas Lenticas_2022	Environmental	Resistance	<input type="checkbox"/>	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rio_2022	Environmental	Resistance	<input type="checkbox"/>	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
declividades	Urban	Neutral	<input type="checkbox"/>	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Altitudes	Environmental	Resistance	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Custom	Environmental	Resistance	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 6: fatores e parâmetros utilizados para calibração do modelo, mediante telas extraídas do CityCell. **Fonte:** executado e extraído do programa CityCell, pelos autores, em 2023.

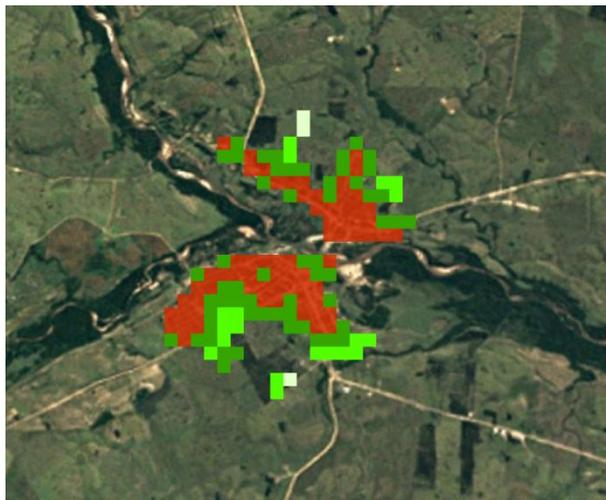


Figura 07: resultado da simulação, na iteração 37 (de 1985 até 2022), sendo que em verde escuro estão os acertos plenos, em verde médio os acertos com precisão de 200m e em verde mais claro, com mais de 200m. Em vermelho está a área urbanizada preexistente.

Fonte: executado e extraído do programa CityCell, pelos autores, em 2023.

No resultado gráfico da modelagem, observa-se que a maior parte da área coincidiu com a realidade de 2022, com menor porcentagem de acertos nas áreas periféricas da urbanização, onde aparecem loteamentos fragmentados e centrífugos às áreas preexistentes. As simulações obtiveram maior porcentagem de acertos para a área urbana de Pedro Osório, em relação ao resultado para Cerrito, sendo que o percentual final de acertos, para as duas cidades juntas, foi de 79,0%, o que pode ser considerado plenamente satisfatório, para o caso. Com o modelo calibrado desse modo, é possível simular o crescimento urbano para o futuro, bem como testar propostas de intervenção com o objetivo de modificá-lo. No caso das cidades de Cerrito e Pedro Osório, convém guiar esse crescimento para fora das áreas de risco de inundação, evitando danos ambientais e riscos para a urbanização.

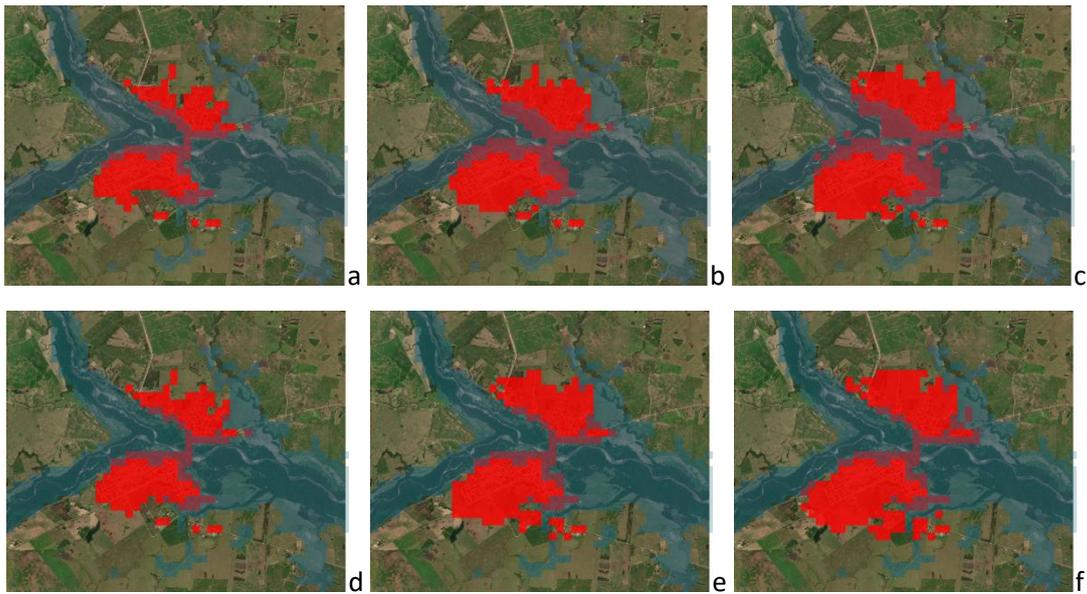
6. Simulação de futuro, preservação ambiental e áreas de inundação

A ocupação das áreas de preservação é considerada uma problemática recorrente nos dias atuais, consideradas as mudanças climáticas e a ocorrência de graves desastres ambientais nos últimos anos no Brasil. Apesar disso, a legislação que regulamenta as áreas de preservação apresenta deficiências quanto à determinação da competência das entidades

públicas para a gestão dessas áreas (Limonad e Alves, 2008), assim como as prefeituras que raramente efetivam estudos consistentes nesse assunto.

As APPs, Áreas de Preservação Permanente, estão definidas pelo Código Florestal como áreas naturais protegidas restritivamente, que têm o papel de preservar os recursos hídricos, bem como assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012). Essa definição está associada ao fato de essas áreas configurarem usualmente áreas de risco de deslizamentos ou inundações, como o caso da área em estudo neste trabalho.

Ao observar a área urbanizada das cidades de Cerrito e Pedro Osório, percebe-se que a centralidade e adensamento urbano ocorre próximo ao encontro das cidades, onde também ocorre a área de várzea do Rio Piratini, a qual configura uma Área de Proteção Permanente. Com o objetivo de verificar a relevância da preservação das APPs, foram realizadas duas simulações de crescimento urbano para as cidades estudadas (Figura 08), sendo que na primeira simulação foram observadas as dinâmicas geradas a partir da simulação calibrada, modificando apenas a restrição de ocupação nas áreas de mata nativa. Na segunda simulação, foi mantida a restrição de urbanização nas áreas de mata nativa.



Legenda:

- Área Urbanizada em zona inundável
- Área Urbanizada fora da zona inundável
- Zona inundável

Figura 08: resultado da simulação de futuro, sem e com preservação das áreas de mata nativa: a) sem preservação, 2025; b) sem preservação, 2039; c) sem preservação, 2059; d) com preservação, 2025; e) com preservação, 2039 e f) com preservação, 2059. **Fonte:** executado e extraído do programa CityCell, pelos autores, em 2023.

A Figura 08 demonstra as simulações da área urbana para os tempos de três, dezessete e trinta e sete anos, a partir de 2022 (ano base para a situação atual). Na Figura 08, a área mapeada em azul escuro é correspondente a área de inundação, considerando como base a cota de 30 m; a simulação de crescimento urbano está demonstrada em tons de vermelho, sendo o vermelho escuro a área urbanizada situada em área alagável.

