

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGEC**

**BRENDA REICHARDT BAECHTOLD**

**DESEMPENHO DE PAINÉIS DE FECHAMENTO PARA CONSTRUÇÃO CIVIL  
FABRICADOS COM RESÍDUOS INDUSTRIALIS POLIMÉRICOS**

**JOINVILLE  
2025**

**BRENDA REICHARDT BAECHTOLD**

**DESEMPENHO DE PAINÉIS DE FECHAMENTO PARA CONSTRUÇÃO CIVIL  
FABRICADOS COM RESÍDUOS INDUSTRIAIS POLIMÉRICOS**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Ciências Tecnológicas - CCT, da Universidade do Estado de Santa Catarina – Udesc.

Orientadora: Profa. Dra. Carmeane Effting

Coorientadora: Profa. Dra. Fernanda Perazzolo Disconzi

**JOINVILLE**

**2025**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da  
Biblioteca Universitária Udesc,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Baechtold, Brenda Reichardt  
Desempenho de painéis de fechamento para construção civil fabricados com resíduos industriais poliméricos / Brenda Reichardt Baechtold. -- 2025.  
99 p.

Orientadora: Carmeane Effting  
Coorientadora: Fernanda Perazzolo Disconzi  
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Joinville, 2025.

1. Construção alternativa. 2. Resíduos poliméricos. 3. Simulações numéricas. 4. Desempenho. 5. Sustentabilidade.  
I. Effting, Carmeane. II. Disconzi, Fernanda Perazzolo . III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

**BRENDA REICHARDT BAECHTOLD**

**DESEMPENHO DE RESÍDUOS INDUSTRIAS POLIMÉRICOS NA FABRICAÇÃO  
DE PAINÉIS DE FECHAMENTO PARA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação apresentada como requisito  
para obtenção do título de mestre em  
Engenharia Civil pelo Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Civil do Centro  
de Ciências Tecnológicas - CCT, da  
Universidade do Estado de Santa Catarina  
– Udesc.

Orientadora: Profa. Dra. Carmeane Effting  
Coorientadora: Profa. Dra. Fernanda  
Perazzolo Disconzi

**BANCA EXAMINADORA**

Membros:

Prof. Dr. Americo Hiroyuki Hara

UDESC

Prof. Dr. Adriano Michael Bernardin

UNESC

Joinville, 31 de julho de 2025.

## RESUMO

O uso de resíduos em materiais para construção civil é uma alternativa viável para diminuir o impacto causado pelo setor. A utilização de painéis de resíduos industriais poliméricos contribui para uma destinação adequada dos materiais e diminuição da necessidade de extração de novas matérias primas. Para analisar a viabilidade dos painéis foram realizados ensaios para verificação de critérios de desempenho mecânicos, térmicos, acústicos, de durabilidade e de segurança ao fogo, simulações para análise de desempenho térmico e medições e análises *in loco* em edificações construídas com os painéis de resíduos poliméricos. Os painéis de resíduos industriais poliméricos demonstraram desempenho mecânico, térmico e acústico satisfatório para aplicação em edificações. Nos testes mecânicos, alcançaram desempenho necessário para uso em edificações segundo a ABNT NBR 15575. As propriedades térmicas foram adequadas para habitações unifamiliares de interesse social, com condutividade térmica média de 0,1103 W/mK. No desempenho acústico, os painéis apresentaram diferença de nível padronizada ponderada de 27 dB *in loco* e perda de transmissão obtida em laboratório variando entre 12 e 41dB. Os ensaios de calor e choque térmico não mostraram falhas, confirmando a durabilidade do material. Quanto à reação ao fogo, os painéis foram classificados como Classe II-A (NBR 16626), sendo adequados para diversos tipos de edificações. Além disso, mostraram-se versáteis ao serem aplicados em estruturas de concreto armado, metálicas e de madeira.

**Palavras-chave:** Construção alternativa; Resíduos Poliméricos; Simulações numéricas; Desempenho; Sustentabilidade.

## ABSTRACT

The use of waste materials in construction is a viable alternative to reduce the environmental impact caused by the sector. The incorporation of polymeric industrial waste panels contributes to the proper disposal of materials and reduces the need for extraction of new raw materials. To assess the feasibility of these panels, tests were carried out to evaluate mechanical, thermal, acoustic, durability, and fire safety performance, along with simulations for thermal performance analysis and on-site measurements and evaluations in buildings constructed with polymeric waste panels. The polymeric industrial waste panels demonstrated satisfactory mechanical, thermal, and acoustic performance for use in buildings. In mechanical tests, they achieved the required performance for use in buildings according to ABNT NBR 15575. The thermal properties were suitable for social interest single-family housing, with an average thermal conductivity of 0.1103 W/mK. In terms of acoustic performance, the panels achieved a weighted standardized level difference of 27 dB on-site and a laboratory transmission loss ranging from 12 to 41 dB. The heat and thermal shock tests showed no failures, confirming the material's durability. Regarding fire reaction, the panels were classified as Class II-A (ABNT NBR 16626), making them suitable for various types of buildings. Additionally, they proved to be versatile when applied in reinforced concrete, steel, and wooden structures.

**Keywords:** Alternative construction; Polymeric Waste; Numerical simulations; Performance; Sustainability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Linha do tempo resumida do uso de polímeros. ....	19
Figura 2 –Diagrama resumido da pesquisa. ....	35
Figura 3 – Etapas da pesquisa experimental. ....	36
Figura 4 – Etapas de elaboração dos painéis. ....	37
Figura 5 – Ensaio de impacto de corpo mole. ....	38
Figura 6 – Ensaio de impacto de corpo duro, esferas de 0,5 kg e 1 kg. ....	39
Figura 7 – Esquema de mão-francesa para ensaios de peças suspensas. ....	39
Figura 8 – Compressão axial de blocos. ....	40
Figura 9 – Condutivímetro K10N e amostras. ....	41
Figura 10 – Localização do município de Rio Negrinho no mapa de SC. ....	42
Figura 11 – Planta baixa da edificação em estudo (medida em mm). ....	43
Figura 12 – Localização do município de Campo Alegre no mapa de SC. ....	44
Figura 13 – Edificação utilizada para medições. ....	45
Figura 14 – Posicionamento dos termógrafos. ....	46
Figura 15 – Termógrafos utilizados. ....	46
Figura 16 – Equipamentos utilizados no ensaio acústico <i>in loco</i> e edificação. ....	47
Figura 17 – Tubo de impedância utilizado. ....	48
Figura 18 – Amostras com 100 mm de diâmetro (a) e 29 mm (b). ....	49
Figura 19 – Equipamento utilizado para ensaio de calor e choque térmico. ....	50
Figura 20 – Exemplares das amostras instalados no local do ensaio. ....	51
Figura 21 – Equipamento utilizado para ensaio de reação ao fogo. ....	51
Figura 22 – Croqui da amostra utilizada para o ensaio de reação ao fogo. ....	52
Figura 23 – Câmara de ensaio com queimador ligado. ....	54
Figura 24 – Gabarito de borda (a) e de superfície (b). ....	54
Figura 25 – Resíduo de resina (a) e poliuretano (b). ....	56
Figura 26 – Entrada (a) e saída (b) do material no triturador. ....	56
Figura 27 – Mistura para a elaboração dos painéis. ....	57
Figura 28 – Forma metálica (a) e forno industrial (b). ....	57
Figura 29 – Painel usinado em forma de bloco com encaixe (a) e parede executada com o bloco (b). ....	58
Figura 30 – Fechamento com placas em formato de painel. ....	58
Figura 31 – Obtenção de densidade. ....	59

Figura 32 – Mossas formadas no impacto. ....	62
Figura 33 – Execução do ensaio de peças suspensas. ....	64
Figura 34 – Ensaio de resistência à compressão. ....	65
Figura 35 – Ensaio de resistência à compressão. ....	65
Figura 36 – Execução do ensaio de resistência à compressão. ....	66
Figura 37 – Corpos de prova antes (a) e depois da execução do ensaio de resistência à compressão (b). ....	66
Figura 38 – Carta Bioclimática – ZBBR ....	68
Figura 39 – Temperatura nas Zonas térmicas do quarto e sala. ....	69
Figura 40 – Temperatura nas superfícies da parede do quarto. ....	69
Figura 41 – Temperatura nas superfícies da parede da sala. ....	70
Figura 42 – Temperatura de bulbo seco do ar externo ao local. ....	70
Figura 43 – Falhas nas informações de temperatura do mês de janeiro. ....	71
Figura 44 – Medições in loco – Norte – Internas (a) e externas (b). ....	72
Figura 45 – Medições in loco – Sul – Internas (a) e externas (b). ....	72
Figura 46 – Medições in loco – dia mais frio. ....	73
Figura 47 – Medições in loco – dia mais quente. ....	74
Figura 48 – Simulação e medição – Agosto. ....	75
Figura 49 – Simulação e medição – Setembro. ....	75
Figura 50 – Pontos de emissão e recepção. ....	76
Figura 51 – Posição da fonte e do microfone no ambiente emissor e receptor. ....	77
Figura 52 – Posição da fonte e microfone para medição do tempo de reverberação - Ambiente Receptor. ....	77
Figura 53 – Obtenção da diferença de nível padronizada ponderada. ....	78
Figura 54 – Corpo de prova 1 com 100 mm de diâmetro posicionado. ....	80
Figura 55 – Corpo de prova 1 com 29 mm de diâmetro posicionado. ....	80
Figura 56 – Perda de transmissão sonora - cdp100 mm de diâmetro. ....	81
Figura 57 – Perda de transmissão sonora – cdp 29 mm de diâmetro. ....	81
Figura 58 – Execução do ensaio de calor e choque térmico. ....	82
Figura 59 – Teste do ponto de aplicação, borda e superfície. ....	84
Figura 60 – Exemplares após a aplicação de chama. ....	85
Figura 61 – Utilização de painéis para fechamento de estrutura metálica. ....	87
Figura 62 – Utilização para fechamento de estrutura de madeira. ....	87
Figura 63 – Utilização para fechamento de estrutura de madeira com acabamento. ....	88

Figura 64 – Utilização de painéis para fechamento de estrutura de concreto pré-moldado em ambiente industrial.....	88
Figura 65 – Utilização de blocos para fechamento de estrutura de concreto armado em ampliação residencial.....	89
Figura 66 – Condomínio residencial com utilização de blocos para fechamento de estrutura de concreto armado.....	89
Figura 67 – Side vinílico externo (a) e revestimento cerâmico (b).....	90
Figura 68 – Placa cimentícia inteira (a) e recordada (b).....	90
Figura 69 – Textura (a) e pintura com tinta emborrachada (b).....	91
Figura 70 – Massa corrida (a) e massa acrílica (b). ..	91

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Busca avançada portal de periódicos Capes. ....	25
Tabela 2 – Busca avançada no portal de periódicos CAPES – Combinação 1.....	26
Tabela 3 – Busca avançada no portal de periódicos CAPES – Combinação 2.....	27
Tabela 4 – Busca avançada no portal de periódicos CAPES – Combinação 4.....	28
Tabela 5 – Busca avançada no portal de periódicos CAPES – Combinação 5.....	28
Tabela 6 – Busca avançada no portal de periódicos CAPES – Combinação 7.....	30
Tabela 7 – Publicações consideradas relevantes. ....	31
Tabela 8 – Anos das publicações consideradas relevantes. ....	32
Tabela 9 – Área útil dos ambientes da edificação. ....	43
Tabela 10 – Determinação da Densidade dos corpos de prova. ....	59
Tabela 11 – Impacto de corpo mole. ....	60
Tabela 12 – Impacto de corpo duro de 0,5 kg e Energia de impacto de 2,5 J. ....	61
Tabela 13 – Impacto de corpo duro de 0,5 kg e Energia de impacto de 3,75 J. ....	61
Tabela 14 – Impacto de corpo duro de 1,0 kg e Energia de impacto de 10 J. ....	62
Tabela 15 – Impacto de corpo duro de 1,0 kg e Energia de impacto de 20 J. ....	62
Tabela 16 – Ensaio de peças suspensas .....	63
Tabela 17 – Ensaio de compressão .....	64
Tabela 18 – Condutividade térmica.....	67
Tabela 19 – Ensaio de desempenho acústico.....	78
Tabela 20 – Ensaio de calor e choque térmico – Amostra 1 .....	83
Tabela 21 – Ensaio de calor e choque térmico – Amostra 2 .....	83
Tabela 22 – Resultados do ensaio de reação ao fogo. ....	84
Tabela 23 – Ensaio de ignitabilidade.....	85
Tabela 24 – Condições ambientais. ....	85
Tabela 25 – Resumo dos resultados obtidos. ....	92

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABIPLAST	Associação brasileira da indústria do plástico
ASTM	American Society for Testing and Materials
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBMSP	Corpo de Bombeiros Militares de São Paulo
CCT	Centro de ciências tecnológicas
EM	Norma Euro
EPS	Poliestireno Expandido
IN	Instrução Normativa
ISO	International Organization for Standardization
NBR	Normas Técnicas Brasileiras
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
SC	Santa Catarina
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
ZBBR	Zoneamento Bioclimático do Brasil

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	OBJETIVO GERAL.....	17
1.1.1	Objetivos específicos.....	17
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>19</b>
2.1	GERAÇÃO DE RESÍDUOS POLIMÉRICOS E RECICLAGEM .....	19
2.2	UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS EM SISTEMAS DE FECHAMENTO .....	21
2.3	REQUISITOS PARA UTILIZAÇÃO COMO FECHAMENTO EM EDIFICAÇÕES .....	23
2.4	ESTADO DA ARTE .....	24
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>35</b>
3.1	ELABORAÇÃO DOS PAINÉIS .....	36
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS .....	37
3.3	PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS .....	37
3.3.1	Ensaio de impacto de corpo mole .....	37
3.3.2	Ensaio de impacto de corpo duro .....	38
3.3.3	Ensaio de peças suspensas .....	39
3.3.4	Ensaio de compressão.....	40
3.4	PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS PAINÉIS.....	40
3.4.1	Condutividade térmica – Condutivímetro K10N .....	40
3.4.2	Simulações Computacionais de desempenho térmico.....	42
3.4.3	Medições <i>in loco</i> de temperatura .....	44
3.5	PROPRIEDADES ACÚSTICAS DOS PAINÉIS.....	47
3.5.1	Ensaio <i>in loco</i> .....	47
3.5.2	Ensaio de propriedades acústicas no tubo de impedância.....	48
3.6	COMPORTAMENTO DOS PAINÉIS QUANDO EXPOSTOS AO CLIMA.	49
3.7	COMPORTAMENTO QUANDO EXPOSTO AO FOGO .....	50
3.7.1	Reação ao fogo.....	50
3.7.2	Propagação de chama.....	53
3.8	APLICAÇÃO EM SISTEMAS ESTRUTURAIS E ACABAMENTOS.....	55
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>56</b>
4.1	ELABORAÇÃO DOS PAINÉIS .....	56
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS .....	58

4.3	PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS .....	60
4.3.1	<b>Ensaio de impacto de corpo mole .....</b>	<b>60</b>
4.3.2	<b>Ensaio de impacto de corpo duro .....</b>	<b>61</b>
4.3.3	<b>Ensaio de peças suspensas .....</b>	<b>63</b>
4.3.4	<b>Ensaio de compressão .....</b>	<b>64</b>
4.4	PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS PAINÉIS.....	67
4.4.1	<b>Condutividade térmica – Condutivímetro K10N .....</b>	<b>67</b>
4.4.2	<b>Simulações computacionais.....</b>	<b>68</b>
4.4.3	<b>Medições de temperatura <i>in loco</i> .....</b>	<b>71</b>
4.4.4	<b>Comparativo entre as medições e simulações de temperatura .....</b>	<b>74</b>
4.5	PROPRIEDADES ACÚSTICAS DOS PAINÉIS.....	76
4.5.1	<b>Ensaio acústico <i>in loco</i>.....</b>	<b>76</b>
4.5.2	<b>Ensaio de propriedades acústicas no tubo de impedância.....</b>	<b>79</b>
4.6	COMPORTAMENTO DOS PAINÉIS QUANDO EXPOSTOS AO CLIMA.82	82
4.7	COMPORTAMENTO DAS AMOSTRAS EXPOSTAS AO FOGO .....	83
4.7.1	<b>Reação ao fogo.....</b>	<b>83</b>
4.7.2	<b>Propagação de chama.....</b>	<b>84</b>
4.7.3	<b>Classificação de produtos especiais para uso em edificações .....</b>	<b>86</b>
4.8	APLICAÇÃO EM SISTEMAS ESTRUTURAIS E ACABAMENTOS.....	86
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>93</b>
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	94
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>95</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização do plástico na indústria tem sido amplamente difundida devido à sua versatilidade na moldagem para a produção de uma ampla gama de produtos (Siqueira, 2004). Hemais (2003) relata que a indústria de polímeros no Brasil passou a exercer influência significativa no PIB a partir da instalação, na década de 1970, de três polos petroquímicos no país. Segundo dados da Associação brasileira da indústria do plástico - ABIPLAST, a produção mundial de plásticos em 2021, foi de 390,7 milhões de toneladas, sendo 2% dessa produção realizada no Brasil. No panorama de reciclagem mecânica de plásticos no Brasil, publicado pela ABIPLAST em 2024, utilizando o ano base de 2023 a capacidade instalada da indústria de reciclagem brasileira cresceu 3,5% e o Brasil consumiu 1,4 milhão de toneladas de resíduos plásticos na reciclagem, sendo 984 mil toneladas de embalagens e 467 mil toneladas de resíduos pós-industriais.

Um dos desafios enfrentados em todas as áreas da engenharia atualmente está relacionado à forma adequada de descarte de materiais que não podem mais ser reutilizados em seu processo original. Para enfrentar esse desafio, estudos buscam desenvolver processos de reciclagem eficazes, visando recuperar os materiais e reintroduzí-los na cadeia produtiva (Bom, 2008).

Segundo Spinacé (2005), a reciclagem de materiais poliméricos pode ser dividida em 4 categorias: primária, secundária, terciária e quaternária. Sendo a reciclagem primária e a secundária conhecidas como reciclagem mecânica ou física, utilizando polímeros pós-industriais e pós-consumo. A reciclagem terciária é realizada através de processos químicos e a quaternária por processos de recuperação energética.

Muitos estudos abordam a incorporação de resíduos reciclados de fontes diversas nos materiais empregados na construção civil. Paschoalin Filho (2019), aborda o potencial do uso de resíduos de demolição em novas obras de construção civil, promovendo a economia circular e a reinserção dos materiais no ciclo produtivo. Kouriboa *et al.* (2023) utilizou resíduos de vidro e madeira provenientes da construção civil como substituição da areia em argamassas,

analisando as propriedades físicas, térmicas, estimativa de custo e geração de carbono das misturas. Araújo Junior (2018), em seu estudo bibliométrico sobre uso de biomassa na indústria da construção civil afirma que é possível observar um crescimento no número de trabalhos que abordam esse tema, trazendo um interesse crescente na procura por alternativas mais sustentáveis para os materiais de construção empregados. Raja *et al.* (2023) analisaram artigos sobre o uso de materiais isolantes a base de biomassa na construção civil, abordando artigos sobre qualidade do ar, desempenho higrotérmico, comportamento em situações de incêndio e ciclo de vida, relacionados aos biomateriais. Moura em 2018 realizou um estudo utilizando resíduos sólidos da coleta seletiva do município de Blumenau – SC incorporados em placas cimentícias e pavers para utilização em fechamentos e pisos.

Para garantir a segurança e integridade das edificações habitacionais a NBR 15575 (ABNT, 2021) Edificações Habitacionais – Desempenho, trata sobre critérios térmicos, acústicos, de durabilidade e de segurança ao fogo dos sistemas empregados nas edificações, independente dos materiais empregados na construção. Nunes (2021), analisou 51 estudos desenvolvidos sobre a implantação da norma de desempenho para edificações habitacionais demonstrando o impacto dela no setor da construção civil e as dificuldades enfrentadas para atender aos requisitos, mesmo com métodos construtivos convencionais.

A NBR 15575 é uma norma nacional com ampla implementação por grandes construtoras, mas ainda com cumprimento limitado no caso de pequenas empresas do ramo da construção civil. No entanto, a normativa é imposta pelo Código de Defesa do Consumidor, que torna sua aplicação obrigatória para novas construções residenciais em todo o país (Krelling, 2023).

Nesse contexto, os painéis elaborados a partir de resíduos industriais poliméricos surgem como uma alternativa para o fechamento das estruturas, contribuindo para o objetivo 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis e 12 - Consumo e Produção Responsáveis, dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ONU, 2015) possibilitando uma destinação final adequada aos resíduos e diminuição da extração de novas matérias primas da natureza.

Dessa forma, o estudo da utilização de matéria-prima reciclada visa contribuir com uma redução dos impactos ambientais causados pela indústria da construção civil, analisando o atendimento do material às especificações pertinentes para garantir a segurança e durabilidade das edificações que utilizem esse método alternativo. Além disso, o estudo sobre um material de construção a seco, proporciona um descarte adequado para resíduos de difícil reciclagem e conforto térmico e acústico aos usuários, favorecendo a execução mais rápida das obras.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar se painéis produzidos com resíduos industriais poliméricos, para uso em fechamento de edificações, atendem aos critérios normativos de desempenho.