Ao simular o crescimento urbano sem restringir a urbanização nas áreas de mata nativa (Figura 8, itens “a”, “b” e “c”), o resultado sugere que o crescimento urbano tende a ocupar as áreas inundáveis, com 35,0% da cidade situada em área de inundação, no ano de 2059. Em contrapartida, ao simular a preservação das áreas de mata nativa (Figura 08, itens “d”, “e” e “f”), ocorre o desvio da urbanização para fora das áreas de risco de enchentes, com a ocorrência de 19,0% da área urbanizada em zona inundável no ano de 2059.

As simulações sugerem que há uma forte atração entre as áreas urbanas das duas cidades, provocando uma tendência para ocupação das áreas de inundação do rio Piratini, com

danos para o ambiente natural e riscos para a segurança urbana. Nesse sentido, a preservação das matas nativas, especialmente as localizadas na área de várzea do rio, auxiliam para o ordenamento do crescimento urbano.

7. Simulação de futuro, polos de atração e direcionamento do crescimento urbano

A expansão do território urbano pode ocorrer devido a fatores socioeconômicos, políticos, ambientais, espaciais e tecnológicos (Alnsour, 2016). Diversos autores têm estudado os fatores que influenciam a expansão urbana, como ocorreu em Goiana, em Pernambuco, com a inserção de uma indústria automotiva. Com isso, novos empreendimentos imobiliários foram construídos, reconfigurando a expansão da cidade (Araujo et al., 2007). Na cidade de Almere, na Holanda, os planejadores urbanos direcionaram sua atenção para a implementação do conceito de "cidade-jardim", criando elementos atrativos que abrangem a vida social, a economia urbana, critérios populacionais, acessibilidade aos serviços, uma rede de transporte eficiente e a qualidade do ambiente construído. O objetivo foi promover um ambiente urbano que combine harmoniosamente aspectos naturais e urbanos, buscando proporcionar uma alta qualidade de vida para os moradores (Walaa et al., 2023).

Estes elementos, que influenciam no crescimento e desenvolvimento das cidades, podem ser considerados polos de atração, como aparecem no trabalho de Ferreira (2019), que estudou os municípios que atuam como polos de atração para a Região Nordeste do Rio Grande do Sul. A presença dos municípios de Santa Rosa, Santo Ângelo e Ijuí implica em uma (re)organização espacial significativa do território em que estão inseridos. Essas cidades desempenham funções que as caracterizam como centros polarizadores, exercendo influência sobre as áreas circundantes (Ferreira, 2019).

Diferentemente dos casos anteriores, mas na mesma lógica de atração de crescimento urbano, neste estudo foram introduzidos polos de atração intraurbanos, com o objetivo de observar seu impacto no crescimento das cidades de Cerrito e Pedro Osório, até o ano de 2059, observando sua capacidade de induzir crescimento para áreas seguras, fora das áreas de inundação do Rio Piratini. Os atributos desse experimento são os mesmos da simulação anterior, restringindo a ocupação nas áreas de mata nativa, porém adicionando um polo atrativo com o valor de peso igual a 2, ou seja, com maior influência de atração em comparação aos demais atributos, que têm peso igual a 1.

Um polo de atração foi implementado primeiramente numa cidade, depois na outra: a primeira em Cerrito, próximo à estrada RS-706, que conecta a BR-116 à BR-392; a segunda em Pedro Osório, localizado entre as estradas RS-706 e RS-704, que são as principais vias de acesso à cidade, a partir da BR-116. Essa escolha considerou a acessibilidade já existente, visando facilitar o deslocamento e a integração do novo polo com as vias de transporte importantes da região.

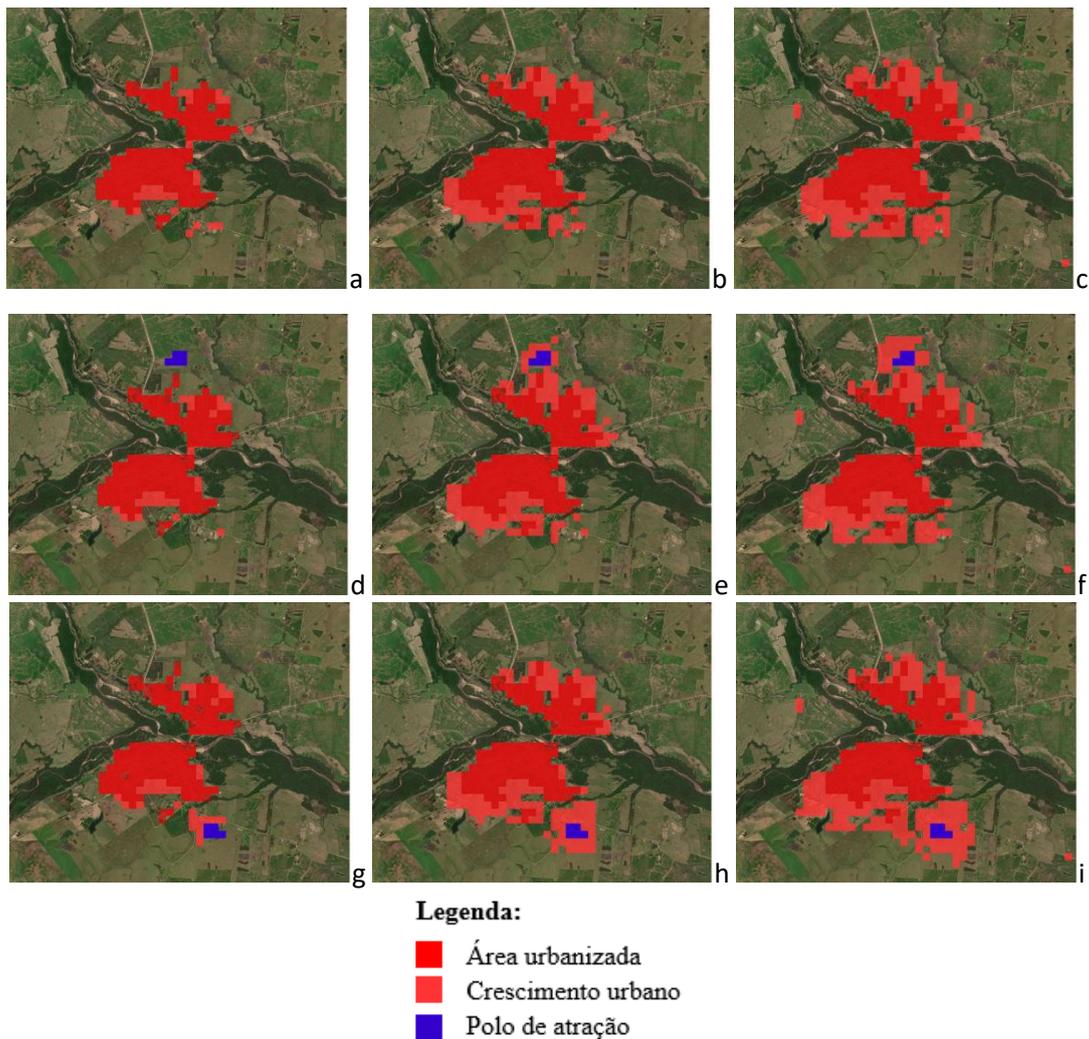


Figura 09: resultado da simulação do crescimento urbano em Cerrito e Pedro Osório: a) sem polo, 2025; b) sem polo, 2039; c) sem polo, 2059; crescimento médio de 2,0%; d) polo em Cerrito, 2025; e) polo em Cerrito, 2039; f) polo em Cerrito, 2059; crescimento médio 3,4%; g) polo em Pedro Osório, 2025; h) polo em Pedro Osório, 2039; i) polo em Pedro Osório, 2059; crescimento médio 4,3%. **Fonte:** executado e extraído do programa CityCell, pelos autores, em 2023.

Ao realizar a simulação sem o polo de atração, o crescimento médio da cidade se manteve perto de 2,0%, porém quando foi inserido o polo, o crescimento aumentou consideravelmente. O polo de atração, localizado em Cerrito, conforme apresenta a Figura 09, em “d”, “e” e “f”, teve 1,3% a mais no crescimento urbano, quando comparado ao crescimento sem polo de atração, apresentado na Figura 09, em “a”, “b” e “c”. Porém, ao comparar com o crescimento quando o polo é localizado em Pedro Osório, visto na Figura 09, em “g”, “h” e “i”, essa diferença no crescimento urbano aumenta para 2,3%. Já o desenho da área urbana ficou parecido em todas as simulações, sempre mostrando que a presença do polo de atração aumenta o crescimento urbano em seu entorno.

Foi possível observar que o polo de atração provocou mudanças mais intensas quando localizado em Pedro Osório, sendo menos impactante quando posicionado em Cerrito. Isso sugere que a presença e a localização do polo de atração podem desempenhar um papel estratégico no crescimento urbano de ambas as cidades. Assim, a implantação de um novo polo em Pedro Osório — município de maior porte — tende a acirrar as diferenças entre as duas cidades, enquanto sua instalação em Cerrito pode contribuir para equilibrar suas dimensões urbanas.

8. Conclusões

Através dos resultados com as simulações de crescimento das áreas urbanizadas das cidades de Cerrito e Pedro Osório, dedicadas às questões de preservação ambiental, ocupação sobre áreas de inundação do Rio Piratini e à capacidade de novos polos de atração de direcionarem o crescimento urbano, podem ser enunciadas as seguintes conclusões:

a) há um processo de atração entre as duas cidades, que tem implicado na ocupação urbana das margens do Rio Piratini, com localização de funções dentro da área de inundação do Rio. Esse fato se comprova através dos registros das últimas grandes enchentes do Século XX, em 1959, 1983 e 1992, onde centenas de edificações foram destruídas pelas águas. Resta saber como será continuado esse processo de urbanização, o qual pode seguir provocando a ocupação de áreas próximas do Rio, ou em áreas mais distantes, mais altas e mais seguras;

b) ao realizar o experimento com simulação de crescimento urbano das duas cidades conjuntamente, foi possível replicar no computador a situação atual, a partir de 1985,

período em que foi encontrado mapeamento consistente e que inclui pelo menos uma grande enchente, em 1992. Para esse período de 37 anos, foi alcançada uma calibragem satisfatória do modelo com autômatos celulares, mediante 79,0% de acertos, com precisão de 200m. Todavia, o modelo não foi capaz de reproduzir urbanizações fragmentadas e centrífugas às cidades, com loteamentos com formas fortemente lineares e discrepantes do restante do tecido urbano. Sendo esses casos exceções no conjunto, as simulações foram legitimadas e realizadas para cenários de futuro;

c) os exercícios de simulação tendencial para o futuro, com o modelo calibrado, mostraram a importância de preservar a vegetação ciliar e de garantir que não haja urbanização em Áreas de Preservação Permanente (APPs), como definidas pela lei federal. Os experimentos demonstraram que, sem medidas de preservação, a ocupação em áreas de inundação do Rio Piratini aumentará, acirrando os problemas e riscos acumulados historicamente. De outro modo, as simulações realizadas com a preservação das APPs, impedindo sua ocupação por urbanização, mostraram que o crescimento urbano redireciona-se para áreas mais distantes, altas e seguras. Sendo assim, pode ser assumido que a preservação ambiental e a expansão fora de áreas de inundação estão associadas, com mútuo fortalecimento;

d) no caso de simulação com novos polos de atração, foi possível observar que o efeito da implantação de um novo polo em Cerrito é menor do que em Pedro Osório. Esse resultado pode estar associado a três aspectos morfológicos principais: d.1) ao tamanho das cidades, pois Cerrito é menor e alcança menos interações de curta distância, com o novo polo; d.2) A forma urbana de Cerrito é menos compacta, desenvolvendo-se de maneira mais paralela ao Rio Piratini, o que enfraquece a concentração do potencial de novas urbanizações no entorno do novo polo de atração; d.3) o sistema viário de acesso à área previamente urbanizada potencializa o efeito de crescimento em Pedro Osório, pois essa cidade apresenta vias secantes e concêntricas em relação à cidade preexistente.

Sendo desse modo, duas assertivas principais parecem advir desse trabalho:

e) cidades à beira de rios, especialmente quando há ocupação de ambos os lados, tendem a ocupar suas áreas de inundação, com danos para o ambiente natural e riscos para a segurança urbana; essa tendência demanda ações de preservação ambiental proativas, que impeçam a urbanização de áreas de interesse ambiental, na interface com os rios;

f) polos de atração podem ajudar no redirecionamento do crescimento urbano, porém dependem de interação com outros fatores, como o tamanho das cidades, a morfologia das áreas urbanizadas e o traçado das vias de acesso, no encontro com as áreas ainda não urbanizadas.

Referências

ALBERTI, M. **Modeling the urban ecosystem: a conceptual framework**. In: Environment and Planning B – Planning and Design v. 26. London: Pion, 1999. p. 605-630.

ALMEIDA, Cláudia Maria; CÂMARA, G. MONTEIRO, A. M. **Geoinformação em urbanismo: cidade real X cidade virtual**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 368 p.

ALNSOUR, Jamal Ahmad. **Managing urban growth in the city of Amman, Jordan**. Cities, 50, 2016. p. 93-99.

ARAUJO, Cristina Pereira De; LUNA, Alexandra Oliveira. **Goiana: Cidade Das Oportunidades? A Produção Do Espaço Urbano Resultante Da Implantação Do Polo Industrial De Desenvolvimento Norte**. Oculum Ensaios 14.3, 2017. p. 577-94.

AXELROD, R. **Advancing the art of simulation in the social sciences**. International Conference on Computer Simulation and the Social Sciences. Cortona, Italy, 1997. 12 p.

BATTY, Michael. **Urban evolution on the desktop: simulation with the use of extended cellular automata**. Environment and Planning A, v. 30, 1998. p. 1943-1967.