### 1.1.1 Objetivos específicos

- a) Caracterizar os resíduos utilizados na produção dos painéis;
- b) Verificar as propriedades mecânicas, térmicas e acústicas dos painéis por meio de ensaios laboratoriais;
- c) Verificar os critérios de desempenho térmico dos painéis por meio de simulações computacionais;
- d) Testar o comportamento dos painéis quando expostos a ações climáticas e em situações de incêndio;
- e) Analisar os critérios de desempenho dos painéis em relação às normativas pertinentes para sistemas de fechamento de edificações.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, conforme descritos a seguir. No primeiro capítulo é realizada a introdução e contextualização do assunto estudado, abordando também a justificativa do estudo, sua relevância para a academia e sociedade e os objetivos a serem atingidos ao longo do trabalho. Ao longo do referencial teórico são abordados os principais assuntos e conceitos relevantes para o entendimento do leitor e o estado da arte da pesquisa a ser desenvolvida. No capítulo referente à Materiais e métodos serão apresentados os métodos utilizados para a elaboração dos painéis, ensaios e softwares para a obtenção dos resultados da presente pesquisa. O quarto capítulo trata sobre os resultados obtidos durante a execução dos ensaios e simulações computacionais. No quinto capítulo, são apresentadas as conclusões sobre o estudo realizado.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

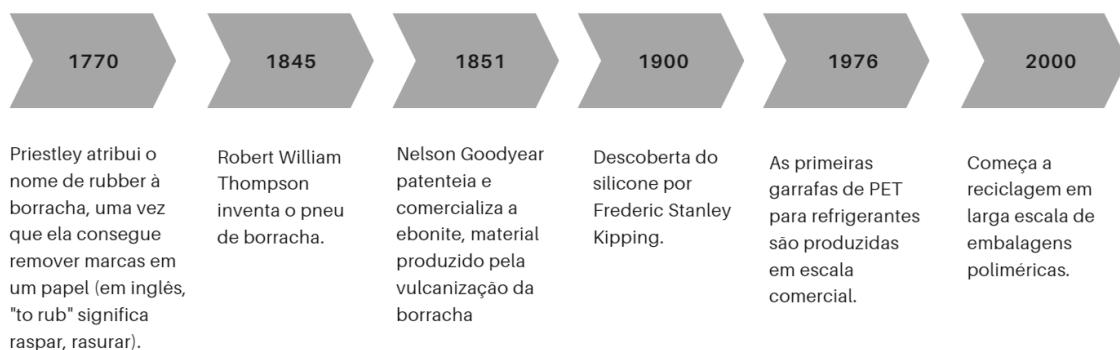
Nesse capítulo são abordados os principais assuntos e conceitos relacionados a presente dissertação, possibilitando ao leitor um melhor entendimento e inserção à pesquisa. Desta forma, discorre-se de maneira narrativa sobre a origem e os tipos de resíduos industriais poliméricos, os tipos de reciclagem e reaproveitamento dos resíduos existentes, estudos já existentes sobre o uso de resíduos na construção civil e as características e normativas necessárias para a utilização de materiais alternativos em fechamentos de edificações. Para melhor compreensão do estado da arte da pesquisa a ser desenvolvida é apresentada uma revisão de literatura sistemática narrativa.

### 2.1 GERAÇÃO DE RESÍDUOS POLIMÉRICOS E RECICLAGEM

Os polímeros desempenham um papel crucial em diversos setores industriais e em aplicações cotidianas devido às suas excelentes propriedades, o que possibilita a fabricação de produtos com um ótimo custo-benefício (Wang *et al.*, 2018).

Os polímeros são materiais amplamente utilizados, a Figura 1, apresenta a linha do tempo resumida do uso de polímeros, desde sua primeira nomenclatura em 1770 até o início da reciclagem em larga escala, nos anos 2000 (Rodriguez *et al.*, 2014).

Figura 1 – Linha do tempo resumida do uso de polímeros.



Fonte: Adaptado de Rodriguez *et al.* (2014).

Estima-se que 8.300 milhões de toneladas (t) de plásticos virgens foram produzidos até 2017. Em 2015, aproximadamente 6.300 t de resíduos plásticos foram gerados, cerca de 9% dos quais foram reciclados, 12% foram incinerados e 79% foram acumulados em aterros sanitários ou no ambiente natural, seguindo então essa tendência de geração e gerenciamento de resíduos, em 2050 aproximadamente 12.000 Mt de resíduos plásticos estarão em aterros sanitários ou no ambiente natural (Geyer *et al.*, 2017).

Até o momento, o desenvolvimento científico resultou em uma vasta gama de polímeros projetados para atender a diversas áreas de aplicação. Muitos desses polímeros são variações ou aprimoramentos de moléculas já conhecidas (Canevarolo, 2002).

Dessa forma, é possível categorizá-los de quatro diferentes formas usualmente empregadas. A primeira quanto a estrutura química: dentro desta classificação, analisa-se a estrutura química do polímero. Duas subdivisões são possíveis em princípio: polímeros de cadeia carbônica e polímeros de cadeia heterogênea. Outra forma de classificação seria quanto ao método de preparação, dividindo os polímeros em duas grandes classes: polímeros de adição, aqueles em que, durante a sua formação não há perda de massa na forma de compostos de baixo peso molecular e polímeros de condensação, originários da reação de dois grupos funcionais reativos com a eliminação de moléculas de baixo peso molecular. Nas classificações quanto ao comportamento mecânico, os polímeros podem ser classificados em plásticos, um material polimérico sólido na temperatura ambiente; elastômeros, polímeros que na temperatura ambiente podem deformar-se no mínimo duas vezes o seu comprimento inicial e fibras que são termoplásticos que possuem orientação forçada da cadeira dos cristais, aumentando sua resistência mecânica (Canevarolo, 2002).

Existem essencialmente três destinos diferentes para os resíduos plásticos. Primeiro, eles podem ser reciclados ou reprocessados em um material secundário. A reciclagem não evita o descarte final dos resíduos plásticos, mas apenas adia o processo. Ela contribui para a redução da geração futura de resíduos plásticos na medida em que desloca a produção de plástico primário. Segundo, os plásticos podem ser destruídos termicamente. Embora tecnologias

emergentes, como a pirólise, que converte resíduos plásticos em combustível, estejam em desenvolvimento, a maior parte da destruição térmica tem sido realizada por incineração, com ou sem recuperação de energia. Os plásticos também podem ser descartados e geridos em sistemas como aterros sanitários, ou ainda, no pior cenário, ser deixados em lixões a céu aberto ou no meio ambiente natural. Atualmente, a única forma de eliminar permanentemente os resíduos plásticos é através do tratamento térmico destrutivo, como a combustão ou a pirólise. Assim, a contaminação quase permanente do ambiente natural com resíduos plásticos é uma preocupação crescente (Geyer *et al.*, 2017).

Uma classe versátil dos polímeros é a dos poliuretanos que podem se apresentar tanto na forma de um termoplástico, termofixo, elastômero ou fibra, na forma expandida ou não, dependendo da estrutura química e funcionalidade dos reagentes empregados em sua formulação. Esses materiais estão presentes nos mais variados segmentos da indústria graças à sua imensa versatilidade, sendo possível citar aplicações desde itens básicos como colchões até aplicações médicas envolvendo implantes (Geyer *et al.*, 2017; Alves, 2022).

Grotto (2020) avaliou a reutilização de aparas de poliuretano para criação de novos produtos e materiais, concluindo que as principais formas de utilização foram a geração de placas recicladas de poliuretano, a adição da espuma rígida de poliuretano em concreto e argamassa, a fabricação de pranchas e a geração de espuma de carbono com resistência ao fogo. Segundo Grotto (2020), a reutilização é a melhor forma de destinar esse material com menor impacto ambiental e benefícios econômicos.

## 2.2 UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS EM SISTEMAS DE FECHAMENTO

Siqueira (2021) desenvolveu compósitos de polietileno verde, argila e vermiculita por meio da técnica de intercalação por fusão com o objetivo de investigar seu potencial uso como material de construção. Em seu trabalho, foram analisadas a resistência à propagação de chamas e os efeitos do envelhecimento natural do polietileno verde e seus compósitos.

Caraschi (2009) preparou painéis a partir de resíduos provenientes de embalagens cartonadas e plásticas, utilizando-se como elemento de reforço, casca de amendoim e de arroz. Com o objetivo de aplicação em forros, divisórias ou revestimentos decorativos. Onde avaliou-se o módulo de ruptura, módulo de elasticidade, tração perpendicular à superfície, inchamento em espessura, absorção de água e densidade, os ensaios foram realizados segundo as normas D1037 (ASTM, 1996) e SIST 317 (EN, 1993), referente à chapa de partículas.

Villas-Boas (2020) avaliou a viabilidade de uso de resíduos de madeira de *Pinus* provenientes da indústria madeireira, na forma de cavacos, para produção de blocos vazados de concreto simples de baixa densidade para aplicações em alvenarias internas. As propriedades foram avaliadas conforme recomendações da NBR 12118 (ABNT, 2014), sendo elas: teor de umidade, densidade aparente, absorção de água, resistência à compressão axial e condutividade térmica.

Arantes *et al.* (2023) avaliou a utilização de painéis sanduíche produzidos com núcleo de caixas de ovos e lâminas de paricá, por meio de ensaios térmicos, acústicos e mecânicos. As propriedades mecânicas determinadas foram o módulo de elasticidade e módulo de ruptura, as propriedades térmicas obtidas foram a condutividade e transmitância térmica, e o isolamento acústico obtido através da análise de barreira acústica construída com o material em estudo. Apresentando resultados promissores para o uso na construção civil, agregando propriedades térmicas e acústicas para os sistemas de fechamento.

Criado *et al.* (2024) realizaram análises de desempenho mecânico, térmico e acústico de placa em compósito cimento-madeira como painel de vedação, por meio de ensaios de condutividade térmica, análise termográfica, ensaio de câmara acústica, absorção de água por capilaridade e obtenção de módulo de resistência a flexão definida. O estudo concluiu que o compósito de cimento e madeira residual pode ser uma alternativa tecnicamente viável por apresentar boas propriedades térmicas e acústicas com pequena redução da capacidade mecânica.

## 2.3 REQUISITOS PARA UTILIZAÇÃO COMO FECHAMENTO EM EDIFICAÇÕES

Com sua primeira versão publicada em 2008, a NBR 15575 (ABNT, 2021)

– Desempenho para Edificações Habitacionais estabelece parâmetros para métodos e materiais construtivos. Dividida em 6 partes, essa normativa aborda estruturas, pisos, vedações, coberturas e sistemas hidrossanitários. Além de requisitos gerais de segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Instituindo três níveis de desempenho: mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), sendo que cada sistema possui requisitos de desempenho para cada nível sendo que as edificações precisam atender o nível mínimo.

A NBR 15575-4 - Desempenho para Edificações Habitacionais – Requisitos para os Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas possui critérios mecânicos, térmicos, acústicos e também critérios de estabilidade, estanqueidade, segurança ao fogo, durabilidade, ventilação e iluminação, aplicados a sistemas de fechamento, estruturais ou não.

Os critérios mecânicos estabelecidos na NBR 15575-4 aplicáveis a sistemas de vedação não estrutural são obtidos através de ensaios de impacto de corpo mole, impacto de corpo duro e solicitação de carga de peças suspensas. Outro critério mecânico a ser analisado em sistemas construtivos de vedação vertical é a resistência a compressão das peças, para verificar sua capacidade de se auto portar, para a execução da vedação e armazenamento.

Os critérios de conforto térmico estabelecidos na NBR 15575 – 4 levam em consideração a transmitância térmica e a capacidade térmica das paredes externas. Utilizando o zoneamento bioclimático brasileiro conforme NBR 15220-3 (ABNT,2020) como valores de referência.

Para verificação do desempenho acústico da edificação a NBR 15575 – 4 apresenta requisitos e critérios para avaliação do isolamento acústico entre os meios externos e internos, entre unidades autônomas e entre as dependências de uma unidade e suas áreas comuns. O atendimento a esses critérios é avaliado por meio de ensaios realizados no campo, para sistemas de vedações verticais da unidade habitacional.

Com o objetivo de verificar a durabilidade do sistema de fechamento vertical de paredes externas a NBR 15575 – 4, traz como requisito o bom comportamento do sistema quando exposto a calor e choque térmico, simulando as condições de exposição do material ao clima.

Para garantir a segurança dos usuários a NBR 15575 – 4 aborda itens de segurança contra incêndio, tendo como requisito se o material dificulta a ocorrência de inflamação generalizada e a propagação de incêndio.

## 2.4 ESTADO DA ARTE

Para melhor compreensão do estado da arte da pesquisa foi desenvolvida uma busca avançada de artigos científicos, em setembro de 2024, realizada no portal de periódicos CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), com limitação temporal de 2015 a 2024, onde utilizou-se as combinações de busca dispostas na Tabela 1. Os termos utilizados nas buscas são combinações das palavras-chave do presente trabalho.

O Portal de Periódicos da CAPES é um dos maiores acervos científicos virtuais do Brasil. Ele reúne e disponibiliza conteúdos produzidos nacionalmente, além de oferecer acesso a publicações assinadas com editoras internacionais, atendendo a instituições de ensino e pesquisa no país. O portal conta com milhares de periódicos científicos de texto completo e centenas de bases de dados que abrangem diversos tipos de conteúdo, incluindo artigos, referências, patentes, estatísticas, material audiovisual, normas técnicas, teses, dissertações, livros e obras de referência (Capes, 2024).

Tabela 1 – Busca avançada portal de periódicos Capes.

Combinação	Pesquisa	Base de dados	Resultados
1	((TUDO=( Alternative construction )) E TUDO=(Polymeric )) E TUDO=( Residue )	Capes	23
2	((TUDO =( Alternative construction)) E TUDO =( Sustainability)) E TUDO =( Polymeric residue )	Capes	2
3	((TUDO =( Alternative construction)) E TUDO =( Polymeric residue)) E TUDO =( Numerical simulations)	Capes	0
4	((TUDO =( Alternative construction)) E TUDO =( Polymeric residue)) E TUDO =( Performance)	Capes	4
5	((TUDO =( Construction)) E TUDO =( Polymeric residue)) E TUDO =( Performance)	Capes	22
6	((TUDO =( Construction)) E TUDO =( Numerical simulations)) E TUDO =( Polymeric residue )	Capes	0
7	((TUDO =( Sustainability)) E TUDO =( Numerical simulations)) E TUDO =( Polymeric )	Capes	7

Fonte: A autora (2024).

A tradução dos títulos dos 23 artigos obtidos, utilizando a Combinação 1, com os termos de busca: Alternative construction e Polymeric e Residue no período entre 2015 e 2024, estão dispostos na tabela 2. Foram considerados não relevantes os artigos que não abordam materiais de construção para utilização em edificações. Dos 23 artigos obtidos, 6 artigos foram considerados relevantes.

Tabela 2 – Busca avançada no portal de periódicos CAPES – Combinação 1.

Título do trabalho	Publicação	Ano	Relevância
Transição morfológica induzida por glicosiltransferase de automontagens de glicopeptídeos com resíduos de proteoglicanos	American Chemical Society	2020	Não
Propriedades mecânicas de placas feitas em biocompósitos reforçados com madeira e fibras de <i>Posidonia oceanica</i>	Elsevier BV   Composites Part B Engineering	2016	Sim
Combustão de um combustível sólido recuperado (SRF) produzido a partir da fração polimérica de resíduo de triturador automotivo (ASR)	Multidisciplinary Digital Publishing Institute   Polymers	2020	Não
Compósito de polietileno de baixa densidade reciclado para mitigar os impactos ambientais gerados pelos resíduos da mineração de carvão no Brasil	Elsevier BV   Journal of Environmental Management	2022	Não
Utilização de diferentes tipos de resíduos na construção de novos compósitos poliméricos: revisão	Elsevier BV   Materials Today Sustainability	2023	Sim
Painéis ecológicos para construção com serragem de eucalipto e resina vegetal de poliuretano: Uma avaliação mecânica	Elsevier BV   Case Studies in Construction Materials	2023	Sim
Avaliação da formação de rede de aluminossilicato em geopolímero de mistura ternário usando espectroscopia de infravermelho	Scientific.net	2019	Não
Aproveitando a galactose oxidase no desenvolvimento de uma plataforma quimioenzimática para o design de vacinas glicoconjugadas	Elsevier BV   Journal of Biological Chemistry	2022	Não
Utilização de resíduos de poliuretano	Babes-Bolyai University	2022	Sim
Novos geopolímeros incorporando lama vermelha e resíduos de vidro	Elsevier BV   Materials Letters	2018	Não
Treinamento de bactérias para produzir polímeros ecologicamente corretos de relevância industrial e médica	Wiley   Microbial Biotechnology	2019	Não
Um photocatalisador baseado em poliimida para produção contínua de peróxido de hidrogênio usando ar e água sob luz solar	Chinese Chemical Society	2022	Não
Estudo do comportamento de pirólise de sucata de alumínio revestida com polímero usando TGA e Py-GC/MS	Elsevier BV   Journal of Analytical and Applied Pyrolysis	2023	Não
Estudo comparativo de várias barreiras dielétricas e seu efeito na tensão de ruptura	Institution of Engineering and Technology	2018	Não
Biocombustíveis a partir da biomassa rumo a um mundo sustentável e com zero emissões de carbono	Elsevier BV   Joule	2022	Não
Fibras proteicas com excelentes propriedades mecânicas manipuladas por interações supramoleculares	Chinese Chemical Society	2021	Não
Estudo de resistência à compressão de argamassa geopolimérica utilizando pó de rocha de pedreira	Elsevier BV   Materials Letters	2018	Sim

Caracterização de cinzas de fundo de incineração de RSU para uso como preenchimento estrutural em estruturas de solo reforçado: avaliação geoambiental, geotécnica e econômica	RELX Group (Netherlands)	2022	Não
TERMIS 2023 – Conferência e Exposição AMERICAS Boston Marriott Copley Place 11 a 14 de abril de 2023	Mary Ann Liebert, Inc.	2023	Não
Otimização de um compósito de madeira e plástico para aplicações arquitetônicas	Elsevier BV   Procedia Manufacturing	2017	Sim
Eletroanálise de cloridrato de formetanato por eletrodo modificado com nanotubos de carbono multicamadas funcionalizados com ftalocianina de cobalto: caracterização e aplicação em frutas	Elsevier BV   Electrochimica Acta	2016	Não
Estratégias para imobilização permanente de enzimas em suportes têxteis	Wiley   Engineering in Life Sciences	2015	Não
Estudo de RMN sobre processos de reação de hidróxidos de cloreto de alumínio em pós de alfa alumina	Wiley   Journal of the American Ceramic Society	2018	Não

Fonte: A autora (2024).

A tradução dos títulos dos 2 artigos obtidos, utilizando a Combinação 2, com os termos de busca: *Alternative construction*, e *Sustainability* e *Polymeric residue* no período entre 2015 e 2024, estão dispostos na tabela 3. Foram considerados não relevantes os artigos que não abordam sobre materiais de construção para utilização em edificações. Os 2 artigos obtidos não foram considerados relevantes.

Tabela 3 – Busca avançada no portal de periódicos CAPES – Combinação 2.

Título do trabalho	Publicação	Ano	Relevância
Utilização de diferentes tipos de resíduos na construção de novos compósitos poliméricos: revisão	Elsevier BV   Sustentabilidade da Materials Today	2023	Não
Treinamento de bactérias para produzir polímeros ecologicamente corretos de relevância industrial e médica	Wiley   Biotecnologia Microbiana	2019	Não

Fonte: A autora (2024).

A tradução dos títulos dos 4 artigos obtidos, utilizando a Combinação 4, com os termos de busca: *Alternative construction* e *Polymeric residue* e *Performance* no período entre 2015 e 2024, estão dispostos na tabela 4. Foram considerados não relevantes os artigos que não abordam sobre materiais de construção para utilização em edificações, sendo então obtido 1 artigo relevante.

Tabela 4 – Busca avançada no portal de periódicos CAPES – Combinação 4.

Título do trabalho	Publicação	Ano	Relevância
Um photocatalisador baseado em poliimida para produção contínua de peróxido de hidrogênio usando ar e água sob luz solar	Chinese Chemical Society	2022	Não
Estudo comparativo de várias barreiras dielétricas e seu efeito na tensão de ruptura	Institution of Engineering and Technology	2018	Não
Fibras proteicas com excelentes propriedades mecânicas manipuladas por interações supramoleculares	Chinese Chemical Society	2021	Não
Otimização de um compósito de madeira e plástico para aplicações arquitetônicas	Elsevier BV   Procedia Manufacturing	2017	Sim

Fonte: A autora (2024).

A tradução dos títulos dos 22 artigos obtidos, utilizando a Combinação 5, com os termos de busca: Construction e Polymeric residue e Performance no período entre 2015 e 2024, estão dispostos na tabela 5. Foram considerados não relevantes os artigos que não abordam sobre materiais de construção para utilização em edificações, sendo então obtidos 8 artigos relevantes.

Tabela 5 – Busca avançada no portal de periódicos CAPES – Combinação 5.

Título do trabalho	Publicação	Ano	Relevância
Construção de nanoconchas de Li 3 PO 4 para melhor desempenho eletroquímico de um material catódico rico em Ni	Royal Society of Chemistry	2022	Não
Uso de titanato para melhorar a interação interfacial e as propriedades mecânicas de compósitos de polietileno/resíduos de mármore artificial	Wiley   Journal of Vinyl and Additive Technology	2020	Sim
Mecanismos de limpeza de interface em heteroestruturas feitas de grafeno contaminado com polímero	Wiley   Small	2022	Não
Recuperação indireta de metais valiosos por biolixiviação de lodo de galvanoplastia e otimização de vários parâmetros usando metodologia de superfície de resposta (RSM)	Elsevier BV   Journal of Environmental Management	2022	Não
Comportamento mecânico de asfalto misturado a quente modificado com resíduos de polietileno de baixa densidade	Multidisciplinar y Digital Publishing Institute   Sustainability	2022	Não
Espuma composta de borracha natural/madeira: materiais de isolamento térmico e acústico para construção	SAGE Publishing   Cellular Polymers	2023	Sim

Desenvolvimento de Tinta Baseada em Resíduo de Poliestireno Expandido: Avaliação de Plastificante Polimérico	Wiley   Macromolecular Symposia	2016	Sim
Curativo de hidrogel altamente flexível com desempenho antibacteriano, antioxidante e cicatrizante eficiente	Royal Society of Chemistry   Biomaterials Science	2022	Não
Influência da exposição a altas temperaturas nas propriedades de compósitos de resíduos de gesso e plástico: Análise termofísica e microestrutural	Elsevier BV   Journal of Building Engineering	2023	Sim
Uma abordagem integrada para avaliar o desempenho mecânico do polipropileno reforçado com enchimento de tamareira	Elsevier BV   Materials Today Communications	2023	Não
Estudo comparativo de várias barreiras dielétricas e seu efeito na tensão de ruptura	Institution of Engineering and Technology   High Voltage	2018	Não
Construção in situ de estrutura de carvão microporosa suportada por fibra para melhorar o desempenho antiablativo de compósitos de borracha de silicone	Wiley   Polymers for Advanced Technologies	2021	Não
Um photocatalisador baseado em poliimida para produção contínua de peróxido de hidrogênio usando ar e água sob luz solar	Chinese Chemical Society   CCS Chemistry	2022	Não
Fibras proteicas com excelentes propriedades mecânicas manipuladas por interações supramoleculares	Chinese Chemical Society   CCS Chemistry	2021	Não
Desenvolvimento e uso de cimento modificado com polímero para aplicações adesivas e de reparo	Elsevier BV   Construction and Building Materials	2018	Sim
Otimização de um compósito de madeira e plástico para aplicações arquitetônicas	Elsevier BV   Procedia Manufacturing	2017	Sim
Aplicação de polieletrólitos para melhorar o desempenho de desidratação de lodo de tratamento de água potável usando geotêxteis	Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi)	2021	Não
Mineral de argila local em acabamento retardante de chamas de tecido de algodão	Chemical and Materials Engineering	2015	Não
Desempenho de trabalho e análises mecanicistas microscópicas de materiais de enchimento autoespumantes à base de cinzas volantes para incineração de resíduos sólidos urbanos (Mswi)	RELX Group (Netherlands)	2022	Não

Degradação térmica e inflamabilidade de compósitos UPR/EPS incorporados em aerogel com presença de nanocristais orgânicos	American Institute of Physics	2018	Sim
Efeitos do complexo de polieletrólitos de base biológica na estabilidade térmica, inflamabilidade e desempenho das propriedades mecânicas na utilização de compósitos PLA/PBS	Multidisciplinar y Digital Publishing Institute   Buildings	2023	Não
Impactos ambientais dos painéis de poliuretano	EDP Sciences   E3S Web of Conferences	2019	Sim

Fonte: A autora (2024).