BATTY, Michael. Urban Modeling, in N. Thrift and R. Kitchin (Editors) **International Encyclopedia of Human Geography**, Elsevier, Oxford, UK, 2009. p. 51-58.

BATTY, Michael; COUCLELIS, EICHEN, M. **Urban system as cellular automata**. Environment and Planning B: Planning and Design 24(2). London: Pion. 1997, p. 159-164.

BATTY, Michael; TORRENS, Paul M. **Modeling complexity: the limits to prediction**. London: Casa, UCL. 36 p, 2001. Disponível em: http://www.casa.ucl.ac.uk/working_papers/paper36.pdf. Acesso em: 17 de fev. 2007.

BENTO, Genes Leão. **Raízes de Nossa História**. 1. ed. Pedro Osório: Secretaria Municipal de Cultura de Pedro Osório, 2005. 232 p.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Institui o novo código florestal brasileiro. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: junho de 2023.

BURROUGH, P. A. **Geocomputation: a primer.** London: John Wiley & Sons Ltd. 1998, 30p.
CALDAS, Pedro. **Pedro Osório, sim senhor!: retrato de um município gaúcho.** 1 ed. Pelotas: Satya, 1990. 124 p.

ECHENIQUE, Marcial (Org.). **Modelos Matemáticos de La Estructura Urbana: Aplicaciones en América Latina.** Buenos Aires: SIAP, 1975. 287 p.

FERREIRA, Lenize Rodrigues. **Notas sobre a organização da rede urbana no noroeste do rio grande do sul.** Para Onde!?, v. 12 n. 1, 2019, p. 61-80.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico, 2010.** Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

JOHNSON, S. **Emergência: a vida integrada de formigas, cérebros, cidades, softwares.** Tradução de Maria C. P. Dias. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed, 2003. 231 p.

KRAFTA, Romulo. **Modelling Intraurban configurational development.** Environment and Planning B: Planning and Design, v. 21. London: Pion, 1994. p. 67-82.

LIMONAD, E; ALVES, J. **Áreas de Proteção Ambiental e Áreas de Preservação Permanente como instrumento legal de regulação urbano-ambiental?** In: Encontro Nacional da Anppas, 4. Brasília, jun. 2008.

LIU, Yan. **Modelling Urban Development with Geographical Information Systems and Cellular Automata.** Boca Raton, Florida: CRC Press (Taylor & Francis Group), 2009. 188 p.

MARQUES, Mara-Lúcia; MÜLLER-PESSÔA, Vinícius; CAMARGO, Danilo; CECAGNO, Camila. **Simulação de cenários urbanos por autômato celular para modelagem do crescimento de Campinas – SP, Brasil.** EURE, vol. 47, núm. 142, 2021 Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=19668189010>. DOI: <https://doi.org/10.7764/eure.47.142.10>.

O’SULLIVAN, D.; TORRENS, M. **Cellular models of urban systems.** London: Casa, UCL, 2000. 11 p.

POLIDORI, M. **Crescimento urbano e ambiente: um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade.** Tese (Doutorado em ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS-PPGECO, 2005. 328 p.

POLIDORI, M. **Simulação do Ambiente da Cidade.** Anais X Encontro Nacional da ANPUR. Belo Horizonte: ANPUR, 2003. 20 p.

PORTUGALI, J. **Self-organizing cities.** Futures, v. 29 nº 4/5. Great Britain: Elsevier Science, 1997. p. 353-380.

TELLES, Rossana Madruga. **Inundações urbanas nos Municípios de Pedro Osório e Cerrito.** Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 74 p.

TORRENS, Paul. **How land-use-transportation models work.** London: Casa, UCL, 2000. 75 p. Disponível em: <https://www.ucl.ac.uk/bartlett/casa/publications/2000/apr/casa-working-paper-20>. Acesso em: junho de 2023.

WALAA, Hussien; Hisham, S. Gabr; Mohamed, A. Zayed. **Examining the Influential Factors on Urban Growth and Population Attraction: A Case Study of Almere, Netherlands.** Inf. Sci. Lett. 12, No. 5, 2023. p. 1863-1875.

WILSON. A.J. **Mathematical Methods in Human Geography and Planning.** Great Britain: John Wiley & Publishers, 1985. 404 p.

Base de dados cartográficos:

CUNHA, Noel Gomes da.; SILVEIRA, Ruy José C. **Estudo dos solos do município de Pelotas.** 1:100.000. Pelotas: EMBRAPA/CPACT, Ed. UFPEL, 1996. 50 p.

DIGITAL GLOBE. **Products. 2023.** Disponível em <https://didcovermaxar.com>. Acesso em: maio de 2023.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Satélites de Monitoramento.** Campinas, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/srtm>> Acesso em junho de 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha Municipal Digital da Divisão Político-Administrativa Brasileira.** Escala 1:250.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

SEMA e FEPAM – Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura/RS e Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Röessler. **Base cartográfica do estado do rio grande do sul.** Escala 1:25.000 – BCRS25 VERSÃO 1.0 – 2018 Escala 1: 25.000. Disponível em: <http://ww2.fepam.rs.gov.br/bcrs25/2018>. Acesso: jul. 2022.

Documentos Audiovisuais:

PEDRO OSÓRIO. **Uma cidade arrasada.** RBS Documento Especial. Produção: Lize Bainy, Laura Seligman, Wilson Diniz Jr. e Valério Brito. Diretor executivo: Roberto Appel. RBS TV, 1992. 1 vídeo (42 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=mrceWdnuPGY>. Acesso em: 17 jun. 2023.

UMA ANÁLISE CRONOLÓGICA DO CENÁRIO DE POLÍTICAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO CULTURAL EDIFICADO E NORMAS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

A CHRONOLOGICAL ANALYSIS OF THE SCENARIO OF POLICIES FOR THE PRESERVATION OF BUILT CULTURAL HERITAGE AND STANDARDS FOR ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS

Mariana Estima Silva¹
estimasilva.m@gmail.com

Sidney Gonçalves Vieira²
sid.geo@gmail.com

Resumo: Normas e recomendações de preservação têm a função principal de proteger o patrimônio cultural edificado, garantindo e indicando melhores caminhos para sua conservação. Para isso, pensar nos usuários é essencial, disponibilizando usos com os quais eles se identifiquem. Mas além disso, é preciso oferecer funcionalidade e condições de conforto ambiental, com a atualização dos sistemas prediais, ajudando a garantir economia de energia e de recursos naturais, frente às mudanças climáticas.

¹ Possui graduação (FAURB) e mestrado (PROGRAU) em Arquitetura e Urbanismo, nos anos de 2014 e 2017, respectivamente. Doutoranda em Memória Social e Patrimônio Cultural (UFPEL), com trabalho sobre as dinâmicas de transformação de prédios comerciais inventariados, abordando os temas do centro, comércio e memória. Já atuou como professora substituta no IF-Sul, nos cursos técnicos de Edificações e Design de Interiores e bacharelado em Design, e na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFPel. Arquiteta da Prefeitura Municipal de Pelotas, desde 2021, na Secretaria Municipal de Urbanismo.