A tradução dos títulos dos 7 artigos obtidos, utilizando a Combinação 7, com os termos de busca: Sustainability e Numerical simulations e Construction no período entre 2015 e 2024, estão dispostos na tabela 6. Foram considerados não relevantes os artigos que não abordam sobre materiais de construção para utilização em edificações. Os artigos obtidos utilizando esses termos de busca não foram considerados relevantes.

Tabela 6 – Busca avançada no portal de periódicos CAPES – Combinação 7.

Título do trabalho	Publicação	Ano	Relevância
Um método iterativo para a simulação de frações poliol-hidroxila à base de palha de arroz	Multidisciplinary Digital Publishing Institute	2023	Não
Mudanças no nível de atividade aumentam a vida útil da fadiga do andaime de magnésio poroso, conforme observado em testes de imersão dinâmica, ao longo do tempo	Multidisciplinary Digital Publishing Institute	2018	Não
35+1 desafios na ciência dos materiais sendo enfrentados por PIs com menos de 35 anos em 2023	Elsevier BV   Matter	2023	Não
Pesquisa de literatura sobre energia fotovoltaica (Nº 184)	Wiley   Progress in Photovoltaics Research and Applications	2023	Não
Sinalização Vertical de Tráfego: Caracterização de Materiais e Simulação Numérica Estrutural	Trans Tech Publications   Applied Mechanics and Materials	2019	Não
Simulação Numérica e Estudo Experimental do Campo Eletrostático Próximo ao Homem com Roupa Polimérica de Proteção	Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering	2017	Não
Pesquisa bibliográfica sobre energia fotovoltaica (nº 160)	Wiley   Progress in Photovoltaics Research and Applications	2020	Não

Fonte: A autora (2024).

Foram obtidos utilizando as 7 combinações, 58 artigos no total, dos quais 15 foram considerados relevantes. O artigo “Otimização de um compósito de madeira e plástico para aplicações arquitetônicas” apareceu em 3 combinações distintas, portanto excluindo-se os artigos repetidos, foram obtidos 13 artigos considerados relevantes. A tabela 7 demonstra a distribuição dos artigos considerados relevantes ao longo do tempo. Pode-se observar o maior número de publicações consideradas relevantes no ano de 2018.

Tabela 7 – Publicações consideradas relevantes.

Título	Ano
Propriedades mecânicas de placas feitas em biocompósitos reforçados com madeira e fibras de Posidonia oceânica	2016
Utilização de diferentes tipos de resíduos na construção de novos compósitos poliméricos: revisão	2023
Painéis ecológicos para construção com serragem de eucalipto e resina vegetal de poliuretano: Uma avaliação mecânica	2023
Utilização de resíduos de poliuretano	2022
Estudo de resistência à compressão de argamassa geopolimérica utilizando pó de rocha de pedreira	2018
Otimização de um compósito de madeira e plástico para aplicações arquitetônicas	2017
Otimização de um compósito de madeira e plástico para aplicações arquitetônicas	2017
Uso de titanato para melhorar a interação interfacial e as propriedades mecânicas de compósitos de polietileno/resíduos de mármore artificial	2020
Espuma composta de borracha natural/madeira: materiais de isolamento térmico e acústico para construção	2023
Desenvolvimento de Tinta Baseada em Resíduo de Poliestireno Expandido: Avaliação de Plastificante Polimérico	2016
Influência da exposição a altas temperaturas nas propriedades de compósitos de resíduos de gesso e plástico: Análise termofísica e microestrutural	2023
Desenvolvimento e uso de cimento modificado com polímero para aplicações adesivas e de reparo	2018
Otimização de um compósito de madeira e plástico para aplicações arquitetônicas	2017
Degradação térmica e inflamabilidade de compósitos UPR/EPS incorporados em aerogel com presença de nanocristais orgânicos	2018
Impactos ambientais dos painéis de poliuretano	2019

Fonte: A autora (2024).

Tabela 8 – Anos das publicações consideradas relevantes.

Ano	Número de publicações
2016	2
2017	1
2018	3
2019	1
2020	1
2022	1
2023	4

Fonte: A autora (2024).

Entre os artigos relevantes obtidos, 4 trabalhos analisam compósitos utilizando madeira, 2 trabalhos analisam a utilização de poliuretano, um trabalho estuda argamassa utilizando pó de rocha, um trabalho utiliza resíduos de mármore artificial, um trabalho estuda a utilização de resíduos de poliestireno expandido, um trabalho estuda a utilização de resíduos de gesso e plástico, um trabalho estuda a utilização de cimento modificado com polímeros, um trabalho estuda a utilização de compósitos de EPS, e um trabalho é uma revisão de literatura.

Maciá *et al.* (2016) em seu estudo sobre propriedades mecânicas de placas feitas de biocompósitos reforçados com madeira e fibras de Posidonia oceânica, realizaram testes de resistência a compressão e módulo de elasticidade, obtendo resultados com baixa diminuição de rigidez quando comparado a painéis feitos totalmente de madeira.

Taurino, Bondioli e Messori (2023) com a realização de uma revisão bibliográfica concluíram que, há uma quantidade considerável de pesquisas sobre a aplicação de resíduos sólidos, em particular resíduos agrícolas, como cargas para matrizes termoplásticas e termofixas, a fim de obter compósitos adequados para aplicação em componentes submetidos a cargas leves a moderadas. Como principal desvantagem, o pré-tratamento da superfície é necessário em muitos casos para aumentar a adesão entre a matriz e as cargas, bem como as propriedades mecânicas, térmicas e químicas finais dos compósitos poliméricos.

Oliveira *et al.* (2023) avaliaram propriedades mecânicas através de ensaios de densidade, módulo de elasticidade, módulo de ruptura, tração perpendicular e impacto Izod de painéis ecológicos para construção com

serragem de eucalipto e resina poliuretana vegetal. Concluindo que existe viabilidade técnica para a fabricação de painéis compósitos utilizando resíduo de serragem de eucalipto com aglutinado com resina poliuretânica vegetal à base de óleo de mamona.

Maniciula, Misca e Roter (2022) apresentam uma maneira de reciclar resíduos de poliuretano e obter um material compósito misturando-o com um adesivo de poliuretano fresco e areia de quartzo em diferentes proporções. Os resíduos de poliuretano tornam-se, assim, um substituto para o poliuretano puro, e a mistura obtida pode ser utilizada na fabricação de materiais de construção. As amostras foram estudadas em termos de densidade e absorção de água.

Madhav *et al.* (2018) estudaram a resistência a compressão de argamassas geopoliméricas utilizando cinza volante e pó de rocha como substituição da areia natural.

Martins *et al.* (2017) analisaram a otimização de compósitos de madeira e plástico feitos de resíduos industriais de serragem de pinho, polietileno de alta densidade e polietileno enxertado com anidrido maleico como agente de acoplamento para a produção de um sistema de sombreamento inovador para aplicação na fachada de edifícios através de extrusão. O estudo realizou caracterização completa das matérias-primas e misturas, reometria de torque para determinar as viscosidades mais adequadas para o processamento de extrusão, ensaios de tração, medições do ângulo de contato com a água e capacidade de absorção de água.

Lu *et al.* (2021) em seu estudo avaliaram o uso de titanato para melhorar a interação interfacial e as propriedades mecânicas de compósitos de polietileno e resíduos de mármore artificial, avaliando propriedades mecânicas de resistência a tração e resistência a flexão, obtendo resultados comparáveis aos materiais feitos sem a utilização de resíduos.

Neves de Alencar *et al.* (2023) em seu estudo intitulado: “Espuma composta de borracha natural e madeira: materiais de isolamento térmico e acústico para construção”, verificaram a capacidade de isolamento térmico do material utilizando o método da fonte do plano transiente e o isolamento acústico utilizando o tubo de impedância.

Schwade *et al.* (2016) estudaram a utilização de resíduo de poliestireno expandido como base polimérica de tintas, visando áreas como construção civil e indústria madeireira, levando em consideração propriedades como elasticidade e adesão em substrato de madeira.

Romero-Gómez *et al.* (2023) avaliaram o impacto da exposição a altas temperaturas nas propriedades microestruturais e térmicas de compósitos de gesso contendo resíduos plásticos provenientes de capsulas de café descartáveis e redes de pesca. As amostras foram expostas a diferentes condições de alta temperatura, incluindo temperaturas de serviço ( $23 \pm 2$  °C, 150 °C e 300 °C) e temperaturas de incêndio (1000 °C).

Assaad (2018) estudou o desenvolvimento e uso de cimento modificado com polímero para aplicações adesivas e de reparo, verificando o tempo de pega da mistura, ar incorporado, resistência a flexão, resistência a compressão e resistência da ligação entre argamassas em comparativo com requisitos da Normativa EM 12004 para adesivos utilizados na instalação de cerâmicas.

Mohamed *et al.* (2018) verificaram características de segurança contra incêndio de materiais utilizados na construção civil, analisando a inflamabilidade e a degradação térmica de compósitos de Plástico Reforçado com Fibras de Vidro e Isopor integrados em aerogel com e sem a presença de nanocristais orgânicos. A inflamabilidade foi estudada pelo método ASTM D635-10, onde as velocidades da chama ao longo de uma distância linear horizontal são relatadas. A degradação térmica foi realizada por meio de um Analisador Termogravimétrico.

Goulo *et al.* (2019) avaliaram os impactos ambientais de painéis de poliuretano, verificação da durabilidade de painéis rígidos de isolamento de poliuretano usados em diferentes tipos de edifícios e construções, sem manutenção, de acordo com a determinação da condutividade térmica e da resistência à compressão, é comprovado que os valores permanecem inalterados apesar dos anos de uso, mostrando que a quantidade de recursos consumidos para a produção de espuma de poliuretano é amortizada na fase de uso dos edifícios, graças à economia de energia determinada pelo isolamento térmico.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 2 apresenta o diagrama resumido da pesquisa, iniciando com a produção dos painéis de resíduos poliméricos provenientes de indústrias das cidades de Joinville, Jaraguá do Sul e região, no estado de Santa Catarina. Em seguida a execução dos ensaios propostos, a realização de simulações computacionais de desempenho térmico e pôr fim a verificação dos resultados obtidos em relação as normativas pertinentes.

Será analisada também a compatibilidade dos painéis com diferentes tipos de sistemas construtivos estruturais e acabamentos.

Figura 2 –Diagrama resumido da pesquisa.



Fonte: A autora (2024).

Na Figura 3, são descritas as propriedades a serem estudadas, os ensaios utilizados e as normativas a serem utilizadas para obtenção dos dados em cada ensaio realizado.

Os ensaios de impacto de corpo mole, impacto de corpo duro, ensaio de peças suspensas, ensaio de calor e choque térmico e ensaio de avaliação de desempenho acústico de sistemas de vedação foram realizados pelo SENAI - Instituto de tecnologia cerâmica. O ensaio de compressão e as medições de condutividade térmica foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do CCT UDESC. O ensaio de propriedades acústicas no tubo de impedância foi realizado no Laboratório de Vibrações e Estruturas Leves do CCT UDESC. Os ensaios de reação ao fogo e ignitabilidade foram realizados no ITT Performance da Universidade do Vale dos Sinos.

Figura 3 – Etapas da pesquisa experimental.



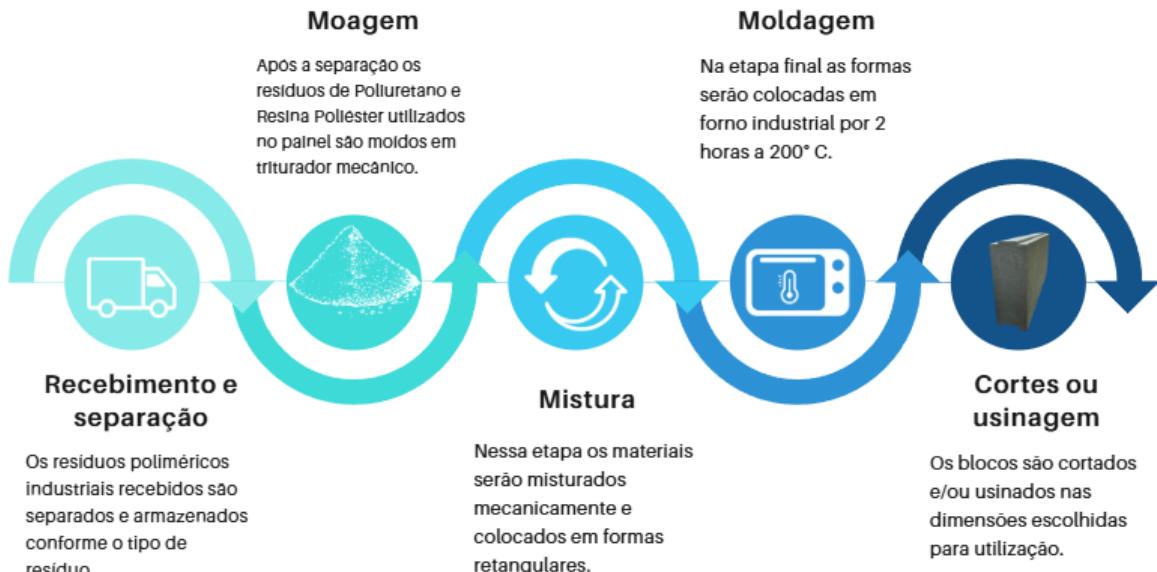
Fonte: A autora (2023).

Após a obtenção dos resultados destes ensaios, eles serão analisados conforme parâmetros exigidos pelas normativas pertinentes para cada propriedade analisada.

### 3.1 ELABORAÇÃO DOS PAINÉIS

A metodologia utilizada para a elaboração dos painéis segue as etapas apresentadas na Figura 4, onde são descritos os processos necessários para a fabricação dos painéis.

Figura 4 – Etapas de elaboração dos painéis.



Fonte: A autora (2023).

Os painéis foram elaborados utilizando a proporção em volume de 34% de poliuretano e 66% de resina poliéster.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

A densidade do material foi calculada através de relação entre massa e volume após o painel elaborado, utilizando 7 amostras de 9x9x24 cm.

Os resíduos foram classificados conforme informações emitidas pelas empresas geradoras, utilizando classes estabelecidas na Normativa NBR 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação (ABNT, 2004), podendo ser enquadrados como Resíduos Classe I - Perigosos ou Resíduos Classe II – Não Perigosos. E como A – Não inertes e B – Inertes.

### 3.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS

#### 3.3.1 Ensaio de impacto de corpo mole

A determinação da resistência a impacto de corpo mole em vedação vertical, obtida conforme NBR 15575-4 (ABNT, 2021), consiste em atingir uma

parede teste com impactos de corpo mole de 60 J a 640 J. Durante estes impactos são verificadas as deformações instantâneas e deformações residuais, após o impacto. Também é realizada uma análise visual de possíveis alterações.

Para a realização do ensaio foi utilizado um corpo mole de massa de 40 kg, suspenso em estrutura metálica. As deformações foram medidas por meio de um paquímetro posicionado na face oposta aos impactos, conforme a Figura 5.

Figura 5 – Ensaio de impacto de corpo mole.



Fonte: A autora (2023).

### 3.3.2 Ensaio de impacto de corpo duro

A Determinação da Resistência a Impacto de Corpo Duro em Vedação Vertical, obtida conforme NBR 15575 – 4: Anexo B (ABNT,2021), consiste em atingir uma parede teste com impactos de corpo duro de 2,5 J a 20 J, Figura 6, realizando uma análise visual e medição da mossa de deformação obtida no impacto.

Foram utilizadas esferas de aço de 0,5 kg e 1 kg para obter a energia necessária de impacto no painel teste.

Figura 6 – Ensaio de impacto de corpo duro, esferas de 0,5 kg e 1 kg.

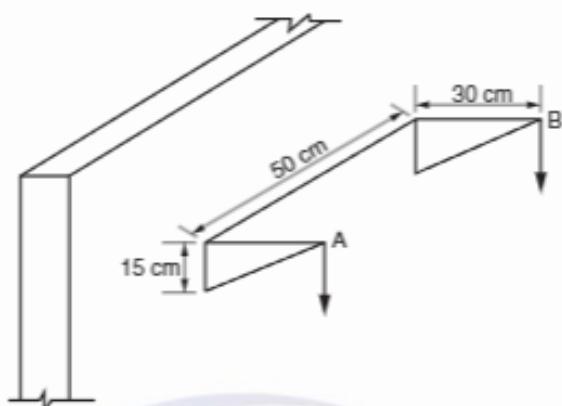


Fonte: A autora (2023).

### 3.3.3 Ensaio de peças suspensas

A determinação da resistência dos sistemas de vedação verticais às solicitações de peças suspensas realizado conforme a ABNT NBR 15575 - 4 Anexo A (ABNT,2021), Figura 7. Foram aplicadas cargas de até 0,4 kN por ponto de fixação, totalizando 0,8 kN em dois pontos, verificando-se o deslocamento da fixação e realizando-se uma análise de alterações visuais.

Figura 7 – Esquema de mão-francesa para ensaios de peças suspensas.



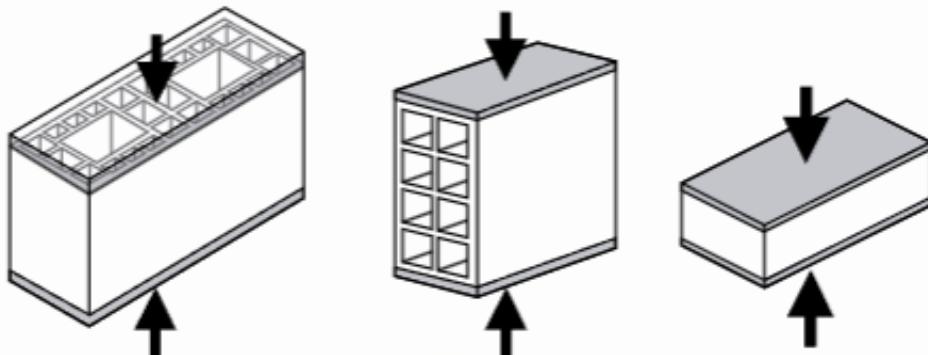
Fonte: Adaptado de NBR 15575-4 (2021).

### 3.3.4 Ensaio de compressão

Este ensaio foi realizado conforme a NBR 15270 - 2 (ABNT, 2023) - Blocos e Tijolos Para Alvenaria - Parte 2: Métodos de Ensaio, com o intuito de obter um comparativo entre a resistência dos painéis e as mínimas normatizadas para fechamentos do tipo bloco cerâmico. Para este ensaio foram utilizados 7 corpos de prova com dimensões de 9x9x24 cm.

Os blocos devem ser rompidos em equipamento que assegure a distribuição uniforme dos esforços no corpo de prova, através de dois pratos de apoio, transmitindo a carga de forma progressiva e sem choques e leitura de cargas com aproximação de  $\pm 2\%$  da carga de ruptura.

Figura 8 – Compressão axial de blocos.



Fonte: Adaptado de NBR 15270 - 2 (2023).

## 3.4 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS PAINÉIS

### 3.4.1 Condutividade térmica – Condutivímetro K10N

O ensaio da condutividade térmica foi realizado conforme a normativa 8301 (ISO, 1991) Isolamento térmico — Determinação da resistência térmica em estado estacionário e propriedades relacionadas — Aparelho medidor de fluxo de calor e também a normativa C518 (ASTM, 2017) - Método de teste padrão para propriedades de transmissão térmica em estado estacionário por meio do

aparelho medidor de fluxo de calor. Este ensaio foi realizado por meio de um condutivímetro sensu modelo K10N, Figura 9.

Foram ensaiadas 9 amostras com dimensões de 10x10x2 cm. Estas amostras foram colocadas entre fluxímetros, o que possibilita a determinação do fluxo de calor através da Lei de Fourier (Equação 1), medindo então a condutividade térmica pela média destes fluxos. A condutividade térmica foi determinada por meio da Equação 2.

$$q = k \times \frac{T_2 - T_1}{E} \quad \text{Equação 1}$$

$$\gamma = k \times \frac{\frac{q_1 + q_2}{2} \times E}{\Delta T} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

q é a taxa de fluxo de calor (W/m<sup>2</sup>)

k é a condutividade térmica da amostra (W/m.K)

T<sub>2</sub> - T<sub>1</sub> é a diferença de temperatura ΔT (°C)

E é a espessura do material (mm)

q<sub>1</sub> e q<sub>2</sub> são as densidades de fluxo de calor medidas pelos fluxímetros (W/m<sup>2</sup>)

γ é a condutividade térmica (W/mK).

Figura 9 – Condutivímetro K10N e amostras.



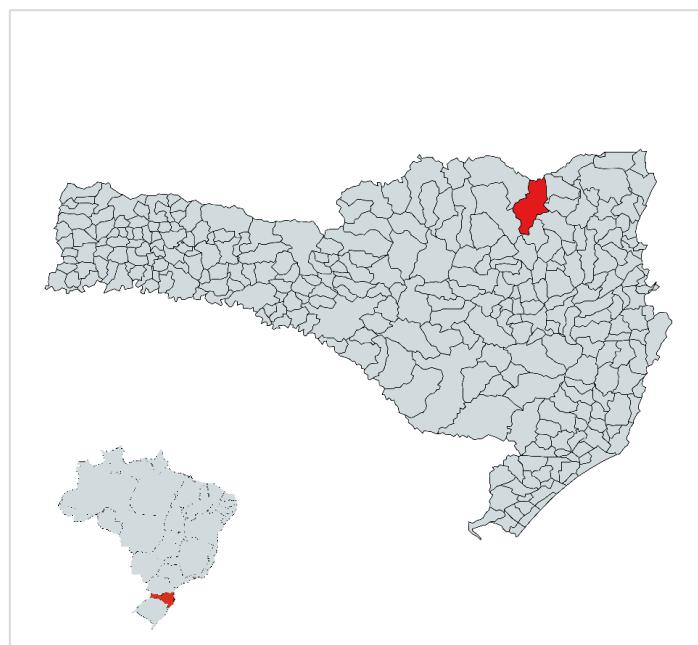
Fonte: A autora (2023).

### 3.4.2 Simulações Computacionais de desempenho térmico

As simulações computacionais foram realizadas utilizando o *software* EnergyPlus, e base de dados climáticos do Município de Rio Negrinho, localizado em Santa Catarina, Brasil, latitude 26°15'16" sul e longitude 49°31'06" oeste, Figura 10, a base de dados disponível mais próxima do local das medições de temperatura realizadas na casa já edificada em Campo Alegre-SC.

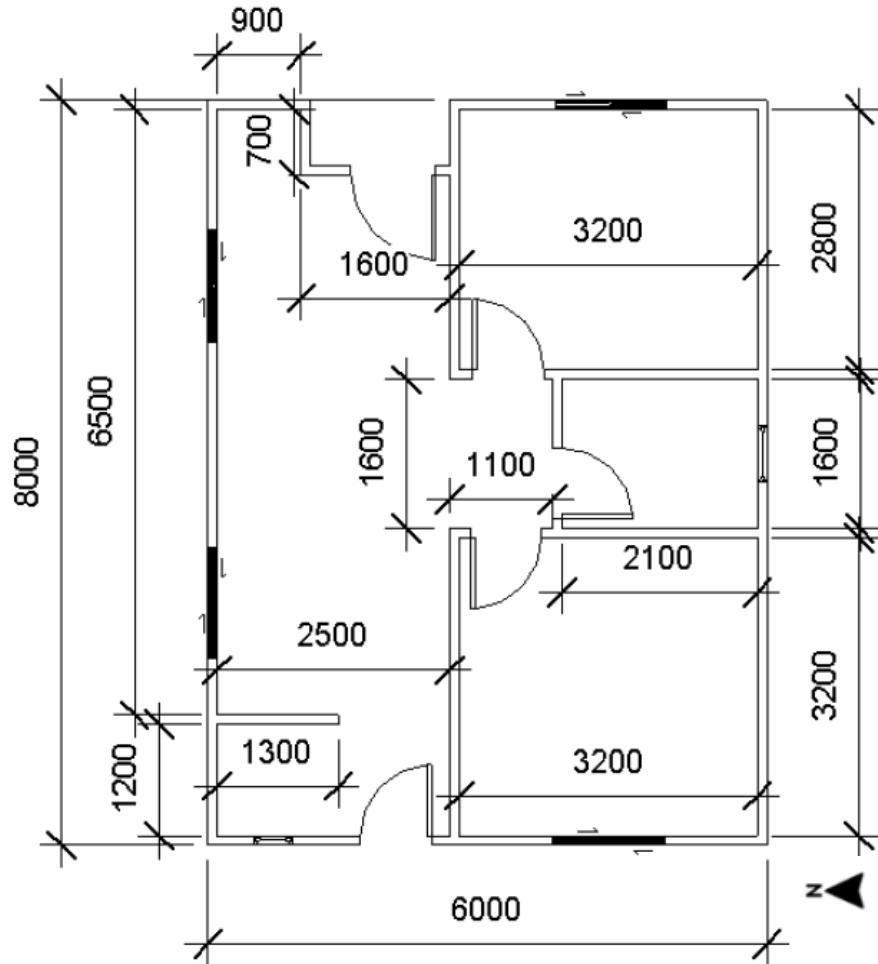
A tipologia da edificação utilizada nas simulações computacionais foi a mesma da edificação construída, onde foram realizadas as medições *in loco* da temperatura, representada em Planta na Figura 11 e na Figura 13. A edificação possui dois quartos, banheiro, sala, cozinha e área de serviço, com área total de 48 m<sup>2</sup>.

Figura 10 – Localização do município de Rio Negrinho no mapa de SC.



Fonte: A autora (2024).

Figura 11 – Planta baixa da edificação em estudo (medida em mm).



Fonte: A autora (2023).

Tabela 9 – Área útil dos ambientes da edificação.

Ambiente	Área Útil [m <sup>2</sup> ]
Quarto 1	8,96
Quarto 2	10,24
Banheiro	3,36
Sala e Cozinha	15,13
Lavanderia	3,00
Circulação	1,76
Varanda	1,12
Área Útil total	43,57

Fonte: A autora (2023).

O EnergyPlus é um software de simulação energética de edificações que possibilita a modelagem do consumo de energia para aquecimento, resfriamento, ventilação e iluminação da edificação. O Software é gerenciado

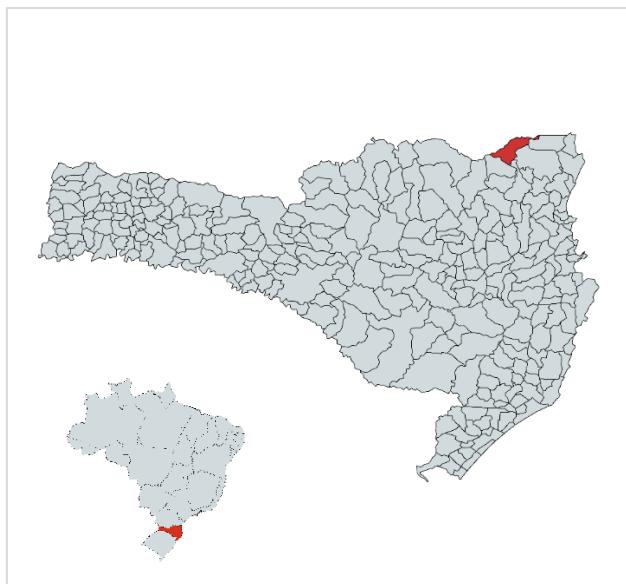
pelo Laboratório Nacional de Energia Renovável, localizado na cidade de Golden, estado do Colorado, nos Estados Unidos da América, e seu desenvolvimento é financiado pelo Building Technologies Office do Departamento de Energia dos Estados Unidos da América - DOE (Doe, 2024).

Foram utilizados os parâmetros termofísicos obtidos nos ensaios laboratoriais como parâmetros de entrada da simulação. Os elementos verticais transparentes (vidros), e esquadrias foram considerados com as mesmas características da edificação real. Os dados experimentais de temperatura obtidos *in loco* da casa edificada foram utilizados para validar os resultados obtidos via simulação.

### **3.4.3 Medições *in loco* de temperatura**

Medições realizadas na casa edificada, localizada no município de Campo Alegre, no estado de Santa Catarina, Brasil, latitude 26° 11' 34" Sul e longitude 49° 15' 57" Oeste, como ilustrado na Figura 12.

Figura 12 – Localização do município de Campo Alegre no mapa de SC.



Fonte: A autora (2024).

A edificação real utilizada para as medições de temperatura, Figura 13, foi construída utilizando como fechamento placas elaboradas com o material de estudo (painéis), estrutura metálica, teto em forro de gesso e cobertura em telhas metálicas termoacústicas. As esquadrias da edificação são compostas por portas em madeira e janelas de vidro do tipo Blindex.

Figura 13 – Edificação utilizada para medições.

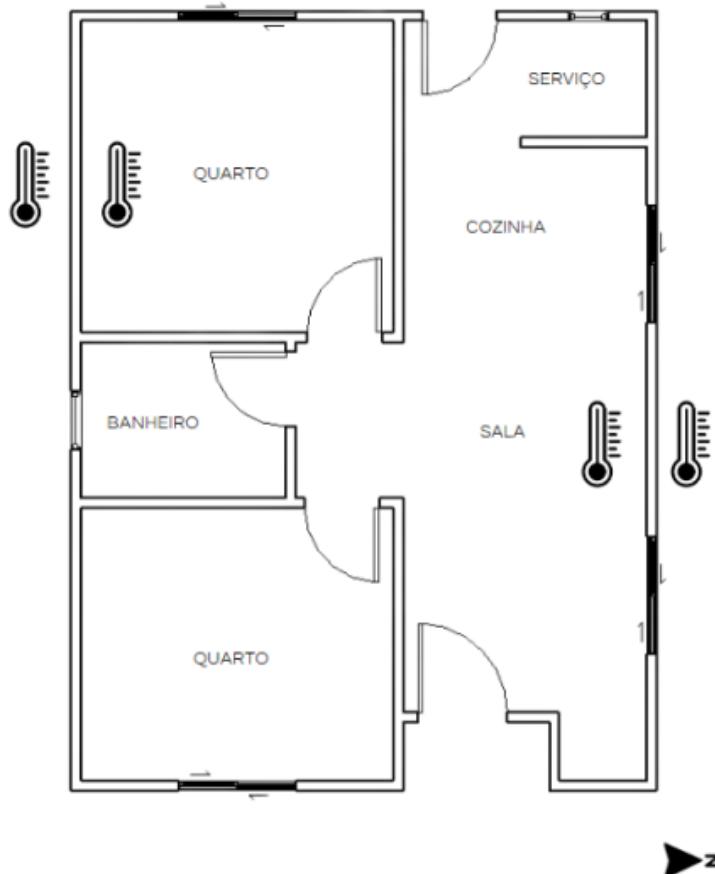


Fonte: A autora (2024).

Foram posicionados termógrafos de uso único em 4 pontos distintos, 2 pontos de medição internos e dois pontos de medição externos a edificação, nas fachadas Norte e Sul.

A Figura 14 ilustra a planta baixa da edificação e o posicionamento dos termógrafos. Os termógrafos utilizados, ilustrados na Figura 15, possuíam limitações de temperatura, com temperatura máxima de 70 °C e temperatura mínima de -30 °C e precisão de  $\pm 0,5$  °C, e realizaram medições junto às superfícies das paredes a cada 2 minutos. Foram posicionados a 2,7 m de altura (do chão) de maneira que a fixação dos termógrafos externos ficasse protegidas pelos beirais da edificação.

Figura 14 – Posicionamento dos termógrafos.



Fonte: A autora (2024).

Figura 15 – Termógrafos utilizados.



Fonte: A autora (2024).

### 3.5 PROPRIEDADES ACÚSTICAS DOS PAINÉIS

#### 3.5.1 Ensaio *in loco*

Para o ensaio realizado *in loco*, conforme especificações da NBR ISO 16283 – 1 (ABNT, 2018) Acústica - Medição de Campo do Isolamento Acústico nas Edificações e nos Elementos de Edificações - Parte 1: Isolamento a Ruído Aéreo, em edificação construída com o material de estudo, a avaliação do desempenho acústico da vedação vertical entre ambientes para determinação da diferença de nível padronizada ( $DnT$ ) e a diferença de nível padronizada ponderada ( $DnT,w$ ) foi realizada utilizando-se uma fonte geradora de ruído e uma fonte de captação, ilustradas na Figura 16.

O ensaio foi realizado em edificação construída utilizando como fechamento placas elaboradas com o material de estudo (painéis), já habitada, localizada na cidade de São Bento do Sul-SC. Essa edificação foi selecionada para a execução do ensaio por estar situada em uma região residencial, com ruídos externos comuns a unidades habitacionais.

Figura 16 – Equipamentos utilizados no ensaio acústico *in loco* e edificação.



Fonte: A autora (2023).

### 3.5.2 Ensaio de propriedades acústicas no tubo de impedância

Este ensaio foi realizado conforme E2611 (ASTM, 2017) Método de Teste Padrão para Determinação de Incidência Normal de Propriedades Acústicas de Materiais Porosos com Base no Método da Matriz de Transferência. Este método de teste abrange o uso de um tubo, quatro microfones e um sistema de análise de frequência digital para a medição da perda de transmissão sonora, ver Figura 17. Este tubo de impedância Brüel & Kjaer Type 4206 possui módulo de aquisição Brüel & Kjaer Type 3160-A-042, amplificador de Potência Type 2732 e Pré-Amplificador Brüel & Kjaer Type 2670.

Figura 17 – Tubo de impedância utilizado.

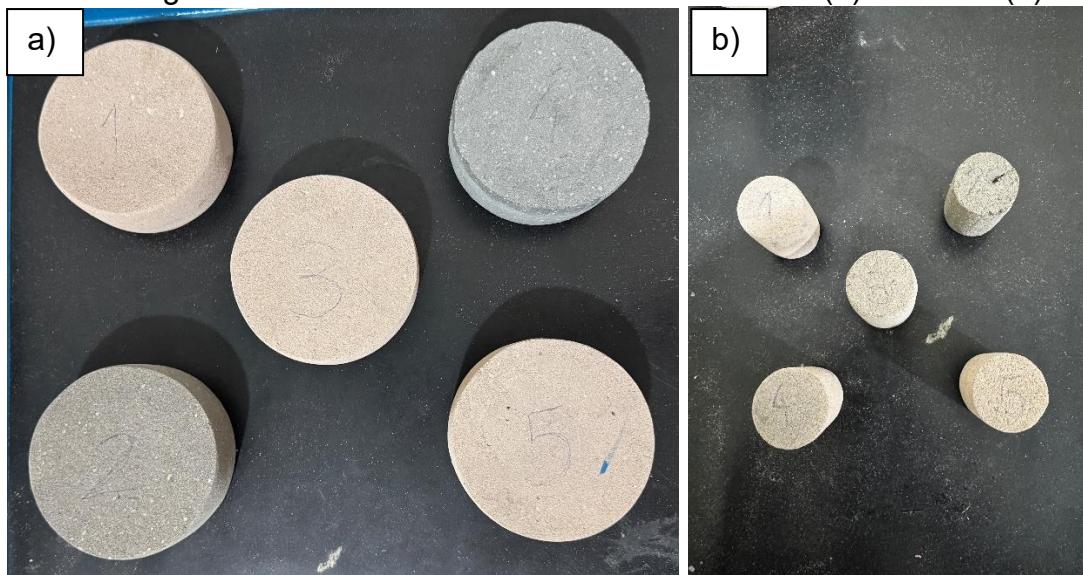


Fonte: A autora (2025).

Para este ensaio, foram utilizados 5 corpos de prova cilíndricos com espessura de 40 mm e diâmetro de 100 mm para a faixa de frequências de 50 Hz – 1.600 Hz, e 5 corpos de prova com espessura de 40 mm e diâmetro de 29 mm para a faixa de frequências de 500 Hz – 6.400 Hz, ver Figura 18.

Segundo Ching e Binggeli (2014), a perda de transmissão é uma medida do desempenho de um material de construção ou estrutura na prevenção da transmissão de ruídos aéreos.

Figura 18 – Amostras com 100 mm de diâmetro (a) e 29 mm (b).



Fonte: A autora (2025).

### 3.6 COMPORTAMENTO DOS PAINÉIS QUANDO EXPOSTOS AO CLIMA

A verificação do comportamento de sistema de vedação vertical externo exposto à ação de calor e choque térmico foi realizada conforme NBR 15575-4 (ABNT, 2021). Foram aplicados 10 ciclos de aquecimento até a temperatura de  $(80 \pm 3)^\circ\text{C}$  por meio de fonte radiante de calor, essa temperatura foi mantida por 1 hora e os painéis foram resfriados por meio de jatos d'água até a temperatura de  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ . Ao final dos ciclos, foram analisadas a ocorrência de falhas, tais como: fissuras, destacamentos, empolamentos descoloramentos e outros danos que possam comprometer a utilização do sistema quando aplicado em edificações.

Figura 19 – Equipamento utilizado para ensaio de calor e choque térmico.



Fonte: A autora (2023).

### 3.7 COMPORTAMENTO QUANDO EXPOSTO AO FOGO

#### 3.7.1 Reação ao fogo

Realizado conforme SIST 13823 (EN, 2020) que trata da determinação do desempenho quanto à reação ao fogo de materiais de construção, com exceção daqueles empregados em pisos, quando expostos a uma chama padrão singular. Para este ensaio foram utilizados 3 corpos de prova formados por duas partes denominadas “asas”, sendo a maior com dimensões de  $1.000 \pm 5 \text{ mm} \times 1.500 \pm 5 \text{ mm}$ , e a menor com dimensões de  $495 \pm 5 \text{ mm} \times 1.500 \pm 5 \text{ mm}$ , Figura 20. As asas foram montadas em forma de “L” no carrinho que faz parte do equipamento. Um queimador localiza-se no canto de junção entre as duas asas no carrinho. Este queimador produz uma chama padrão à qual o corpo de prova é submetido. São determinados então, a partir da queima do corpo de prova, os dados de ensaio, por meio de instrumentação do equipamento localizada no duto de extração dos gases gerados.

Figura 20 – Exemplares das amostras instalados no local do ensaio.



Fonte: Adaptado de ITT Performance (2024).

A instrumentação de ensaio segue os requisitos da SIST 13823 (EN, 2020), resumindo-se em uma câmara de alvenaria, com estrutura móvel acoplável para posicionamento do exemplar, equipada com queimadores de caixa de areia principal e auxiliar. Conta-se ainda com exaustão equipada com termopares, opacímetro e analisador de gases ( $O_2$  e  $CO_2$ ) e outros equipamentos auxiliares como termopares, manômetros, sistema de aquisição de dados, termo-higrômetro e insumo de propano com pureza mínima de 95%.

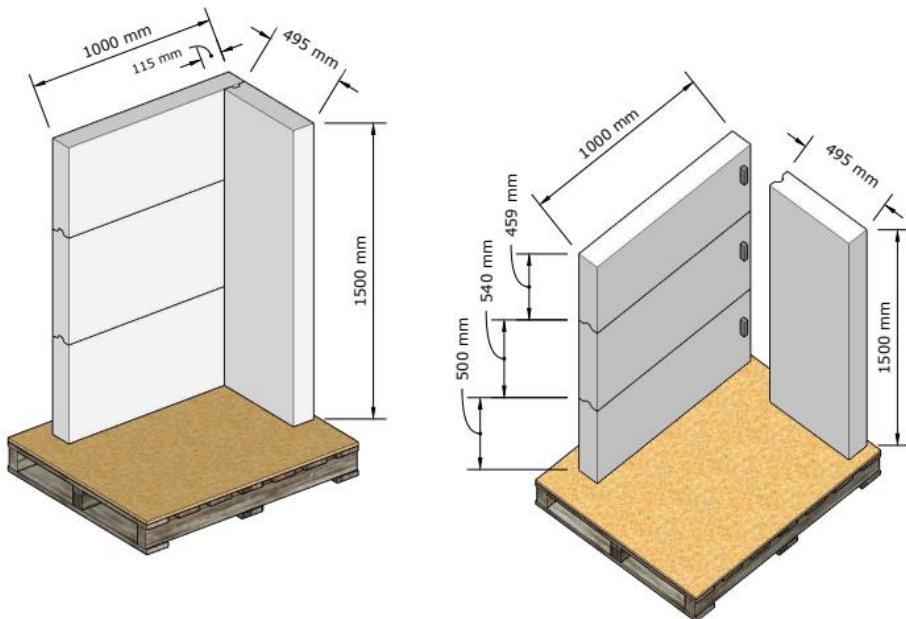
Na Figura 21 é apresentada uma visão externa e interna do equipamento empregado no ensaio e o queimador que produz a chama padrão, pela combustão de gás propano, difuso em uma caixa triangular com areia e ignição de  $30,7 \pm 2,0$  kW; localizado na junção entre as duas paredes que compõem os exemplares.

Figura 21 – Equipamento utilizado para ensaio de reação ao fogo.



Fonte: Adaptado de ITT Performance (2024).

Figura 22 – Croqui da amostra utilizada para o ensaio de reação ao fogo.



Fonte: A autora (2024).

O ensaio possui duração de 26 minutos. Durante os dois minutos iniciais, são coletadas as informações do ambiente antes do início do ensaio. Nos três minutos seguintes, são coletadas informações relacionadas ao queimador auxiliar, que não entra em contato direto com o exemplar. Isso permite que os parâmetros relativos à chama sejam subtraídos dos dados gerados pelo corpo de prova. A exposição do exemplar à chama do queimador principal, localizado na junção entre as duas paredes, ocorre aos 21 minutos e os resultados de cada índice são calculados considerando todo o período de exposição à chama principal, promovendo a avaliação das informações relacionadas apenas ao material ensaiado. Durante o ensaio, verifica-se também a propagação lateral da chama (LFS), caracterizada pelo alastramento de chamas sustentadas (mínimo cinco segundos) até a borda da asa maior entre as alturas de 500 e 1000 mm. Observa-se, ainda, a liberação de partículas flamejantes e desintegração da amostra.

Os resultados são expressos da seguinte forma: índice da taxa de desenvolvimento de fogo (FIGRA); índice da taxa de desenvolvimento de fumaça (SMOGRA); liberação total de calor do material (THR); produção total de fumaça (TSP); propagação lateral de chama (LFS) e ocorrência ou não de gotejamento e/ou desprendimento de material em chamas.

### 3.7.2 Propagação de chama

Ensaio realizado conforme a BS 11925-2 (ISO, 2020) Testes de reação ao fogo - Inflamabilidade de produtos submetidos à exposição direta à chama Parte 2: Teste de fonte de chama única, trata da determinação da ignitabilidade dos materiais, quando expostos à chama de queimador dentro de uma câmara de ensaio fechada, Figura 23.

Para a obtenção dos corpos de prova, os painéis foram cortados por meio de uma serra circular, com dimensões de 250 mm x 90 mm, e durante a execução do ensaio foram posicionados dentro da câmara de ensaio e colocados em contato com a chama do queimador. O ensaio consiste na determinação das características de ignitabilidade da amostra quando exposta à chama de um queimador padrão pelo período de 30 segundos, sendo o exemplar analisado por mais 30 segundos, com duração total de ensaio de 60 segundos.