² Pós-Doutor pelo Departamento de Geografia da Universidade de Barcelona, Espanha (CAPES/FUNDACIÓN CAROLINA), 2011. Doutor em Geografia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus Rio Claro, SP, com estágio no Departamento de Geografia da Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa (2003). Mestre em Planejamento Urbano e Regional, PROPUR, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1997). Especialista em Ciências Sociais - Sociologia, Universidade Federal de Pelotas (1988). Licenciado em Geografia, Universidade Federal de Pelotas (1986). Bacharel em Direito, Universidade Federal de Pelotas (1986). Licenciado em Estudos Sociais (1984). Atualmente é professor Titular do Departamento de Geografia do Instituto de Ciências Humanas e Docente Permanente nos Programas de Pós-Graduação Stricto Sensu em Geografia (Curso de Mestrado), e em Memória Social e Patrimônio Cultural (Cursos de Mestrado e Doutorado), da Universidade Federal de Pelotas. Coordenador do Laboratório de Estudos Urbanos e Regionais (Leur/ICH/UFPEL).

Dessa forma, processos de *retrofit*, ou *retrofitting*, em edificações históricas são uma alternativa de preservação. O objetivo deste artigo foi traçar um cenário da criação de normas e recomendações de proteção do patrimônio cultural edificado em relação a normas e regulamentações referentes a eficiência energética em edificações, a fim de identificar se os temas são considerados entre si. Para isso, realizou-se uma revisão bibliográfica, traçando cronologicamente o surgimento de tais publicações no cenário europeu e brasileiro. Foi possível perceber que publicações, relacionadas à eficiência energética, tiveram ênfase no momento em que as normas e recomendações relacionadas ao patrimônio já estavam consolidadas. Apenas nos anos 2000, o tema da eficiência energética passou a fundir-se com o das edificações pertencentes ao patrimônio cultural. Ainda assim, são cenários distantes da realidade brasileira.

Palavras-chave: Preservação; Mudanças Climáticas; Patrimônio Cultural Edificado; Eficiência Energética; *Retrofitting*.

Abstract: Preservation norms and recommendations have the main function of protecting the built cultural heritage, guaranteeing and indicating the best conservation alternatives. For this, it is necessary to ensure that users identify with the uses. It is also necessary to offer functionality and conditions of environmental comfort, to ensure savings in energy and natural resources, mainly due to climate change. In this way, retrofitting processes in historic buildings are a preservation alternative. The objective of this article was to outline a scenario for the creation of norms and recommendations for the protection of built cultural heritage in relation to norms and regulations regarding the energy efficiency of buildings, in order to identify whether the themes are considered among themselves. For this, a bibliographic review was carried out, chronologically tracing the emergence of such publications in the European and Brazilian scenario. It was possible to perceive that the creation of normative publications related to energy efficiency were emphasized at a time when the norms and recommendations related to heritage were already consolidated. Only in the 2000s did the topic of energy efficiency merge with that of buildings belonging to cultural heritage. Even so, these scenarios are far from the Brazilian reality.

WordKeys: Preservation; Buil Cultural Heritage; Energy Efficiency; Retrofitting.

Introdução

Trabalhar sobre o tema da sustentabilidade é, cada vez mais, uma questão multidisciplinar, que deve ser tratada em conjunto por diferentes profissionais, sempre incluindo a sociedade nos processos. Sabe-se que os impactos causados pelas cidades são extremamente prejudiciais ao meio ambiente e, para tanto, é preciso encontrar alternativas de diminuí-los, já que a garantia de manutenção da existência urbana em nosso planeta está totalmente vinculada à preservação do meio ambiente, conforme Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental de Alterações Climáticas (IPCC, 2014). Sendo assim, conhecer e entender aspectos de eficiência energética torna-se essencial para contribuição na diminuição de impactos do espaço construído no meio ambiente.

A eficiência energética pode ser definida como a obtenção de um serviço com pouco consumo de energia, conceito que surgiu a partir da década de 1970, após a crise mundial do petróleo. De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA, 2021), a demanda energética

global deve aumentar em 4,6% após o período de pandemia, ocasião em que esse crescimento ficou estagnado. A energia elétrica poderá apresentar um aumento em sua demanda de quase cinco vezes o declínio observado no ano de 2020. Ainda assim, a participação das energias renováveis na geração de eletricidade mundial deve crescer para quase 30%, o melhor cenário desde a Revolução Industrial (IEA, 2021; Lamberts *et al.*, 2004).

Diversas são as alternativas para tornar mais eficientes as novas edificações, entretanto, edificações pré-existentes precisam ser incluídas nesse processo. Prédios novos apresentam vantagens econômicas em relação aos antigos, vantagem essa que aumenta com o passar do tempo, devido a custos de manutenção frente às normas obrigatórias de conservação (Benhamou, 2016). É preciso então criar estratégias que elevem as vantagens econômicas dos prédios históricos, como por exemplo, diminuindo seu consumo energético.

A preservação de prédios históricos, garantindo que continuem em uso, é uma dessas alternativas. Dar continuidade à história desses monumentos contribui não só com a valorização da cultura da sociedade, mas também com a diminuição dos impactos causados ao ambiente. Utilizando um prédio histórico ao invés de demoli-lo, ou simplesmente deixá-lo alcançar o estado de ruína, deixa-se de produzir uma quantidade significativa de resíduos, além de diminuir também a utilização de recursos naturais com a construção de novos prédios (Munarim, 2014). Trata-se, portanto, de uma escolha sustentável e que enriquece o espaço urbano.

Entretanto, são conhecidas as dificuldades de adaptação desses prédios às novas formas de utilização, já que existem diferentes equipamentos e modos de ocupa-los, além de normas de preservação para que não sejam descaracterizados. Do mesmo modo, para que compense a sua utilização em relação a uma nova construção, falando também em questões econômicas, é preciso que o prédio ainda apresente valor de mercado e boas condições de uso a seus ocupantes (López; Frontini, 2014). Estudos sobre intervenções no patrimônio são publicados desde o século XIX, com as primeiras teorias do restauro. Entretanto, ainda hoje, é possível encontrar dificuldades de intervir no patrimônio cultural edificado de forma que garanta sua preservação e, ao mesmo tempo, busque melhorar sua eficiência energética.

O *retrofit*, ou *retrofitting*, é uma medida associada à incorporação de tecnologias em edificações, para que estas se adequem às novas necessidades dos usuários, garantindo maior conforto e eficiência no desempenho das tarefas, concomitantemente com obras de reforma

ou restauro. Pode ser definido como o processo de substituição de componente e sistemas de uma edificação por outros que não existiam no momento de sua construção (Ashworth, 1998, *apud* Douglas, 2006). Este processo não ocorre, necessariamente em prédios históricos, pois trata-se de uma renovação no desempenho da edificação. Entretanto, é uma alternativa de conservação que passou a ser utilizada a partir da década de 1990, nos Estados Unidos e na Europa, onde visava manter a utilização de bens imóveis preservados, com melhor qualidade de funcionamento para os usuários e garantia de sua manutenção (Guimarães, 2017).