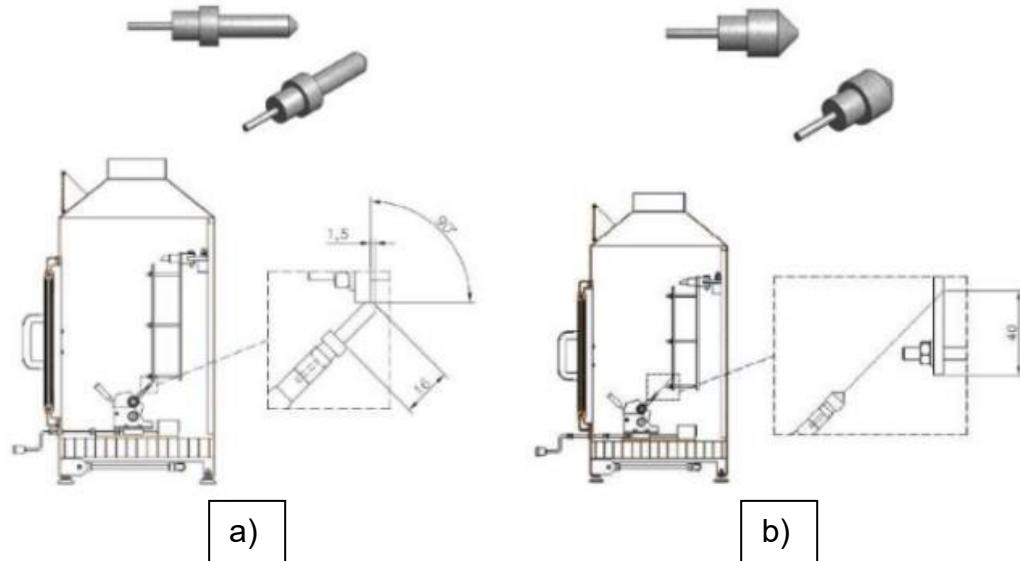
A chama é aplicada na borda (a) inferior e na superfície (b) do exemplar, utilizando-se, para isso, gabaritos espaçadores para verificação do ponto de aplicação da chama, conforme apresentado na Figura 24. São realizados dois testes com a chama aplicada na borda da amostra e dois testes com a chama aplicada na superfície do exemplar. Durante os testes são avaliadas a resistência à ignição, velocidade de propagação de chamas e liberação de partículas inflamáveis. Após a definição da situação crítica entre os diferentes pontos de aplicação de chama, são realizados seis testes na pior situação de queima.

Figura 23 – Câmara de ensaio com queimador ligado.



Fonte: A autora (2023).

Figura 24 – Gabarito de borda (a) e de superfície (b).



Fonte: Adaptado de ITT Performance (2024).

### 3.8 APLICAÇÃO EM SISTEMAS ESTRUTURAIS E ACABAMENTOS

Para verificar a compatibilidade dos painéis com sistemas estruturais e de acabamento foi realizada a aplicação de diferentes tipos de revestimento sobre o material, assim como a utilização do material em diferentes métodos estruturais, utilizando produtos da construção civil presentes no mercado.

Os sistemas construtivos utilizados para a realização do fechamento foram madeira, estrutura metálica e concreto armado, utilizando o sistema para a construção de novas edificações, reformas e ampliações.

Os revestimentos de acabamento utilizados foram revestimentos fixados através de furação como side vinílico e placas cimentícias, ou aplicados diretamente sobre a superfície do material como revestimento cerâmico, textura, tinta emborrachada, massa corrida e massa acrílica.

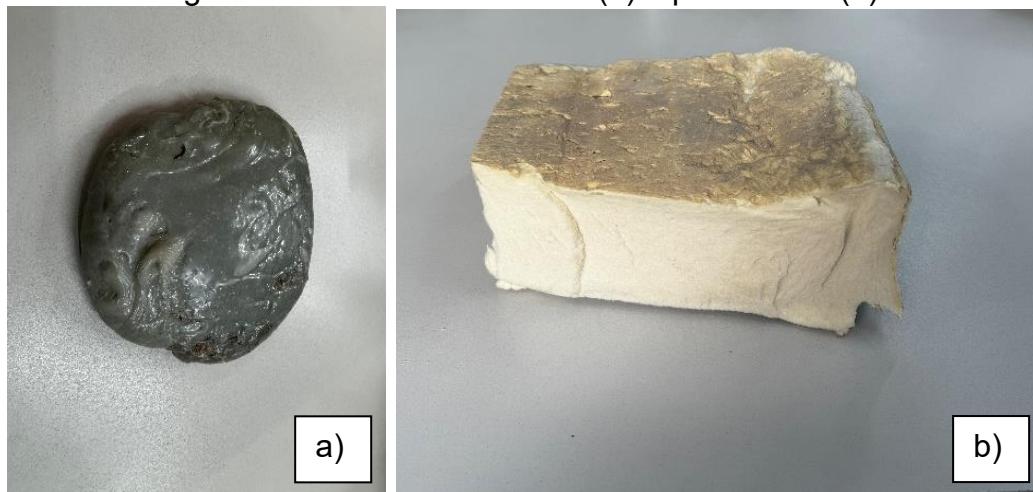
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados referentes a elaboração dos painéis, ensaios laboratoriais, testes *in loco* e simulações computacionais.

### 4.1 ELABORAÇÃO DOS PAINÉIS

Os resíduos poliméricos industriais, provenientes em sua maioria de indústrias de Joinville-SC e Jaraguá do Sul -SC, chegam ao local de separação em sacolas do tipo “Big Bags” de carga. Após a chegada dos materiais, os resíduos de poliuretano e resina poliéster são separados dos demais resíduos manualmente, Figura 25.

Figura 25 – Resíduo de resina (a) e poliuretano (b).



Fonte: A autora (2024).

Os materiais são moídos em triturador industrial (Figura 26) até obter-se o estado de pó e misturados na proporção de 60% de resina e 40% de poliuretano em volume, conforme a Figura 27.

Figura 26 – Entrada (a) e saída (b) do material no triturador.



Fonte: A autora (2024).

Figura 27 – Mistura para a elaboração dos painéis.



Fonte: A autora (2024).

Os materiais são então distribuídos em formas metálicas e levados ao forno industrial por 2h a 200 °C, Figura 28.

Figura 28 – Forma metálica (a) e forno industrial (b).



Fonte: A autora (2024).

Após a elaboração, os painéis podem ser utilizados em diferentes formatos, podendo ser utilizados como blocos de encaixe com dimensões de 25,0x50,0x9,7cm, Figura 29, e/ou como placas com 54,0x240,0x12,0 cm, Figura 30, sendo estas dimensões limitadas pelo tamanho da fôrma utilizada na produção.

Figura 29 – Painel usinado em forma de bloco com encaixe (a) e parede executada com o bloco (b).



Fonte: A autora (2024).

Figura 30 – Fechamento com placas em formato de painel.



Fonte: A autora (2024).

#### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

As densidades para cada corpo de prova (9x9x24 cm) foram determinadas utilizando-se a razão entre a massa, obtida por meio de pesagem das amostras (Figura 31) sobre o volume das amostras estão representadas na

Tabela 10. Foram utilizadas para a obtenção da densidade as mesmas amostras do ensaio de compressão.

Figura 31 – Obtenção de densidade.



Fonte: A autora (2025).

Tabela 10 – Determinação da Densidade dos corpos de prova.

Corpo de Prova	Volume [cm <sup>3</sup> ]	Massa [g]	Densidade [kg/ m <sup>3</sup> ]
CP 1	1944	1641,90	844,60
CP 2	1944	1625,97	836,40
CP3	1944	1732,99	891,46
CP4	1944	1618,27	832,44
CP5	1944	1805,80	928,91
CP6	1944	1638,70	842,95
CP7	1944	1791,84	921,73
Média	1944	1693,64	871,21
Desvio Padrão		81,37	41,85

Fonte: A autora (2023).

Para as 7 amostras utilizadas, com volume de 1944 cm<sup>3</sup>, a massa média obtida foi de 1693,64 g e a densidade média de 871,21 kg/m<sup>3</sup>.

Da Silva *et al.* (2024) realizou estudos produzindo blocos de gesso para vedação vertical, utilizando resíduos, com densidade variando entre 818,60 kg/m<sup>3</sup> e 823,05 kg/m<sup>3</sup>. Esses blocos sofram classificados como blocos de densidade média segundo critérios da ABNT NBR 16494:2017- Blocos de gesso para vedação vertical – Requisitos.

Conforme documentação emitida pela empresa geradora, os resíduos utilizados na fabricação dos painéis são classificados como sendo da Classe IIA,

Resíduos não perigosos – não inertes. Isso significa que, embora não apresentem risco imediato à saúde ou ao meio ambiente, ainda podem sofrer decomposição ou reações físico-químicas ao longo do tempo, o que exige cuidados adequados em seu manejo, armazenamento e eventual disposição.

### 4.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS

#### 4.3.1 Ensaio de impacto de corpo mole

Por meio da determinação da resistência ao impacto de corpo mole em vedação vertical realizada conforme NBR 15575-4 (ABNT,2021) foram obtidos os seguintes resultados ilustrados na Tabela 11.

Tabela 11 – Impacto de corpo mole.

Energia de impacto [J]	Deformação instantânea [mm]	Deformação residual [mm]	Análise Visual
60	2,70	0,00	Sem alteração
120	4,33	0,00	Sem alteração
120	4,52	0,00	Sem alteração
120	4,62	0,00	Sem alteração
180	5,12	0,26	Sem alteração
240	4,80	0,18	Sem alteração
360	7,28	0,02	Sem alteração
480	10,05	0,19	Sem alteração
640	9,89	0,15	Sem alteração

Fonte: Adaptado de SENAI – IST Cerâmica (2023).

Com os resultados obtidos, os corpos de prova atingiram nível superior dos critérios da normativa de desempenho, que consiste em não apresentar ruína com impactos de 240 J. Os impactos com energia acima de 240 J foram realizados para observação do comportamento do sistema, não estando previstos em norma.

Carrasco *et al.* (2020) realizaram ensaios de impacto de corpo mole em paredes de madeira laminada colada, apresentando valores de deformação instantâneas variando entre 1,8mm e 30,3 mm e uma pequena escamação na região do impacto na análise visual.

#### 4.3.2 Ensaio de impacto de corpo duro

A resistência ao Impacto de corpo duro em Vedação Vertical, realizada conforme ABNT NBR 15575 – 4: Anexo B (ABNT,2021) foi determinada utilizando-se esferas de aço de 0,5 kg e 1 kg para se obter a energia necessária de impacto na parede teste.

As esferas foram suspensas em estrutura metálica e após o impacto foram observadas mossas de deformação. Essas mossas foram medidas com paquímetro obtendo os resultados apresentados nas Tabelas 12 a 15.

Tabela 12 – Impacto de corpo duro de 0,5 kg e Energia de impacto de 2,5 J.

Impacto	Energia de impacto [J]	Análise Visual	Profundidade da mossa [mm]
1	2,50	Mossa	0,72
2	2,50	Mossa	0,72
3	2,50	Mossa	0,63
4	2,50	Mossa	0,57
5	2,50	Mossa	0,66
6	2,50	Mossa	0,61
7	2,50	Mossa	0,46
8	2,50	Mossa	0,75
9	2,50	Mossa	0,62
10	2,50	Mossa	0,88

Fonte: Adaptado de SENAI – IST Cerâmica (2023).

Tabela 13 – Impacto de corpo duro de 0,5 kg e Energia de impacto de 3,75 J.

Impacto	Energia de impacto [J]	Análise Visual	Profundidade da mossa [mm]
1	3,75	Mossa	0,40
2	3,75	Mossa	0,34
3	3,75	Mossa	0,28
4	3,75	Mossa	0,73
5	3,75	Mossa	0,79
6	3,75	Mossa	0,40
7	3,75	Mossa	0,56
8	3,75	Mossa	0,30
9	3,75	Mossa	0,37
10	3,75	Mossa	0,54

Fonte: Adaptado de SENAI – IST Cerâmica (2023).

Tabela 14 – Impacto de corpo duro de 1,0 kg e Energia de impacto de 10 J.

Impacto	Energia de impacto [J]	Análise Visual	Profundidade da mossa [mm]
1	10,00	Mossa	1,11
2	10,00	Mossa	0,70
3	10,00	Mossa	0,88
4	10,00	Mossa	0,67
5	10,00	Mossa	0,67
6	10,00	Mossa	0,90
7	10,00	Mossa	0,75
8	10,00	Mossa	0,93
9	10,00	Mossa	1,19
10	10,00	Mossa	0,81

Fonte: Adaptado de SENAI – IST Cerâmica (2023).

Tabela 15 – Impacto de corpo duro de 1,0 kg e Energia de impacto de 20 J.

Impacto	Energia de impacto [J]	Análise Visual	Profundidade da mossa [mm]
1	20,00	Mossa	0,60
2	20,00	Mossa	0,58
3	20,00	Mossa	0,80
4	20,00	Mossa	0,65
5	20,00	Mossa	0,57
6	20,00	Mossa	1,29
7	20,00	Mossa	0,65
8	20,00	Mossa	1,23
9	20,00	Mossa	1,48
10	20,00	Mossa	1,37

Fonte: Adaptado de SENAI – IST Cerâmica (2023).

Figura 32 – Mossas formadas no impacto.



Fonte: Adaptado de SENAI – IST Cerâmica (2023).

Com os resultados obtidos o sistema atende os critérios normativos de não ocorrência de falhas com impactos de até 2,5 J e sem ruptura ou transpasse com impactos de 10 J.

#### 4.3.3 Ensaio de peças suspensas

Os resultados obtidos no ensaio de peças suspensas estão dispostos na Tabela 16. O Ensaio foi executado em uma parede protótipo com altura de 2650 mm, utilizando parafusos Philips 6 mm.

Tabela 16 – Ensaio de peças suspensas

Carga aplicada [kN]	Elemento Parede		Sistema de fixação		Análise visual
	Deslocamento instantâneo [mm]	Deslocamento após 3 min [mm]	Deslocamento instantâneo [mm]	Deslocamento após 3 min [mm]	
0,05	-	-	-	-	sem alteração
0,10	0,02	0,02	-	-	sem alteração
0,15	0,02	0,02	-	-	sem alteração
0,20	0,03	0,03	0,04	0,04	sem alteração
0,25	0,07	0,07	0,04	0,04	sem alteração
0,30	0,07	0,07	0,05	0,05	sem alteração
0,35	0,07	0,07	0,05	0,05	sem alteração
0,40	0,07	0,07	0,07	0,07	sem alteração
0,45	0,07	0,07	0,07	0,07	sem alteração
0,50	0,07	0,09	0,12	0,12	sem alteração
0,55	0,07	0,10	0,12	0,12	sem alteração
0,60	0,09	0,12	0,15	0,15	sem alteração
0,65	0,11	0,17	0,17	0,17	sem alteração
0,70	0,15	0,20	0,17	0,17	sem alteração
0,75	0,22	0,22	0,17	0,17	sem alteração
0,80	0,24	0,24	0,17	0,17	sem alteração

Fonte: Adaptado de SENAI – IST Cerâmica (2023).

Figura 33 – Execução do ensaio de peças suspensas.



Fonte: A autora (2023).

O ensaio ocorreu sem falhas ou fissuras que possam comprometer o estado-limite de serviço, atingindo então os requisitos normativos.

#### 4.3.4 Ensaio de compressão

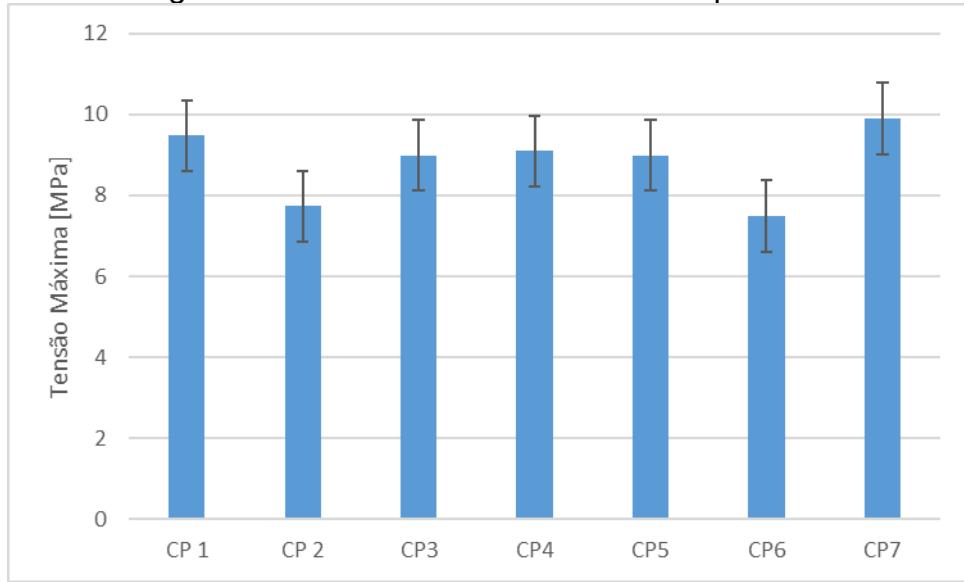
Os resultados obtidos no ensaio de compressão estão dispostos na Tabela 17 e Figuras 34 e 35.

Tabela 17 – Ensaio de compressão

Corpo de Prova	Área [cm <sup>2</sup> ]	Força máxima [kN]	Tensão Máxima [MPa]	Taxa [MPa/s]
CP 1	216,00	204,62	9,47	0,06
CP 2	216,00	166,94	7,73	0,03
CP3	216,00	194,13	8,99	0,03
CP4	216,00	196,36	9,09	0,06
CP5	216,00	194,13	8,99	0,04
CP6	216,00	161,70	7,49	0,04
CP7	216,00	213,85	9,90	0,04
Média	216,00	190,20	8,80	0,04
Mediana	216,00	194,10	8,98	0,04
Desvio Padrão	0,00	19,10	0,88	0,01
Coeficiente de variação [%]	0,00	10,04	10,04	32,36
Mínimo	216,00	161,70	7,48	0,02
Máximo	216,00	213,80	9,90	0,06

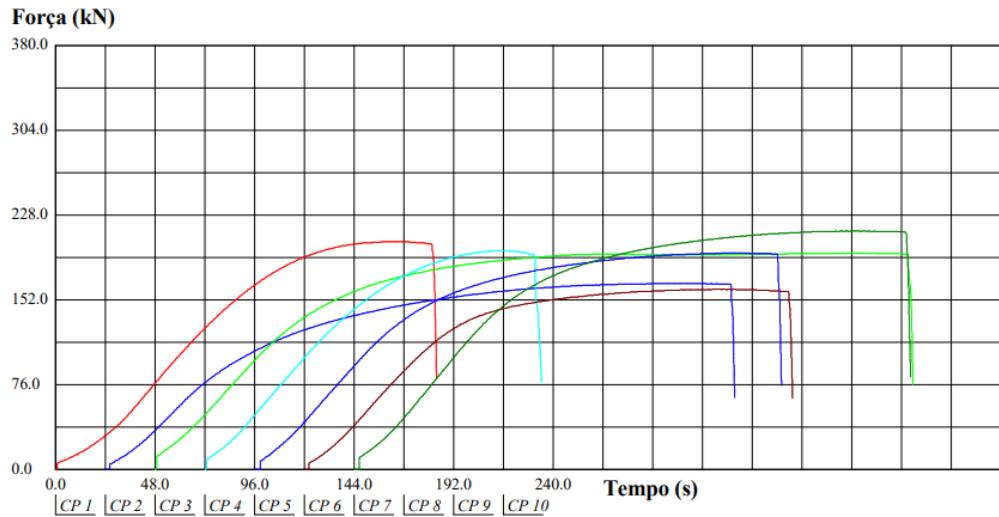
Fonte: A autora (2025).

Figura 34 – Ensaio de resistência à compressão.



Fonte: A autora (2025).

Figura 35 – Ensaio de resistência à compressão.



Fonte: A autora (2025).

Segundo a normativa NBR 15270-1 Blocos e Tijolos para alvenaria, Parte 1 – Requisitos (ABNT, 2023), estes podem ser utilizados para sistema de vedação, sem função estrutural, quando apresentarem resistência a compressão a partir de 1,5 MPa. Portanto, a resistência a compressão dos blocos de resíduos poliméricos é maior que o exigido pela normativa de blocos cerâmicos.

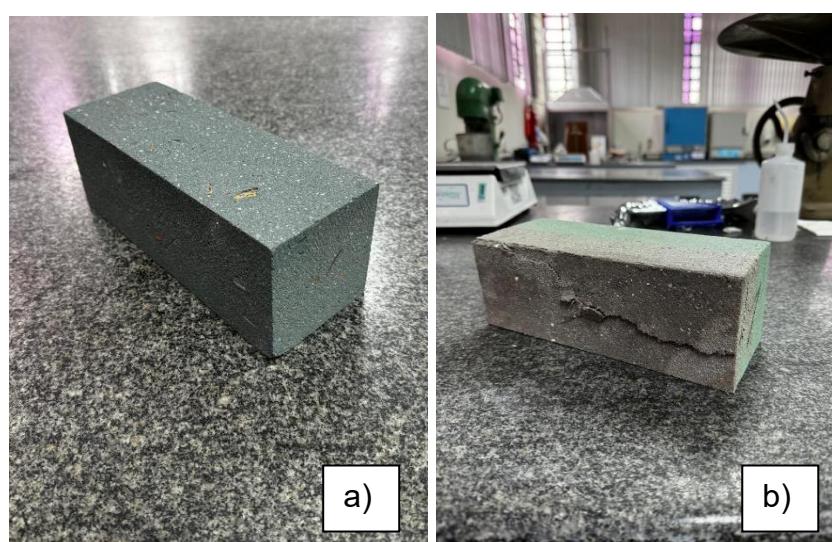
A execução do ensaio está apresentada nas Figuras 36 e 37, onde pode-se observar o equipamento utilizado para a execução do ensaio e as amostras antes e depois do rompimento.

Figura 36 – Execução do ensaio de resistência à compressão.



Fonte: A autora (2025).

Figura 37 – Corpos de prova antes (a) e depois da execução do ensaio de resistência à compressão (b).



Fonte: A autora (2025).

## 4.4 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS PAINÉIS

### 4.4.1 Condutividade térmica – Condutivímetro K10N

A Tabela 18, apresenta os valores de condutividade térmica, para as 9 amostras ensaiadas por meio do Condutivímetro K10N.

Tabela 18 – Condutividade térmica.

Amostra	Condutividade térmica [W/mK]
1	0,1076
2	0,1083
3	0,1073
4	0,1065
5	0,1075
6	0,1075
7	0,1085
8	0,1105
9	0,1286
Média	0,1103
Desvio Padrão	0,0065

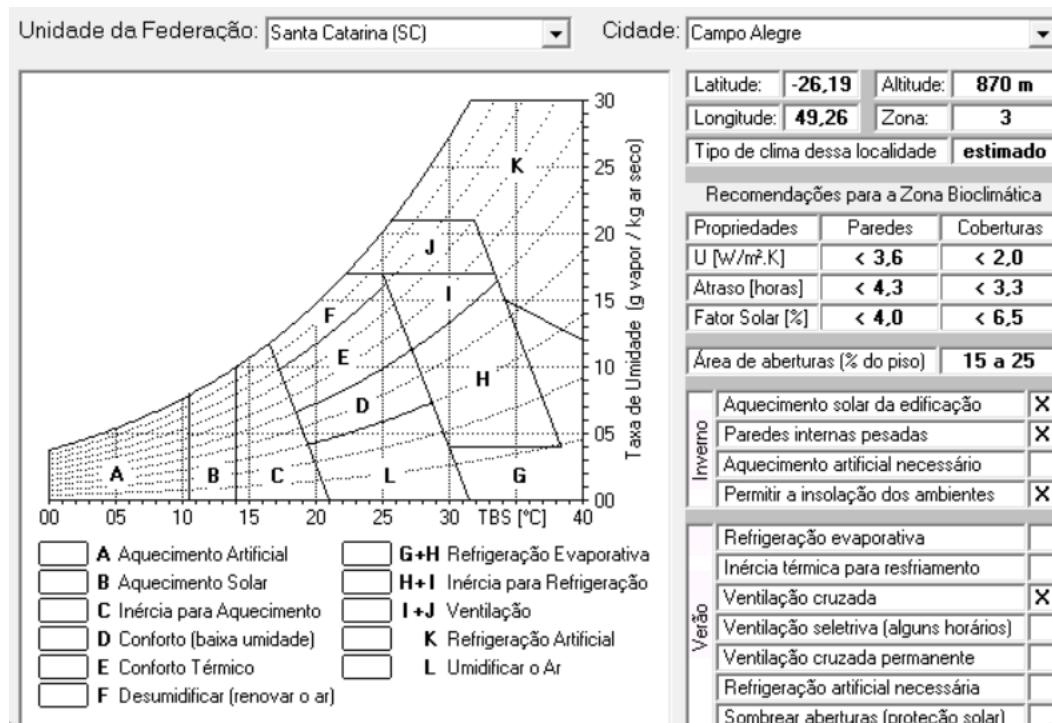
Fonte: A autora (2025).

O catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas (LabEEE, 2010), expõe valores de condutividade térmica de materiais utilizados para paredes. Segundo este catálogo, a argamassa de assentamento possui condutividade de 1,15 W/mK, o reboco possui condutividade de 1,15 W/mK e o tijolo cerâmico possui condutividade térmica de 0,90 W/mK.

Assim, pode-se observar que os valores de condutividade térmica obtidos através dos ensaios das amostras são menores do que os valores dos materiais usualmente empregados nos sistemas de vedação vertical.

A carta bioclimática, obtida através do *software* ZBBR (UFSCar), que apresenta a Classificação Bioclimática das sedes dos municípios brasileiros e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, conforme a ABNT NBR 15220-3, resulta nas recomendações necessárias para atingir o conforto térmico na Zona Bioclimática de Campo Alegre, sendo elas: aquecimento solar e insolação dos ambientes no inverno e ventilação cruzada no verão.

Figura 38 – Carta Bioclimática – ZBBR.



Fonte: A autora (2025).

A transmitância térmica (U) recomendada para as paredes localizadas na Zona Bioclimática de Campo Alegre é de valores menores que 3,6 W/m<sup>2</sup>K.

De acordo com os valores de condutividade térmica obtidos em laboratório e a espessura do material utilizado na edificação, o inverso da resistência térmica, que é a transmitância térmica do material seria de 0,91 W/m<sup>2</sup>K, adequado para a Zona Bioclimática em questão.

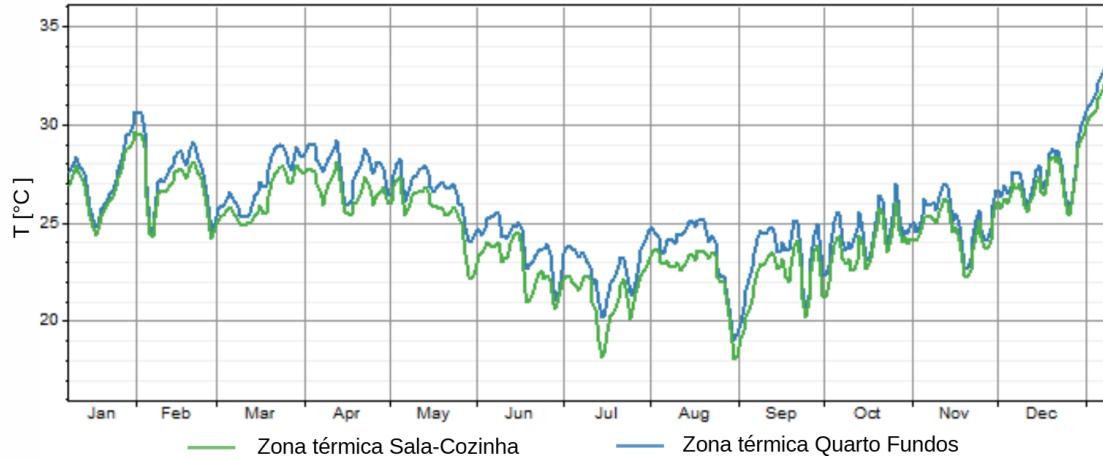
#### 4.4.2 Simulações computacionais

As imagens abaixo representam as temperaturas obtidas nas simulações computacionais realizadas com o Software EnergyPlus, representando os mesmos cômodos onde foram realizadas as medições *in loco*: a sala-cozinha e o quarto aos fundos. Os gráficos representam valores estimados de temperatura por hora, ao longo de todo o ano.

A Figura 39, representa os valores de temperatura obtidos nas Zonas térmicas da Sala-Cozinha em verde e do Quarto aos fundos em azul, com

temperaturas mais baixas registradas nos meses de julho e agosto e máximas no mês de janeiro.

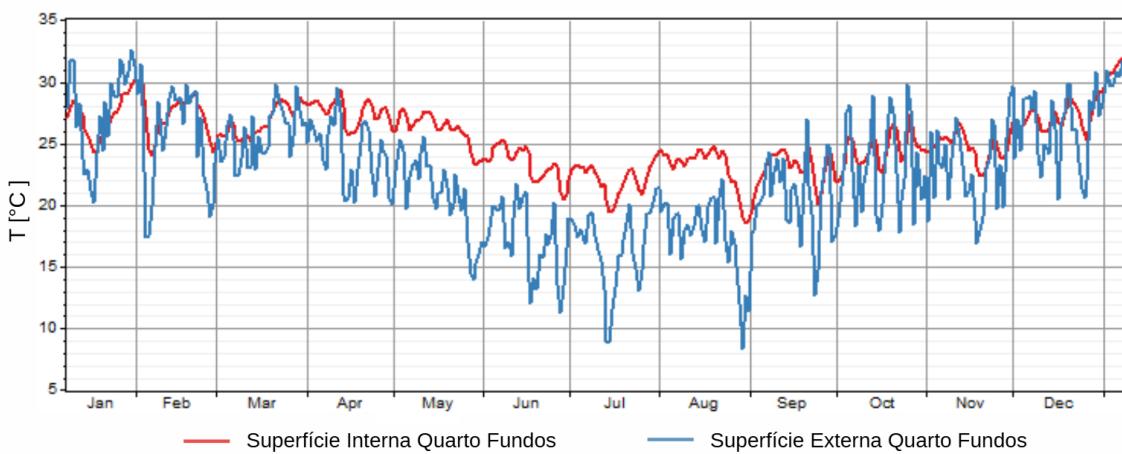
Figura 39 – Temperatura nas Zonas térmicas do quarto e sala.



Fonte: A autora (2025).

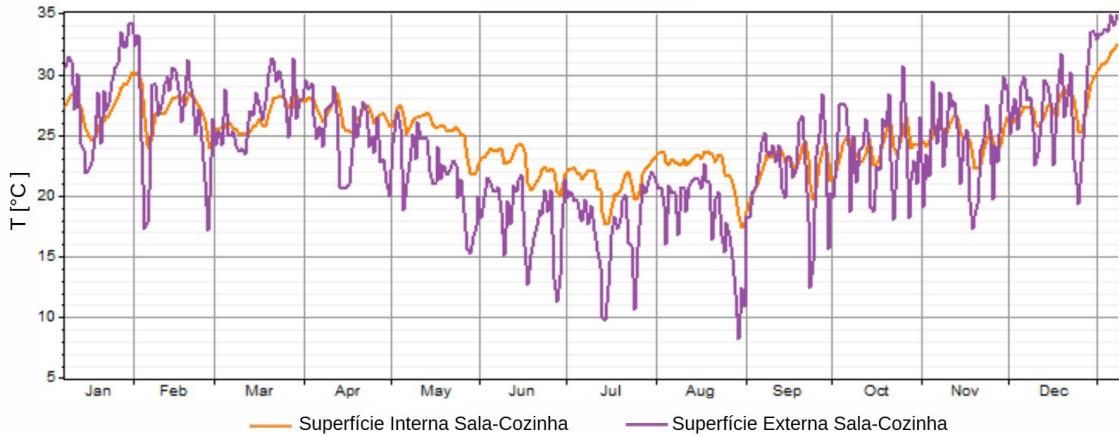
A Figura 40, representa os valores de temperatura obtidos nas superfícies da parede do quarto aos fundos, a superfície interna em vermelho e a superfície externa em azul. No período de temperaturas mais elevadas, no mês de janeiro, pode-se observar a temperatura externa mais elevada em comparação a temperatura interna. No período de temperaturas mais baixas, julho e agosto, observa-se a temperatura externa menor. A superfície interna possui menor variação de temperatura ao longo do ano. O mesmo ocorre na Figura 41, que representa as temperaturas na superfície das paredes da área da sala-cozinha.

Figura 40 – Temperatura nas superfícies da parede do quarto.



Fonte: A autora (2025).

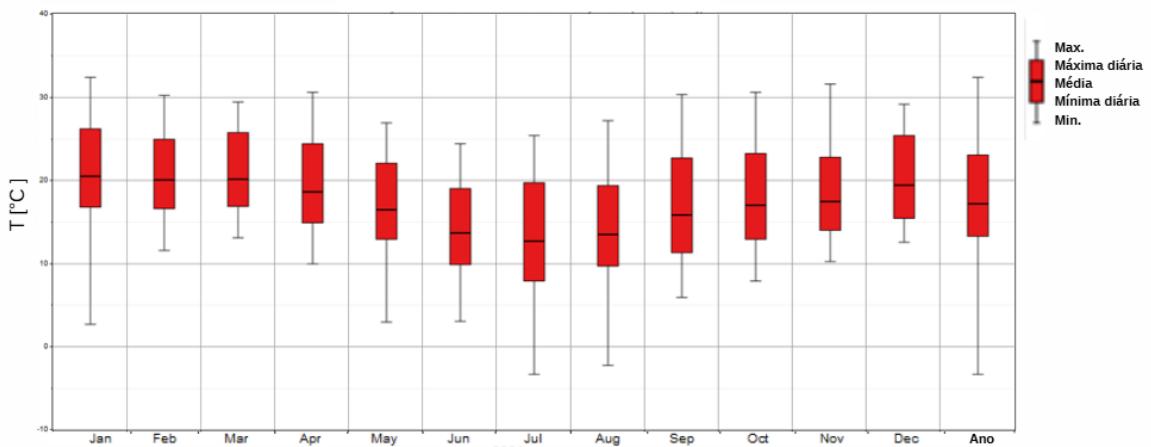
Figura 41 – Temperatura nas superfícies da parede da sala.



Fonte: A autora (2025).

A Figura 42 apresenta os valores de temperatura de bulbo seco do ar externo no local, obtida através das simulações.

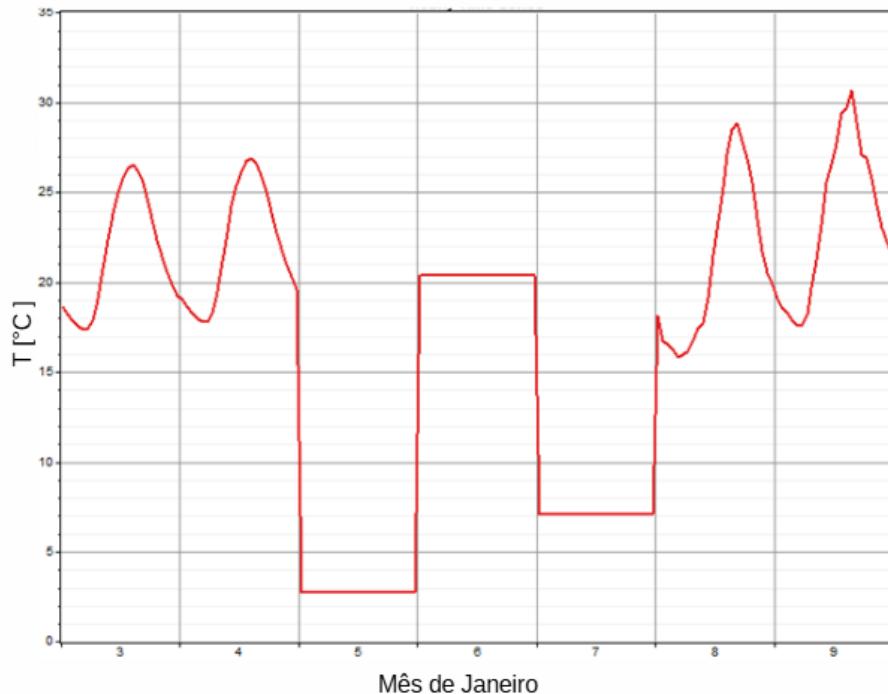
Figura 42 – Temperatura de bulbo seco do ar externo ao local.



Fonte: A autora (2025).

Para o mês de janeiro, foram observadas temperaturas abaixo do usual, podendo indicar falha nos dados do arquivo climático. A Figura 43, ilustra comportamento de temperatura divergente nos dias 5, 6 e 7 de janeiro, confirmando a falha nas informações desse período.

Figura 43 – Falhas nas informações de temperatura do mês de janeiro.



Fonte: A autora (2025).

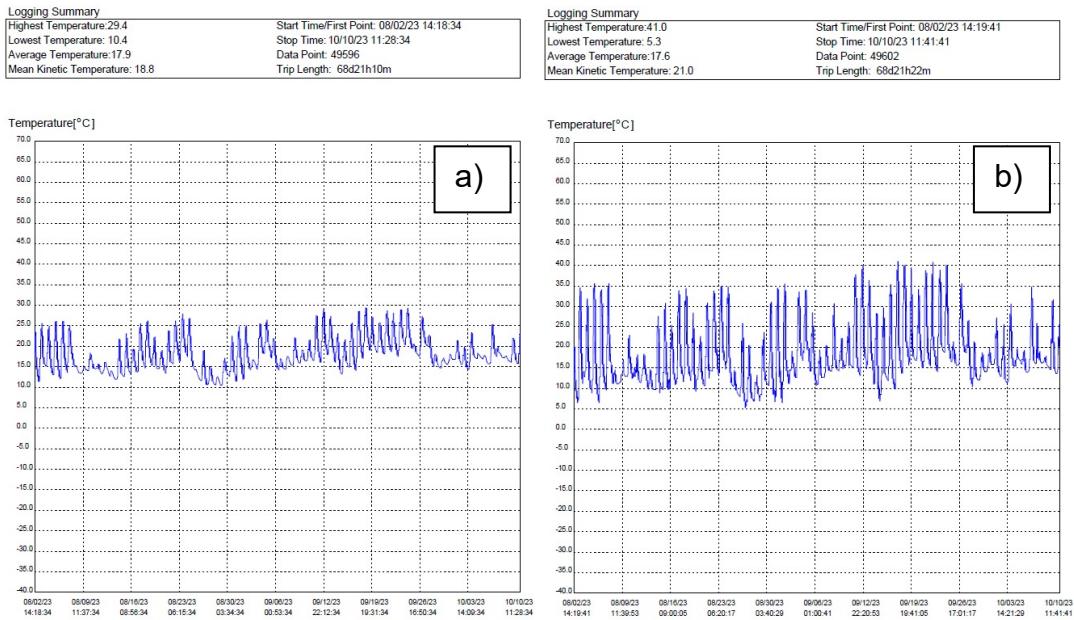
#### 4.4.3 Medições de temperatura *in loco*

As medições *in loco* foram realizadas entre 02/08/2023 e 10/10/2023, totalizando 68 dias, com medições a cada 2 minutos.

As medições realizadas na fachada norte, sala e cozinha, estão representadas na Figura 44. O valor máximo de temperatura externa obtido foi de 41,0° C e a temperatura externa mínima foi de 5,3° C. O valor máximo de temperatura interna obtido foi de 29,4° C e o valor mínimo de temperatura interna foi de 10,4° C.

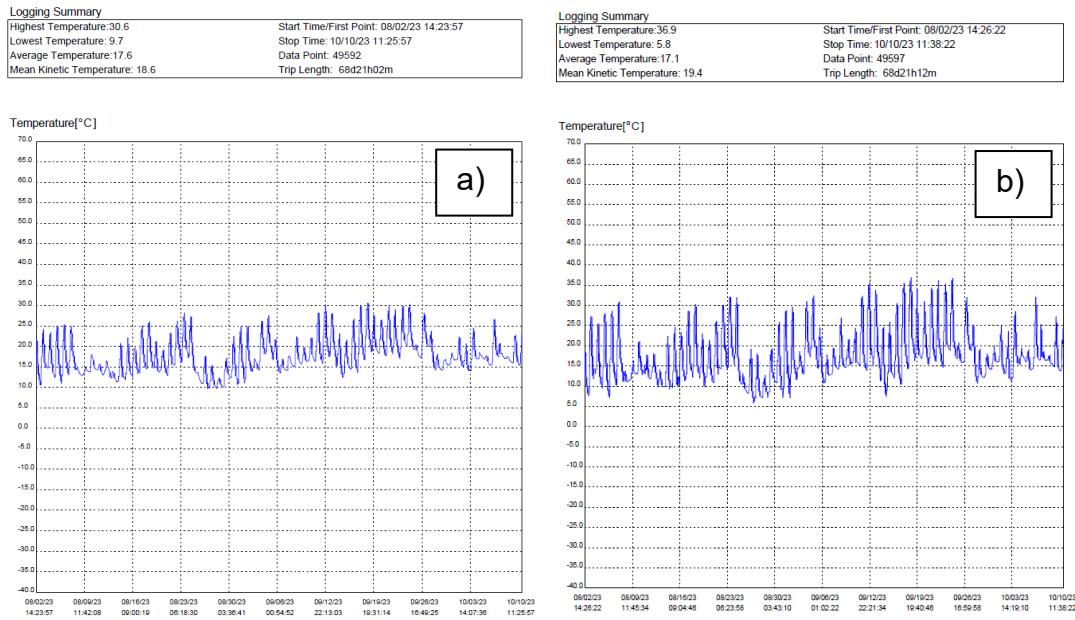
As medições realizadas na fachada sul, quarto, estão representadas na Figura 45, onde o valor máximo de temperatura externa obtida foi de 36,9° C e a temperatura externa mínima foi de 5,8° C. O valor máximo de temperatura interna obtido foi de 30,6° C e o valor mínimo de temperatura interna foi de 9,7° C.

Figura 44 – Medições in loco – Norte – Internas (a) e externas (b).



Fonte: A autora (2023).

Figura 45 – Medições in loco – Sul – Internas (a) e externas (b).



Fonte: A autora (2023).

Após a análise dos dados, o dia mais frio do período de medições foi identificado como o dia 27/08/2023, e o dia mais quente ocorreu em 18/09/2023. As temperaturas medidas nos dias extremos estão representadas abaixo.

A Figura 46, apresenta os valores de temperatura no dia mais frio, variando entre aproximadamente 5 ° C e 20 ° C nas superfícies externas e 10° C e 15 ° C nas superfícies internas.

A Figura 47, apresenta os valores de temperatura no dia mais quente, variando entre aproximadamente 15 ° C e 40 ° C nas superfícies externas e 17° C e 30 ° C nas superfícies internas.

A cor azul representa os valores de temperatura interna ao quarto, a cor cinza os valores de temperatura interno a sala-cozinha, a cor alaranjada as temperaturas externas ao quarto e a cor amarela as temperaturas externas a sala-cozinha.

Figura 46 – Medições in loco – dia mais frio.