Pode-se dizer que o *retrofit* contribui com o meio ambiente, já que permite melhorar a eficiência energética de construções antigas devido a implantação de sistemas que consomem menos energia elétrica. Além disso, o comportamento dos ocupantes, após processos de *retrofit*, acaba por ser aperfeiçoado também, contribuindo para a diminuição do consumo de energia de uso e operação (Lidelow *et al.*, 2019). Esse processo também tende a contribuir com o desenvolvimento local sustentável de uma comunidade, visto que os usuários se identificam com seu patrimônio cultural, um importante alavancador para o desenvolvimento (Varine, 2013).

Entretanto, a problematização do novo e do preexistente no espaço urbano ainda causa embates. Existe um limite tênue entre as opiniões que surgem tanto a partir do ato de preservar o patrimônio edificado, quanto da decisão de destruí-lo. Enquanto, por um lado, a decisão de preservar intacto pela simbologia de um passado perfeito, que pertence apenas ao imaginário de determinado grupo social, está equivocada. Por outro lado, a decisão contrária, com justificativa no desenvolvimento econômico, baseia-se na construção de um futuro sem valorizar o passado. “A economia do patrimônio encontra-se dividida entre as opções dos conservadores (manter, preservar, facilitar o acesso) e os projetos dos desenvolvimentistas (modernizar, transformar, valorizar)” (Benhamou, 2016). Após longos anos de estudos e teorias, volta-se à questão inicial: a preservação versus a atualização.

No intuito de tentar intermediar essas questões, existem as políticas de preservação, na forma de normas, regulamentações e recomendações. Esses materiais possuem a função principal de proteger o patrimônio cultural edificado, garantindo sua preservação e indicando melhores caminhos para sua conservação. Para a diminuição do consumo de energia e dos impactos sobre o meio ambiente, existem as políticas públicas, normas e regulamentações de economia de consumo energético, que discorrem sobre maneiras de se construir e operar o

edifício de forma mais eficiente. Essas publicações que tratam de preservação do patrimônio cultural edificado estão considerando premissas de eficiência energética em suas recomendações? E as normas de eficiência energética, estão considerando as peculiaridades de prédio históricos protegidos em suas regulamentações?

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi traçar um cenário da evolução das políticas públicas, normas e recomendações de proteção do patrimônio cultural edificado em relação a políticas públicas, normas e recomendações referentes à eficiência energética de edificações, a fim de identificar se os temas são considerados entre si.

Metodologia

Este trabalho é um recorte de uma pesquisa de doutorado, sendo a primeira de três etapas da metodologia investigativa de trabalho.

Buscando contextualizar os temas de preservação do patrimônio cultural edificado com de eficiência energética em edificações, realizou-se uma revisão bibliográfica das principais publicações dos temas, no âmbito de normas, recomendações e regulamentações. Após a revisão, foi realizada uma caracterização cronológica de tais publicações, a fim de compreender o cenário de interação entre elas.

Foram realizadas pesquisas no contexto internacional, e principalmente europeu, por encontrar-se a frente em estudos e publicações sobre eficiência energética em edificações históricas, e brasileiro, por ser o país de origem deste trabalho.

Resultados

Como forma de apresentar os resultados, optou-se pela elaboração de tabelas. Desse modo, é possível visualizar de maneira mais clara o caminho de desenvolvimento das publicações e, ainda, comparar os dois temas pesquisados. Vale salientar que o enfoque deste estudo são as edificações, portanto, as publicações consideradas são aquelas que tratam desse aspecto tanto em relação à preservação, quanto em relação à eficiência.

A Tabela 1 mostra as publicações relativas à preservação do patrimônio cultural edificado, listadas por sua data de criação.

Tabela 1 – Políticas públicas de preservação do patrimônio cultural edificado.

Publicação	Ano	Cenário	Teor
Carta de Atenas	1931 e 1933	Mundial	Recomenda manter edificações em uso, desde que condizente com suas características.
Lei do Tombamento (Decreto Lei 25/1937)	1937	Brasil	Primeiro instrumento legal para proteção do patrimônio cultural brasileiro.
Lei 378/1937	1937	Brasil	Criação do atual IPHAN, responsável por proteger e promover os bens culturais do país, garantindo sua permanência.
Recomendação de Paris	1962	Mundial	Ainda aborda patrimônio cultural edificado como algo excepcional e monumental.
Carta de Veneza	1964	Mundial	Traz a significação cultural ao patrimônio cultural edificado, considerando a história e o meio onde se encontra.
Normas de Quito	1967	Países americanos	Começam as discussões acerca do valor econômico do patrimônio cultural e sua função de “alavancar” o desenvolvimento.
Recomendação de Paris	1968	Mundial	Define edificações como “patrimônio cultural imóvel”, retirando a necessidade de valor de antiguidade para sua proteção
Convenção do Patrimônio Mundial - UNESCO	1972	Mundial	Criação da Lista do Patrimônio Mundial. Consolidação dos termos de “reabilitação” e “revitalização” para intervenções.
Decreto 80.978/1977	1977	Brasil	Estabelece as definições criadas na Convenção da UNESCO como parâmetros legais na preservação do patrimônio cultural brasileiro.
Carta de Washington	1987	Mundial	Traz a importância da proteção de cidades históricas em relação às mudanças climáticas
Constituição Federal	1988	Brasil	Distribui a responsabilidade de proteção do patrimônio cultural aos Estados e Municípios. Obrigatoriedade de Planos Diretores em cidades com mais de 20.000 habitantes. Estabelece o “registro”, “inventário” e “tombamento” como meios de proteção do patrimônio cultural.
Declaração do Rio	1992	Mundial	Insere a importância do tema de proteção do meio ambiente.
Declaração de Sofia	1996	Mundial	Traz a importância do patrimônio cultural para o desenvolvimento sustentável.
Princípios de la Valleta	2011	Mundial	Consolida questões de mudanças climáticas e meio ambiente e ainda insere o termo “eficiência energética” no

			patrimônio cultural edificado.
Relatório “The future of our pasts”	2019	Mundial	Apresenta abordagem multidisciplinar do patrimônio cultural, ativistas climáticos e formuladores de políticas, atualizando as práticas patrimoniais.

Fontes: Benhamou, 2016; IPHAN, 2022; Icomos, 2022.

As teorias do restauro, criadas e debatidas no século XIX e início do século XX, deram origem à primeira Carta Patrimonial, na década de 1930, com recomendações de preservação do patrimônio cultural. Dentre as principais premissas, estava a de se manter em uso as edificações, para garantir uma melhor conservação. Na década de 1960, os aspectos econômicos do patrimônio cultural edificado passaram a ser considerados nos pressupostos de preservação, que até então, não consideravam esse aspecto. Na década de 1970, reabilitação e revitalização tornaram-se termos consolidados no cenário das políticas de preservação do patrimônio (Benhamou, 2016; Icomos, 2022).

Já na década de 1980, as recomendações para preservação do patrimônio cultural começaram a considerar os aspectos de mudanças climáticas. Sendo que, na década de 1990, estavam consolidadas os fundamentos de sustentabilidade e preocupações ambientais nas recomendações mundiais ligadas à preservação do patrimônio cultural edificado. Os anos 2000 trouxeram o tema da eficiência energética e de novas práticas patrimoniais com vistas às mudanças climáticas de maneira mais concreta às recomendações de preservação do patrimônio cultural edificado (Benhamou, 2016; Icomos, 2022).

No contexto brasileiro, o ano de 1937 marcou o início das legislações para proteção do patrimônio cultural nacional, com a publicação do Decreto Lei 25/1937, conhecido como a Lei do Tombamento, dando origem também ao órgão responsável pela salvaguarda do patrimônio nacional. Ainda assim, ao final da década de 1970 que foram estabelecidos mais parâmetros legais, baseados nos postulados mundiais existentes na época. A Constituição Federal de 1988 atribuiu aos poderes públicos municipais a tarefa de vigilância do patrimônio cultural edificado, dando início a diretrizes urbanas e políticas públicas voltadas a sua proteção (IPHAN, 2022).

A Tabela 2 descreve as políticas públicas de eficiência energética em edificações.

Tabela 2 – Políticas públicas de eficiência energética em edificações

Publicação	Ano	Cenário	Teor
Conferência Mundial sobre o Clima - Toronto	1988	Mundial	Criou um debate sobre o uso eficiente de fontes de energia, principalmente em razão do alto impacto causado na queima de combustíveis fósseis.
Passiv Hauss	Década 1990	Europeu	Certificação de edificações em geral, através de método passivo, para aumentar o desempenho e diminuir o consumo energético.
Lei 10.295/2001	2001	Brasil	Origem do Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações, ELETROBRAS/ PROCEL e INMETRO. A partir de então, surgem os regulamentos de avaliação da eficiência energética em edificações: RTQ-C, RTQ-R, RAC.
Procel Edifica	2003	Brasil	Criação do Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações, com incentivo ao uso eficiente e conservação dos recursos naturais.
Diretiva 2010/31/UE	2010	União Europeia	Cria método de projeto de edificação com alto desempenho energético e consumo próximo a zero.
EnerPhit Standard	2010	Mundial	Certificação que se destina a modernização de edifícios pré-existentes com base nos conceitos de Passive House.
Diretiva 2012/27/UE	2012	União Europeia	Estabelece que 3% dos edifícios públicos e pré-existentes sejam renovados com critérios de eficiência energética anualmente.
BS 7913:2013	2013	Grã-Bretanha	Norma que orienta na melhoria da eficiência energética de edificações históricas, através do emprego de materiais e técnicas específicos.
Instrução Normativa nº2	2014	Brasil	Exigência para edificações públicas federais – novas ou pré-existentes – atingirem nível de eficiência energética A, segundo RTQ-C.
Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima	2015	Mundial	Acordo mundial, durante COP21, com objetivo de fortalecer medidas de resiliência das cidades frente às mudanças climáticas.
EM 16883:2017	2017	Europa	Estabelece diretrizes para melhorar o

			desempenho energético de edifícios históricos de valor arquitetônico e cultural.
Diretiva 2018/844/UE	2018	União Europeia	Incentiva a introdução de sistemas eficientes e sustentáveis em edificações pré-existentes. Torna obrigatório o uso de equipamentos autorreguladores para iluminação, climatização em todas as edificações.
INI-C (Portaria 248/2018)	2018	Brasil	Aperfeiçoamento do RTQ-C, para determinar consumo energético dos sistemas prediais, classificando as edificações em cinco níveis.

Fontes: PBE EDIFICA, 2020; Purcel, 2018; Usher, 2018.

No contexto mundial, a preocupação com a eficiência energética iniciou nas décadas de 1970 e 1980, após a crise mundial do petróleo. Ao final da década de 1980, a discussão sobre o uso eficiente de fontes de energia foi pauta na Conferência Mundial sobre o Clima, em Toronto, no Canadá. Questões relacionadas ao consumo de energia em edificações começaram a ser estudadas na década de 1990, a partir da certificação alemã Passivhaus, que propõe métodos passivos de condicionamento do microclima interno, com redução do consumo energético. Ainda assim, pouco se produziu, nesse período, em termos de práticas voltadas à melhoria da eficiência energética em edificações (Passivhaus Institut, 2016; Usher, 2018).

Somente com o aumento dos custos para geração de energia elétrica na Europa, no início dos anos 2000, as publicações relacionadas com o tema da eficiência energética em edificações aceleraram. Esse período coincidiu com as primeiras legislações relacionadas à eficiência energética no Brasil, que também sofria com a crise energética, fase que ficou conhecida como “época dos apagões” (PBE Edifica, 2020).

Até o ano de 2010, foram publicadas normas e regulamentações, no contexto mundial, para projeto de novas edificações, visando baixo consumo energético e melhor desempenho possível. Nos anos seguintes, a preocupação com edificações já existentes, em relação ao seu consumo e desempenho, deu origem a certificações específicas relacionadas ao método da *Passiv Hauss*, bem como legislações europeias que indicam a necessidade de melhorar essas condições no espaço já construído. Além disso, no cenário europeu, regulamentações para atualização de desempenho energético com ênfase em edificações

históricas foram publicadas. Bem como foram criadas políticas públicas para incentivar essas práticas (Passivhaus Institut, 2016; Purcel, 2018).

No Brasil, apesar da atualização de regulamentações e normas de eficiência energética em edificações, não existe ênfase em edificações históricas. A publicação da Instrução Normativa nº 2/2014, estabelece a obrigatoriedade de emissão de Etiqueta Nacional de Conservação de Energia em novos prédios públicos federais, ou que passem por processo de *retrofit*. Ainda assim, não há questões específicas relacionadas ao patrimônio cultural edificado (PBE Edifica, 2020).

Após expor cronologicamente as publicações acima, é possível dizer que, a partir da década de 1930 o tema do patrimônio cultural é tratado como política pública no cenário brasileiro. Este já era um tema de ordem mundial, sendo a principal publicação a Carta de Atenas, em 1931. Em relação às publicações sobre eficiência energética, os primeiros debates no contexto mundial, surgiram ao final da década de 1980, mas só iniciaram na prática no início dos anos 2000, tanto no cenário mundial quanto brasileiro. Sendo assim, o Brasil não esteve muito atrás de ambas as questões quando comparado ao cenário mundial. Ainda assim, publicações, tanto políticas públicas, quanto normas e regulamentações para melhoria do desempenho energético de prédios históricos, já são realidade em outros países da Europa. No Brasil, essas premissas não são tratadas de maneira prática, com publicações específicas.

Em relação à análise acerca da sobreposição de temas em publicações, é possível dizer que as recomendações voltadas à preservação do patrimônio cultural edificado já abordavam o tema das mudanças climáticas e, até mesmo, eficiência energética, desde as décadas de 1980 e 1990. Ainda que de forma prática, ficassem apenas no campo das recomendações. As normas, regulamentações e políticas públicas para a eficiência energética voltada aos prédios históricos só surgiram na década de 2010, em cenário internacional e, aí sim, pode-se dizer que de forma mais efetiva, com medidas concretas para implantação de *retrofit*, por exemplo. No Brasil, conforme já mencionado, essa abordagem multidisciplinar ainda é inexistente em suas políticas públicas, normas e regulamentações.