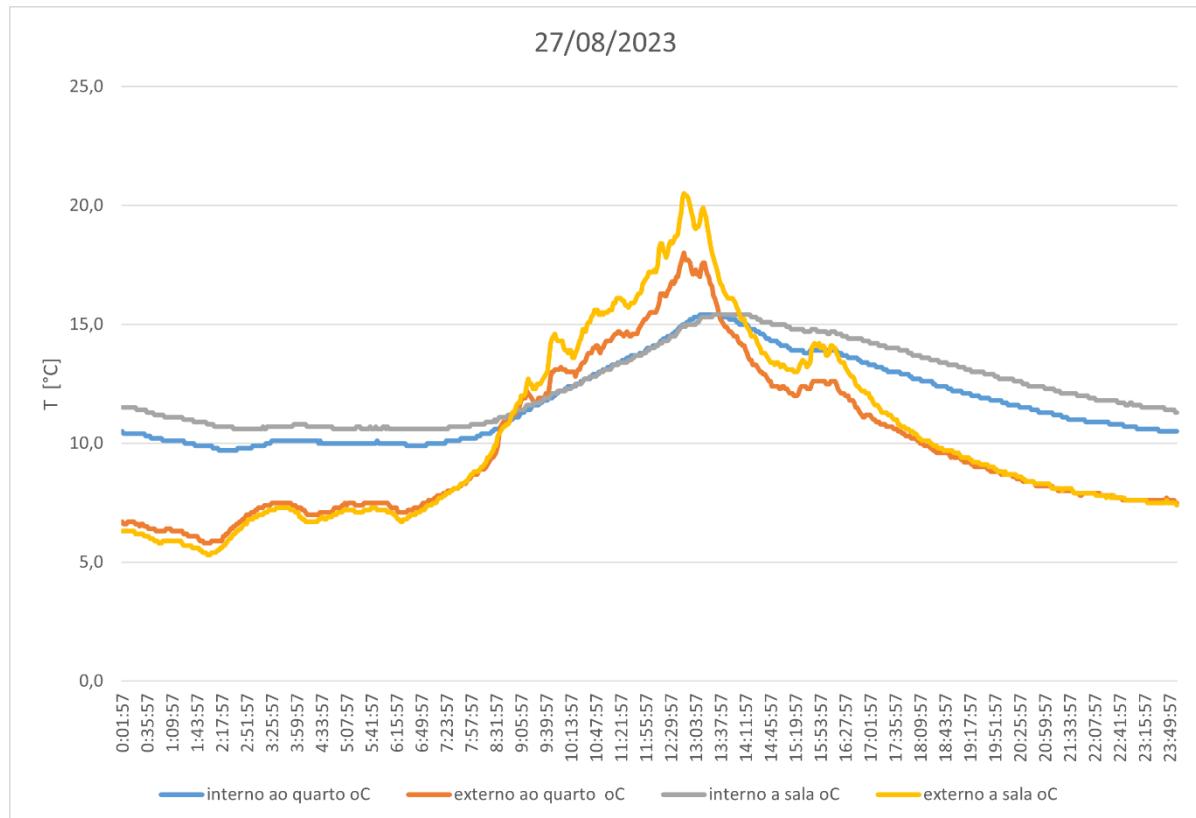
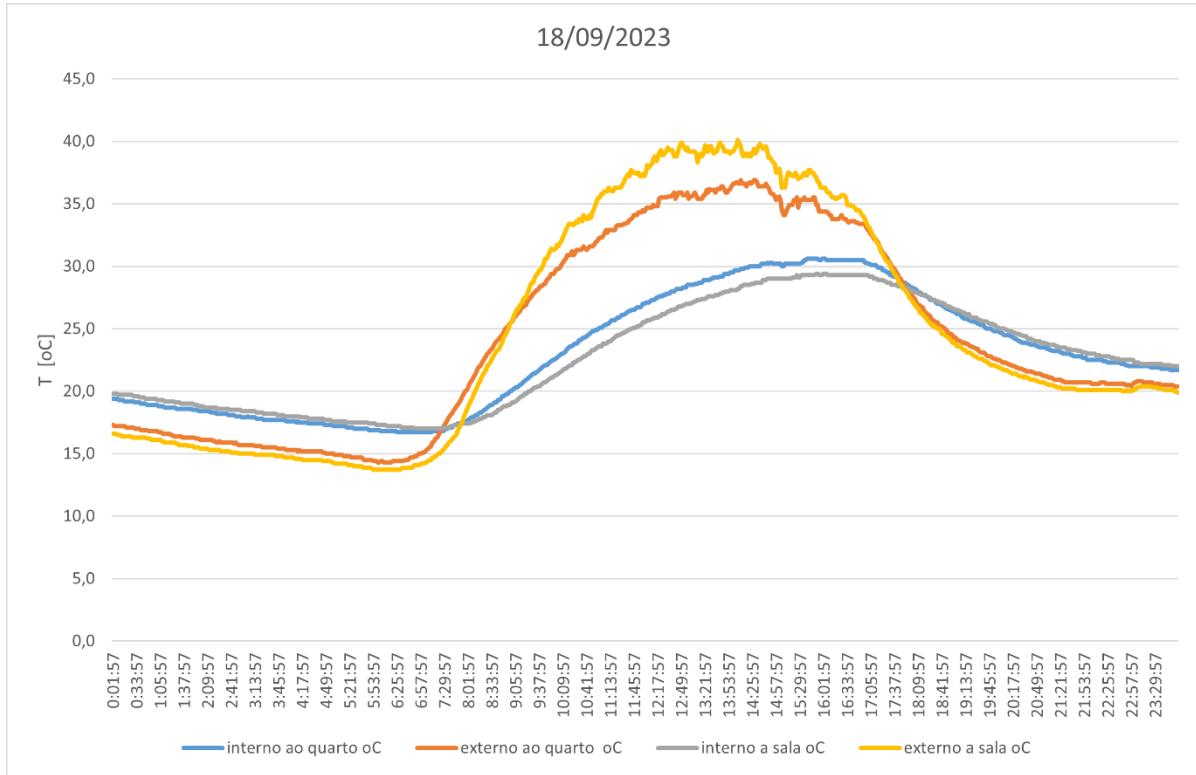


Figura 47 – Medições in loco – dia mais quente.



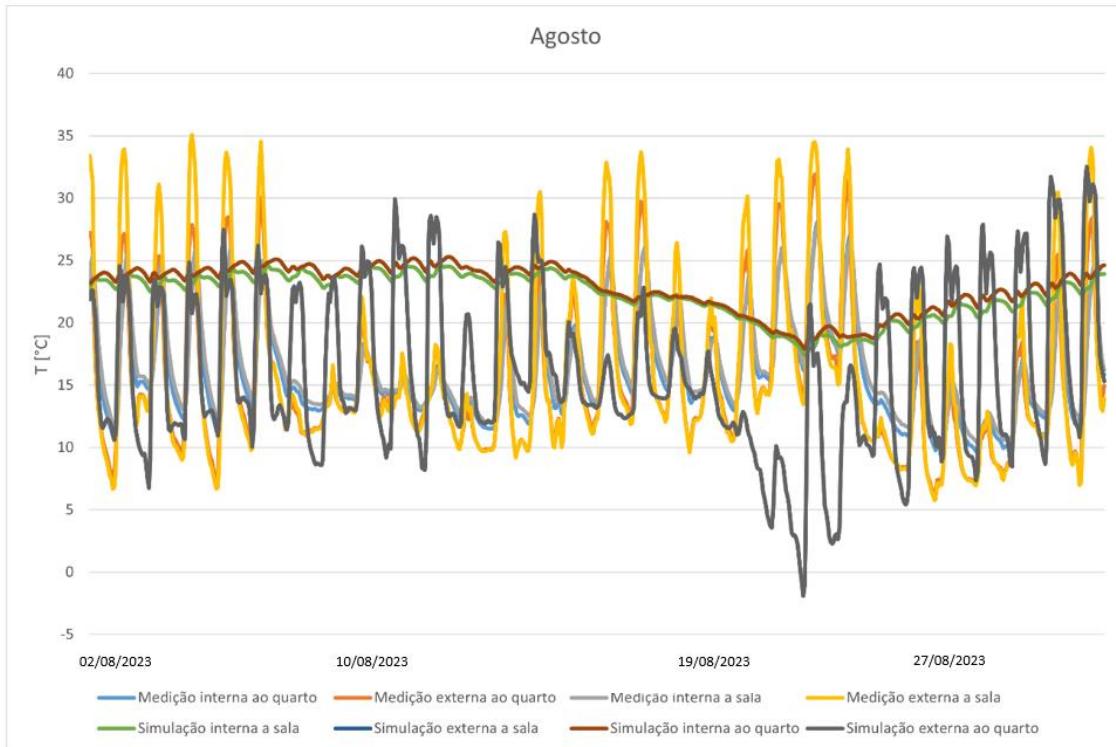
Fonte: A autora (2023).

Pode-se observar que a temperatura interna varia aproximadamente 5 ° C no dia mais frio e 12 ° C no dia mais quente e também que as temperaturas extremas, inferiores e superiores ocorrem primeiro nas superfícies externas.

#### 4.4.4 Comparativo entre as medições e simulações de temperatura

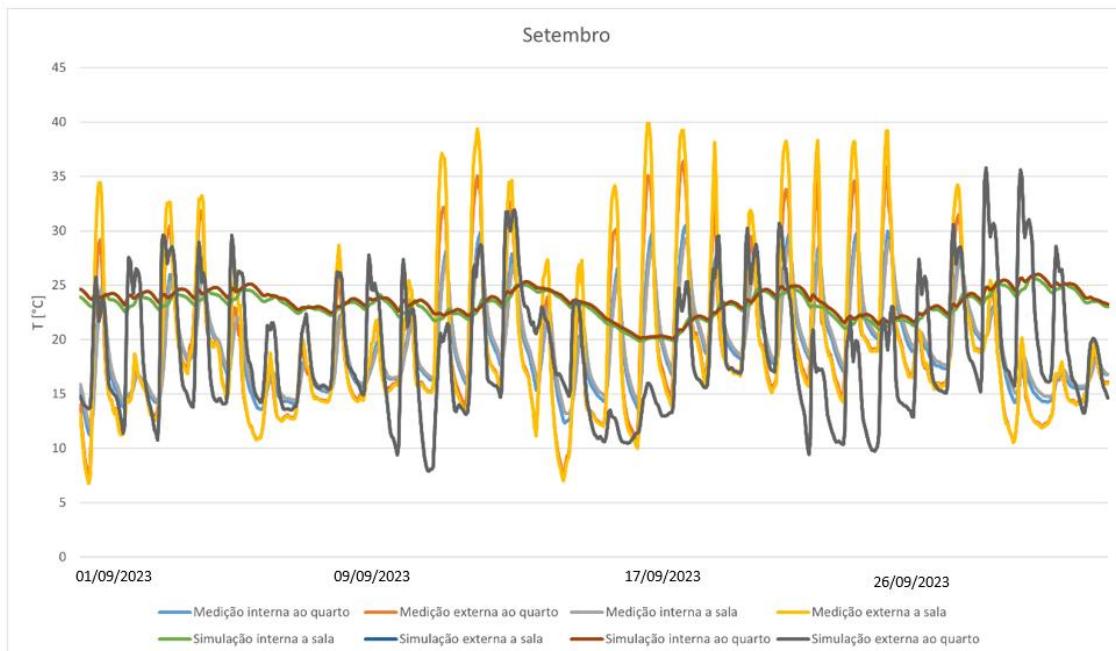
As figuras 48 e 49 representam a comparação das temperaturas obtidas através das medições e simulações computacionais dos meses de agosto e setembro. As temperaturas internas provenientes das simulações consideram a média entre a temperatura da superfície interna da parede e a temperatura da zona térmica do ambiente. As temperaturas externas provenientes da simulação consideram a média entre a temperatura na superfície externa da parede e o ar externo.

Figura 48 – Simulação e medição – Agosto.



Fonte: A autora (2025).

Figura 49 – Simulação e medição – Setembro.



Fonte: A autora (2025).

O arquivo climático utilizado na simulação possui dados de um ano típico meteorológico, portanto não são as mesmas informações climáticas do ano em que foram realizadas as medições, fato que pode causar divergências entre as informações.

As simulações preveem menores variações de temperatura interna quando comparada aos valores medidos *in loco*.

## 4.5 PROPRIEDADES ACÚSTICAS DOS PAINÉIS

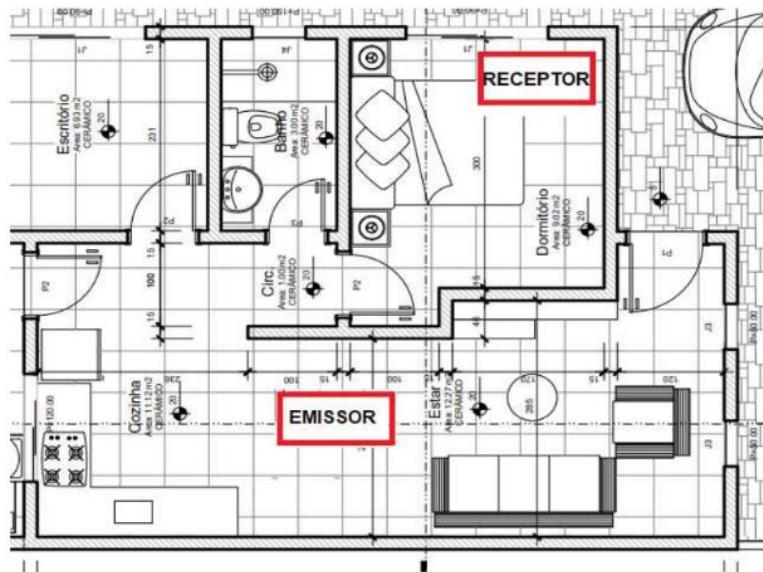
### 4.5.1 Ensaio acústico *in loco*

No ensaio realizado *in loco*, para avaliação do desempenho acústico da vedação vertical entre dormitório e sala, foram determinadas a diferença de nível padronizada (DnT) e a diferença de nível padronizada ponderada (DnT,w). As portas e janelas permaneceram fechadas durante o ensaio, a temperatura ambiente encontrava-se em 24,7° C e a umidade em 64%.

Para a execução do ensaio foi utilizado um Medidor integrador sonoro 12250 - Certificado de calibração RBC1-10907-448, Calibrador acústico 88146 - Certificado de calibração RBC2-10907-538 e Fonte omnidirecional DS 14110.

A sala, o ambiente emissor de som, possui área de 24,39 m<sup>2</sup> e volume de 63,41 m<sup>3</sup>. O dormitório, ambiente receptor, possui área de 9,02 m<sup>2</sup> e volume de 23,45 m<sup>3</sup>.

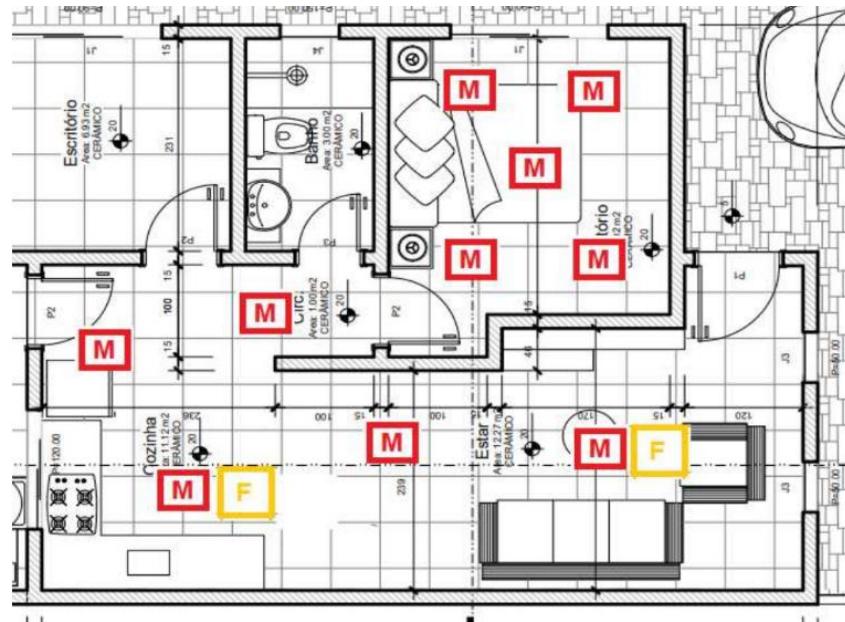
Figura 50 – Pontos de emissão e recepção.



Fonte: Adaptado de SENAI – IST Cerâmica (2023).

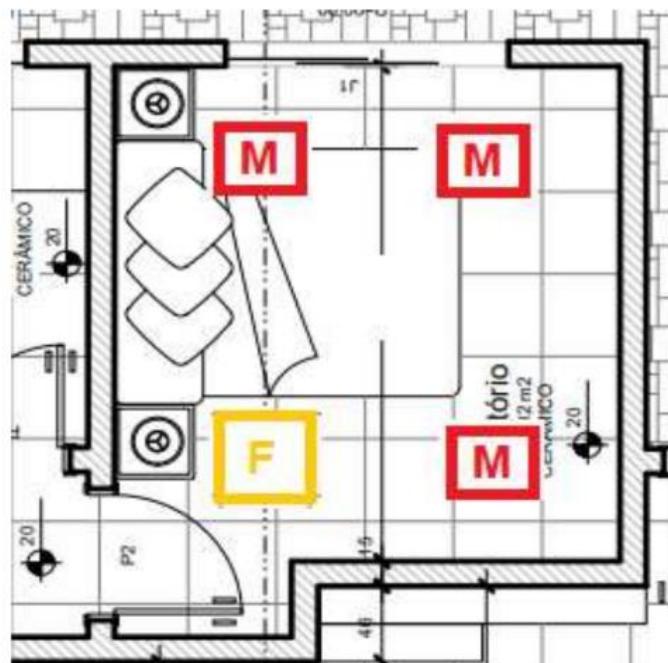
Durante o ensaio, o posicionamento das fontes emissoras e receptoras foram modificados para realizar diferentes medições.

Figura 51 – Posição da fonte e do microfone no ambiente emissor e receptor.



Fonte: Adaptado de SENAI – IST Cerâmica (2023).

Figura 52 – Posição da fonte e microfone para medição do tempo de reverberação - Ambiente Receptor.



Fonte: Adaptado de SENAI – IST Cerâmica (2023).

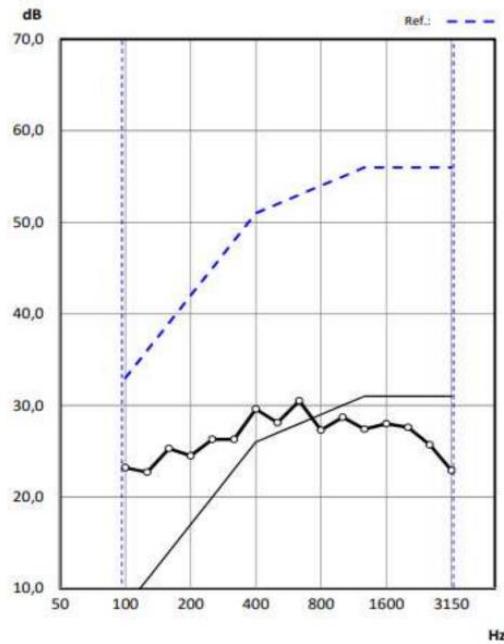
Os resultados obtidos durante a execução do ensaio estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Ensaio de desempenho acústico

Frequência [Hz]	Dnt [dB]
100	23,2
125	22,7
160	25,3
200	24,5
250	26,3
315	26,3
400	29,6
500	28,1
630	30,5
800	27,3
1000	28,7
1250	27,4
1600	28,0
2000	27,6
2500	25,7
3150	22,9
Dnt,w	27(0;00) dB

Fonte: Adaptado de SENAI – IST Cerâmica (2023).

Figura 53 – Obtenção da diferença de nível padronizada ponderada.



Fonte: Adaptado de SENAI – IST Cerâmica (2023).

Não existem requisitos normativos para sistemas de vedação dentro da mesma unidade habitacional, da maneira como o ensaio foi realizado. A NBR 15575-4 (ABNT, 2021) expõe que com até 35 dB de diferença de nível padronizada, ainda é possível ouvir e entender a fala alta em um recinto adjacente. Esse ensaio, sofre grande influência das esquadrias utilizadas na residência onde o mesmo foi realizado. Assim com a diferença de nível padronizada obtida, ainda seria possível ouvir uma pessoa falando em voz alta em um cômodo adjacente.

Santos *et al.* (2022) compararam análises computacionais, analíticas e experimentais de Diferença de Nível Padronizada de Ruido em uma edificação residencial. Os resultados apontaram diferença média maior que 30 dB comparando os resultados do modelo analítico e computacional com as medições em campo. O estudo foi realizado em uma edificação de alvenaria de tijolos cerâmicos e a Diferença de Nível Padronizada obtida através do ensaio em campo variou entre 20 e 25 dB.

#### **4.5.2 Ensaio de propriedades acústicas no tubo de impedância**

Para este ensaio, foram utilizados 5 corpos de prova cilíndricos com espessura de 40 mm e diâmetro de 100 mm para a faixa de frequências de 50 Hz – 1.600 Hz, e 5 corpos de prova com espessura de 40 mm de diâmetro de 29 mm para a faixa de frequências de 500 Hz – 6.400 Hz. Os corpos de prova foram numerados e posicionados no tubo utilizando quatro microfones e um sistema de análise de frequência digital para a medição da perda de transmissão sonora.

Figura 54 – Corpo de prova 1 com 100 mm de diâmetro posicionado.



Fonte: A autora (2025).

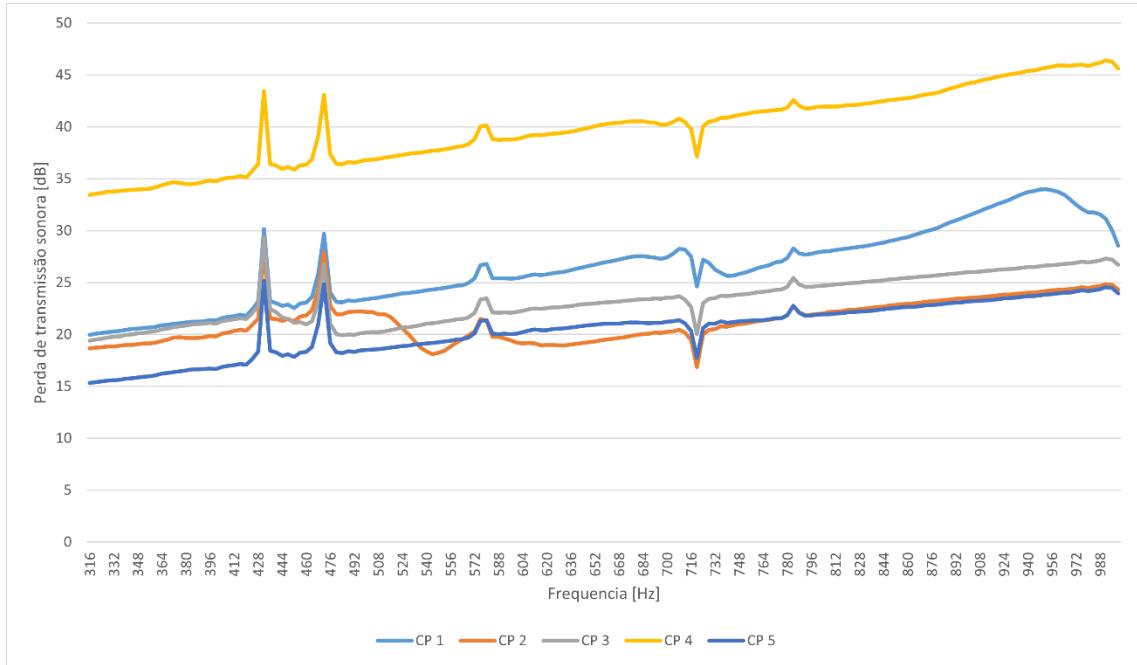
Figura 55 – Corpo de prova 1 com 29 mm de diâmetro posicionado.