É possível associar o crescimento de publicações a respeito da eficiência energética no patrimônio construído com o Acordo de Paris, no ano de 2015 e com a Agenda de 2030, criada no mesmo ano. Nesse acordo, os países signatários, dentre eles o Brasil, comprometeram-se para a criação de políticas públicas capazes de criar cidades resilientes

frente às mudanças climáticas. O Brasil comprometeu-se a reduzir em 37% a emissão de gases de efeito estufa até o ano de 2025, e 43% até 2030 (MCTIC, 2017). Além do Acordo de Paris, a Agenda 2030, elaborada na Assembleia Geral das Nações Unidas, estabeleceu 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável dos países signatários, incluindo o Brasil. Nesse plano, as ações não se limitam a questões climáticas, mas também para promover o combate à miséria, fome e comunidades mais pacíficas (ONU, 2015).

Dentre os 17 objetivos da Agenda 2030, estão o de “Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos”, que está associado ao tema da eficiência energética e utilização de fontes renováveis de energia, diminuindo o consumo energético de edificações, por exemplo. Outro objetivo da Agenda 2030 é o de “Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos”, considerando também os problemas com mudanças climáticas debatidas na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, do Acordo de Paris (ONU, 2015).

Portanto, é possível dizer que as mudanças climáticas já são consideradas há muitos anos nas publicações de preservação do patrimônio cultural edificado, buscando alternativas para que este patrimônio resista aos impactos dessas alterações. Essas mesmas mudanças climáticas, associadas a crises em combustíveis e geração de energia, alavancou a criação de publicações sobre a eficiência energética em edificações. Ambas, após 2015, com os acordos globais, sendo tratadas de forma conjunta, por meio de trabalhos multidisciplinares. Entretanto, o Brasil ainda precisa desenvolver essa interação dos temas em suas normas, regulamentações, recomendações e políticas públicas em geral.

Considerações finais

Pôde-se perceber que a criação de publicações relacionadas à eficiência energética em edificações ganhou destaque no momento em que as publicações voltadas ao patrimônio passaram a mencionar, em suas premissas, temas como mudanças climáticas, sustentabilidade e meio ambiente. Isso porque estas despontavam como uma preocupação crescente no cenário mundial à época. A temática da sustentabilidade e seus desdobramentos foram considerados anteriormente por publicações voltadas à preservação do patrimônio. Algumas décadas depois, a partir de 2010, o tema do patrimônio cultural passou a ser incorporado às regulamentações de eficiência energética.

Fica claro, portanto, que o *retrofit* no patrimônio cultural edificado, é uma alternativa viável para ajudar na redução de emissão de gases de efeito estufa, na criação de cidades mais resilientes, já que comunidades se identificam com seu patrimônio para desenvolver, e na diminuição de impactos ambientais causados pelo setor da construção civil. Prova disso são os países europeus, que já adotam esse tipo de iniciativa, especialmente após os acordos internacionais firmados em 2015. Portanto, ainda resta ao Brasil criar normas, regulamentações e recomendações que determinem, na prática, como tornar seu patrimônio cultural edificado mais eficiente energeticamente.

Concluiu-se, por fim, que o tema do *retrofit* em edificações históricas, com a melhoria de desempenho energético, já é realidade no contexto mundial. A Europa possui normas e políticas públicas de incentivo à implantação de métodos de melhorar a eficiência energética, até mesmo com a implantação de energias renováveis nestas construções. No cenário brasileiro, edificações históricas ainda não são consideradas com suas especificidades nas normas de eficiência energética. Isso demonstra a necessidade de estudos nessa área, principalmente das regulamentações para eficiência energética em edificações, de forma a promover uma melhoria neste setor. Como base para isso, está o estudo dessas publicações internacionais e o que se pode aprender com suas elaborações e implantações.

Referências

BENHAMOU, F. **A economia do patrimônio cultural**. São Paulo: Edições SESC, 144 p., 2016.

GUIMARÃES, M.E. **Uma análise para retrofit de envoltória tombada visando a eficiência energética do aeroporto Santos Dumont – Rio de Janeiro**. 2017. 143 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

ICOMOS – CONSELHO INTERNACIONAL DE MONUMENTOS E SÍTIOS. **Icomos Brasil**. Online. 2022. Disponível: <icomos.org/en>. Acesso: 08 mai. 2023.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Energy Review 2021: Assessing the effects of economic recoveries on global energy demand and CO2 emissions in 2021**. França: IEA, 2021.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGES. **Climate change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Cambridge University Press, Cambridge, 2014.

IPHAN – INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL. Online. 2022. **Cartas Patrimoniais**. Disponível <<http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/226>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: ProLivros, 2004.

LÓPEZ, C.S.P.; FRONTINI, F. Energy efficiency and renewable solar energy integration in heritage historic buildings. **Energy Procedia**, n. 48, pp. 1493-1502, 2014.

LIDELOW, S.; ÖRN, T.; LUCIANI, A.; RIZZO, A. Enenergy-efficiency measures for heritage buildings: A literature review. **Sustainable Cities and Society**, n. 45, pp. 231-242, 2019.

LÓPEZ, C.S.P.; FRONTINI, F. Energy efficiency and renewable solar energy integration in heritage historic buildings. **Energy Procedia**, n 48, p. 1493-1502, 2014.

MCTIC – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. Online. **Acordo de Paris**. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/arquivos/pdf/acordo_paris.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2023.

MUNARIM, U. **Benefícios ambientais da preservação do patrimônio edificado**: análise do ciclo de vida de reabilitação de edificações vs. nova construção. 2014. 290 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Online. 2015. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

PASSIVHAUS INSTITUT. **Kriterien für den Passivhaus – EnerPhit – und PHI – Energiesparhaus-Standard**. Darmstadt, Alemanha, 28f., 2016.

PBE EDIFICA. **Sobre o PBE Edifica**. Online. 2020. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/sobre>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

PURCELL, Caroline Engel. **Deep Energy Renovation of Traditional Buildings**: Addressing Knowledge Gaps and Skills Training in Ireland. Irlanda: The Heritage Council, 2008.

SILVA, V.R.F. **Patrimônio, memória e mercadoria**: uma reconstrução arquitetônica em Outro Preto, Minas Gerais. 2011. 181f. Dissertação (Mestrado em Memória Social e Patrimônio Cultural) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.

USHER, Peter. **World Conference on the Changing Atmosphere: Implications for Global Security**. Online. 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/233447577_World_Conference_on_the_Changing_Atmosphere_Implications_for_Global_Security>.

VARINE, H. **As raízes do futuro**: o patrimônio a serviço do desenvolvimento local. Tradução: Maria de Lourdes Parreiras Horta. 1ª Reimpressão - Porto Alegre: Medianiz, 2013.