Fonte: A autora (2025).

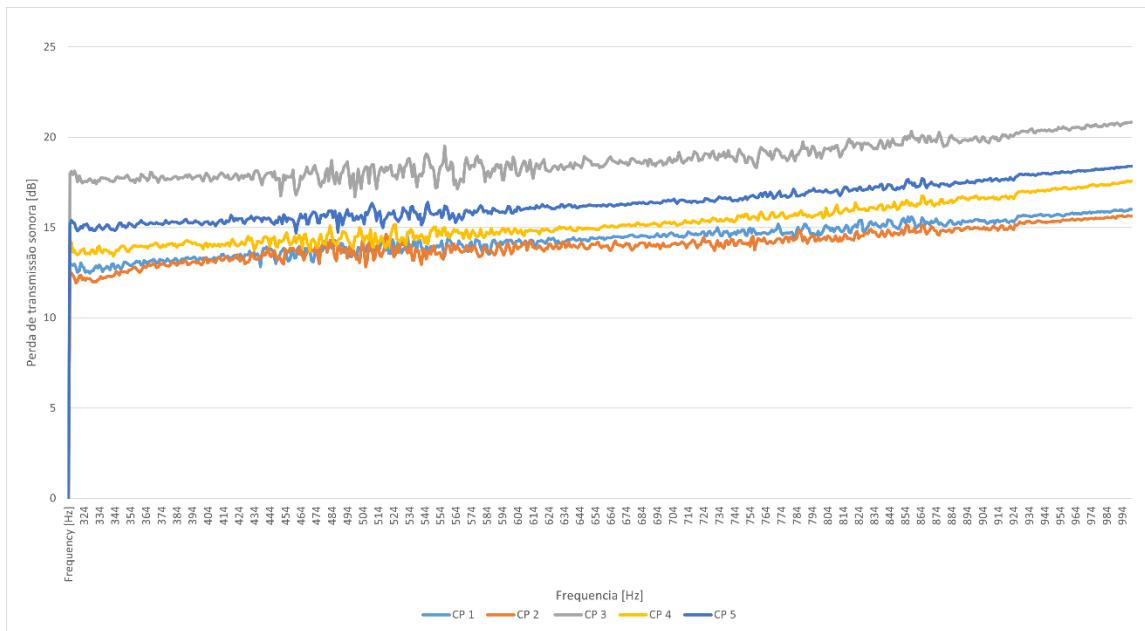
Com o método utilizado por Becker, Effting e Schackow (2022), os valores foram analisados para a faixa de frequências entre 315 Hz e 1000 Hz, pois é nessa faixa que se encontram os sons ambientes mais comuns, Figuras 56 e 57.

Figura 56 – Perda de transmissão sonora - cdp100 mm de diâmetro.



Fonte: A autora (2025).

Figura 57 – Perda de transmissão sonora – cdp 29 mm de diâmetro.



Fonte: A autora (2025).

Nos corpos de prova de 100 mm de diâmetro, a perda de transmissão sonora do CP1, CP2, CP3 e CP5 apresentou valores entre 15 e 30 dB, o CP4 apresentou valores de perda de transmissão sonora entre 33 e 41 dB.

Já nos corpos de prova de 29 mm de diâmetro a perda de transmissão sonora obtida foi entre 12 e 21 dB.

Deve-se considerar que houve dificuldades em obter a cilindricidades das amostras e o perfeito encaixe no tubo, podendo haver vazamentos de ruído.

Segundo Norton e Karczub (2003), paredes de tijolos rebocadas em 125 mm de espessura possuem perdas de transmissão sonora entre 36 e 46 dB e 75 mm de concreto maciço possuem perdas de transmissão entre 40 e 52 dB considerando as frequências analisadas. Esses valores se aproximam aos valores obtidos no ensaio da pesquisa acima, onde foram utilizadas amostras com espessura de 40 mm.

#### 4.6 COMPORTAMENTO DOS PAINÉIS QUANDO EXPOSTOS AO CLIMA

Para o ensaio de verificação do comportamento de sistema de vedação vertical externo exposto à ação de calor e choque térmico, Figura 58, foram utilizados 2 corpos de prova com altura de 2650 mm, elaborados em forma de paredes de divisória. Os resultados obtidos durante a execução dos ensaios estão dispostos nas Tabelas 20 e 21.

Figura 58 – Execução do ensaio de calor e choque térmico.



Fonte: A autora (2023).

Tabela 20 – Ensaio de calor e choque térmico – Amostra 1

Ciclo	Deslocamento durante a ação do calor [mm]	Deslocamento após resfriamento [mm]	Ocorrências
1	0,48	0,48	Névoa
2	1,12	1,43	-
3	1,48	1,94	-
4	0,76	-0,20	-
5	0,69	-0,15	-
6	0,65	-0,12	-
7	0,47	0,37	-
8	0,51	-0,33	-
9	0,62	-0,20	-
10	0,39	-0,49	-

Fonte: Adaptado de SENAI – IST Cerâmica (2023).

Tabela 21 – Ensaio de calor e choque térmico – Amostra 2

Ciclo	Deslocamento durante a ação do calor [mm]	Deslocamento após resfriamento [mm]	Ocorrências
1	0,79	0,38	-
2	0,49	-0,10	-
3	0,47	-0,18	-
4	0,65	-0,10	-
5	0,49	-0,10	-
6	0,48	-0,25	-
7	0,35	-0,32	-
8	0,45	-0,17	-
9	0,55	-0,25	-
10	3,72	2,22	-

Fonte: Adaptado de SENAI – IST Cerâmica (2023).

O deslocamento residual ao final dos 10 ciclos, realizados nas duas amostras, foi de 0 mm. O ensaio não apresentou falhas como fissuras, destacamentos, empolamentos, descoloramentos e outros danos que possam comprometer a utilização do sistema, atendendo os critérios normativos.

## 4.7 COMPORTAMENTO DAS AMOSTRAS EXPOSTAS AO FOGO

### 4.7.1 Reação ao fogo

A amostra analisada consiste em três exemplares de um sistema de vedação vertical, composto por blocos de resíduos industriais poliméricos (espessura de 100 mm), fixados com espuma expansiva e revestidos por placas

de gesso acartonado standard (espessura de 12,5 mm) em ambos os lados. O tratamento de juntas foi realizado com gesso comum para acabamento.

A Tabela 22 exibe as condições ambientais apresentadas durante os ensaios, assim como o resultado obtido para cada parâmetro dos três exemplares e a média final destes para o sistema avaliado.

Tabela 22 – Resultados do ensaio de reação ao fogo.

Índice	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média
Umidade [%]	85,2	72,5	58,1	-
Pressão [Pa]	100190	100480	100240	-
FIGRA 0,2 MJ [W/s]	21,95	0,00	0,00	7,32
FIGRA 0,4 MJ [W/s]	0,00	0,00	0,00	0,00
LFS	Não	Não	Não	-
THR 600s [MJ]	0,69	0,22	0,25	0,25
SMOGRA [ $m^2/s^2$ ]	1,75	1,41	1,62	1,59
TSP600s [ $m^2$ ]	18,91	18,37	19,56	18,95

Fonte: Adaptado de ITT Performance (2024).

#### 4.7.2 Propagação de chama

O teste do ponto de aplicação de chama, Figura 59, indicou a borda do corpo de prova como a pior condição de exposição à chama, sendo então os ensaios realizados nesta condição, Figura 60.

Figura 59 – Teste do ponto de aplicação, borda e superfície.



Fonte: Adaptado de ITT Performance (2024).

A Tabela 23 apresenta os resultados dos ensaios realizados e a Tabela 24 apresenta as condições ambientais e a velocidade de exaustão de cada ensaio.

Tabela 23 – Ensaio de ignitabilidade.

Exemplar	Ignição	Propagação de chama $\geq 150$ mm	Ignição do papel filtro
1	Sim	Não	Não
2	Sim	Não	Não
3	Sim	Não	Não
4	Sim	Não	Não
5	Sim	Não	Não
6	Sim	Não	Não

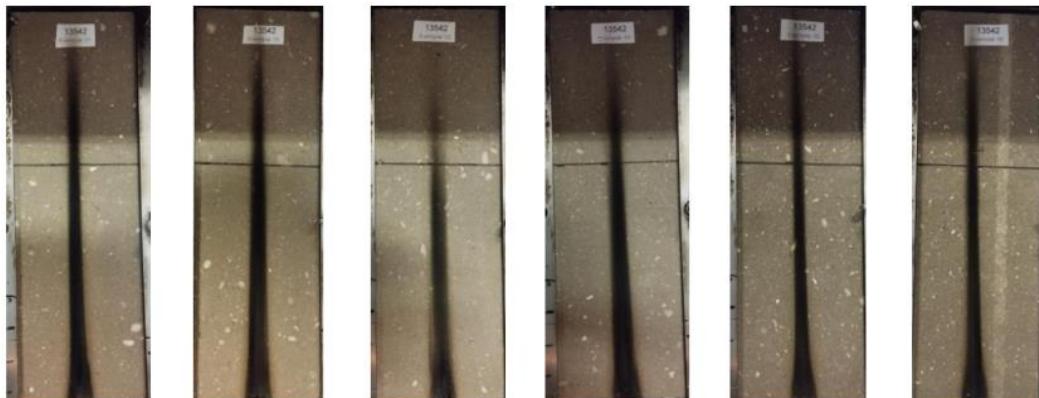
Fonte: Adaptado de ITT Performance (2024).

Tabela 24 – Condições ambientais.

Exemplar	Temperatura (°C)	Umidade %	Velocidade de exaustão [m/s]
1	21,8	63,9	0,68
2	22,0	63,6	0,68
3	22,1	63,4	0,66
4	22,0	63,3	0,70
5	22,2	63,2	0,70
6	22,3	63,1	0,68

Fonte: Adaptado de ITT Performance (2024).

Figura 60 – Exemplares após a aplicação de chama.



Fonte: Adaptado de ITT Performance (2024).

Durante a realização do ensaio de ignitabilidade, de acordo com a normativa 11925-2 (ISO, 2020), ocorreram incidências de ignição em todos os exemplares e não houve propagação vertical da chama além dos limites estabelecidos nos seis exemplares destinados ao ensaio; durante os 60 segundos de ensaio (30 segundos de aplicação da chama). Os exemplares não apresentaram liberação de partículas inflamáveis.

#### 4.7.3 Classificação de produtos especiais para uso em edificações

Com os resultados obtidos nos ensaios de reação ao fogo e propagação de chama foi possível classificar os painéis como Classe II-A segundo a NBR 16626 – Classificação de Reação ao Fogo de Produtos de Construção (ABNT, 2017) indicando que eles podem ser aplicados em diversos tipos de edificações.

### 4.8 APLICAÇÃO EM SISTEMAS ESTRUTURAIS E ACABAMENTOS

Com estruturas de madeira e metálica, foram realizadas construções residenciais utilizando os painéis em forma de placas e blocos. Para a realização do assentamento das peças e ligação com a interface do elemento estrutural foi utilizada uma espuma expansiva de poliuretano do tipo PU Pro Ultra de expansão controlada da marca Tytan Professional.

A verificação da interface entre os blocos e estruturas de concreto foi confirmada com a realização de uma divisória interna em um galpão industrial, ampliação de uma edificação residencial e construção de um condomínio residencial.

Segundo informações do fabricante, a espuma tem uma excelente adesão a materiais de construção típicos como: tijolo, concreto, gesso, madeira, vidro, metal, poliestireno, PVC rígido e espuma rígida de PU. Sendo assim um material adequado para realizar a ligação entre os painéis poliméricos e os mais diversos métodos construtivos. O mesmo tipo de espuma foi utilizado para a execução das paredes onde foram realizados os testes mecânicos. As Figuras 61 a 66 apresentam a execução das paredes de preenchimento de estruturas metálicas, de madeira e concreto.

A Figura 61, apresenta uma construção residencial, em Campo Alegre-SC, em estrutura metálica e material de estudo em forma de placas. Essa edificação foi utilizada como casa modelo para realização das medições *in loco* e modelo das simulações computacionais.

Figura 61 – Utilização de painéis para fechamento de estrutura metálica.



Fonte: A autora (2023).

As Figura 62 e 63 apresentam uma construção residencial, na cidade de Campo Alegre-SC, com estrutura em madeira, onde foi aplicado também acabamento em massa corrida na parte interna e textura na parte externa.

Figura 62 – Utilização para fechamento de estrutura de madeira.



Fonte: A autora (2023).

Figura 63 – Utilização para fechamento de estrutura de madeira com acabamento.



Fonte: A autora (2023).

A Figura 64 apresenta painéis utilizados para a criação de divisórias internas em galpão industrial de estrutura pré-moldada. Não foi utilizado acabamento nesse local.

Figura 64 – Utilização de painéis para fechamento de estrutura de concreto pré-moldado em ambiente industrial.



Fonte: A autora (2023).

A Figura 65 apresenta imagens de uma ampliação residencial, na cidade de Campo Alegre- SC, em estrutura de concreto armado, executada com o material em forma de blocos. Na imagem é possível observar os recortes para passagem de tubulações na área do banheiro.

Figura 65 – Utilização de blocos para fechamento de estrutura de concreto armado em ampliação residencial.



Fonte: A autora (2024).

A Figura 66 apresenta duas casas, parte de um condomínio residencial, na cidade de São Bento do Sul-SC. Executadas em concreto armado e fechamento em blocos, as paredes externas foram rebocadas, as paredes internas possuem acabamento em gesso e também revestimento cerâmico.

Figura 66 – Condomínio residencial com utilização de blocos para fechamento de estrutura de concreto armado.



Fonte: A autora (2025).

Foram realizadas aplicações de diversos tipos de acabamentos nas superfícies do material, tanto acabamentos externos quanto acabamentos internos. Para todos os acabamentos, pode-se verificar que houve a aderência e devida fixação dos materiais sobre a superfície. O comportamento e durabilidade dos revestimentos utilizados foram observados e não apresentaram alterações ao longo do tempo de pesquisa, de 2023 a 2025.

Figura 67 – Side vinílico externo (a) e revestimento cerâmico (b).



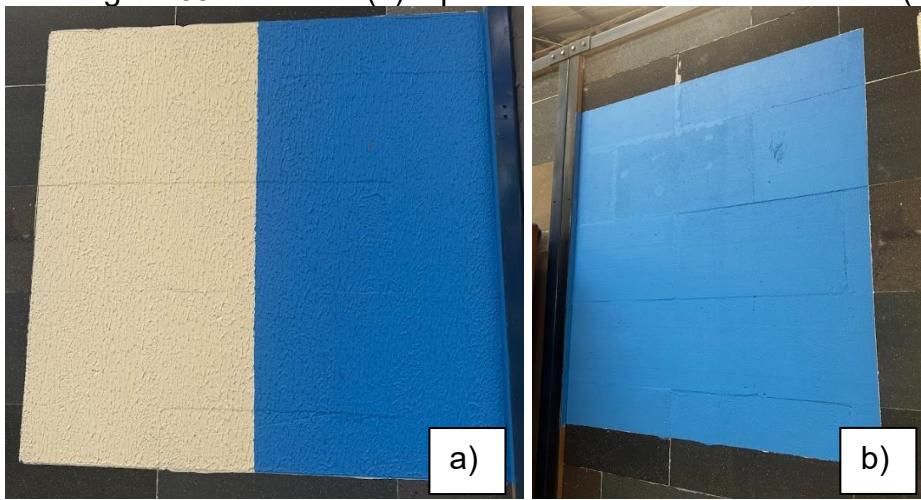
Fonte: A autora (2023).

Figura 68 – Placa cimentícia inteira (a) e recordada (b).



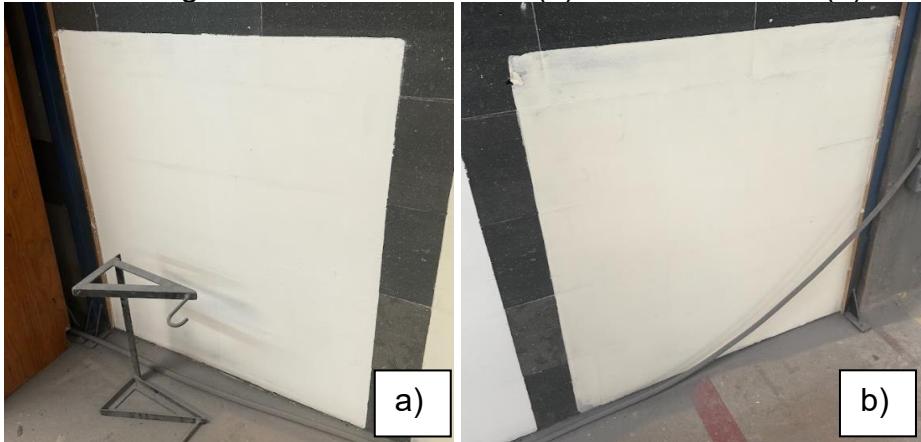
Fonte: A autora (2023).

Figura 69 – Textura (a) e pintura com tinta emborrachada (b).



Fonte: A autora (2023).

Figura 70 – Massa corrida (a) e massa acrílica (b).



Fonte: A autora (2023).

Os painéis apresentaram densidade média de 871,21 kg/m<sup>3</sup>, sendo leves e compatíveis com exigências estruturais. Classificados como resíduos Classe IIA, não oferecem riscos imediatos à saúde ou ao meio ambiente. Os ensaios mecânicos atenderam aos requisitos da ABNT NBR 15575, com destaque para a resistência à compressão 8,808 MPa, superior à dos blocos cerâmicos convencionais. As propriedades térmicas, com condutividade de 0,1103 W/mK, são adequadas para habitações de interesse social segundo a NBR 15220-3. Em relação ao desempenho acústico, os painéis apresentaram perda de transmissão sonora entre 12 e 41 dB, resultados semelhantes aos de outros materiais da construção civil. Nos testes de calor e choque térmico, não houve danos estruturais, e na reação ao fogo, os painéis foram classificados como Classe II-A, possibilitando seu uso em diferentes edificações. Além disso,

mostraram boa compatibilidade com revestimentos e versatilidade em aplicações sobre estruturas de concreto, metálicas e de madeira.

Tabela 25 – Resumo dos resultados obtidos.

Densidade Média	871,21 kg/m <sup>3</sup>
Classificação de Resíduos	IIA
Impacto de corpo mole	Aprovado
Impacto de corpo duro	Aprovado
Ensaio de peças suspensas	Aprovado
Resistência a compressão média	8,808 MPa
Condutividade térmica média	0,1103 W/mK
Ensaio de calor e choque térmico	Aprovado
Classificação de Reação ao Fogo	Classe IIA

Fonte: A autora (2025).

O uso de painéis produzidos a partir de resíduos industriais poliméricos para fechamentos em edificações contribui significativamente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela ONU no âmbito das práticas ESG (*Environmental, Social and Governance*). Ambientalmente, essa solução promove a economia circular ao dar destino adequado a resíduos que, de outra forma, poderiam poluir o solo e os recursos hídricos, além de reduzir a extração de matérias-primas virgens e as emissões associadas à sua produção. Socialmente, incentiva a geração de empregos em cadeias produtivas sustentáveis e estimula a conscientização sobre o consumo responsável na construção civil. Do ponto de vista da governança, reforça o compromisso da construção civil com a responsabilidade socioambiental e o alinhamento a políticas globais de mitigação de impactos ambientais, posicionando o setor como agente ativo na transição para um modelo de desenvolvimento mais sustentável.

## 5 CONCLUSÕES

O estudo sobre a utilização de resíduos poliméricos industriais na fabricação de painéis para fechamento de edificações buscou oferecer uma solução sustentável para o setor da construção civil. Esse trabalho visa auxiliar na redução da necessidade de matérias-primas puras, promovendo a reutilização de resíduos sólidos de difícil reciclagem. Com isso, pretende-se contribuir para a preservação do meio ambiente, minimizando o impacto ambiental da indústria da construção e promovendo práticas construtivas mais sustentáveis.

É possível concluir que os resíduos utilizados na fabricação dos painéis apresentaram uma densidade média de 871,21 kg/m<sup>3</sup>. Esses dados indicam uma composição com densidade relativamente baixa, compatível com materiais leves, o que pode ser vantajoso para aplicações que exigem redução de peso estrutural.

Com a classificação obtida da empresa geradora, resíduos Classe IIA os painéis não apresentam risco imediato a saúde ou meio ambiente.

Os painéis de resíduos industriais poliméricos apresentaram desempenho mecânico adequado para o uso em edificações, com resultados aprovados de acordo com a ABNT NBR 15575 nos ensaios de impacto de corpo mole, impacto de corpo duro e ensaio de peças suspensas. No ensaio de compressão, a média da tensão máxima aplicada foi de 8,808 MPa, apresentando resistência maior do que a exigida para blocos cerâmicos, usualmente utilizados na construção civil.

As propriedades térmicas dos painéis, obtidas através de ensaios laboratoriais, simulações computacionais e medições *in loco* apresentaram resultados adequados para o uso dos painéis em edificações. A condutividade térmica média obtida através de condutivímetro K10N foi de 0,1103 W/mK, sendo então o material adequado para uso em edificações para habitações unifamiliares de interesse social, conforme a ABNT NBR 15220-3 na Zona Bioclimática onde os estudos foram realizados. As temperaturas obtidas através das simulações apresentaram variação menor do que as temperaturas medidas no local.

No ensaio acústico realizado *in loco*, a diferença de nível padronizada ponderada obtida foi de 27 dB, concluindo-se de acordo com os critérios normativos, que ainda seria possível ouvir uma pessoa falando em voz alta em um cômodo adjacente. Com o ensaio laboratorial realizado utilizando tubo de impedância os corpos de prova apresentaram valores de Perda de Transmissão variando entre 12 e 41dB, com valores próximos a demais materiais utilizados na construção civil.

Durante o ensaio de calor e choque térmico os painéis não apresentaram falhas como fissuras, destacamentos, empolamentos, descoloramentos e outros danos que possam comprometer a utilização do sistema, atendendo os critérios normativos.

Com os resultados obtidos nos ensaios de reação ao fogo e propagação de chama os painéis foram classificados como Classe II-A segundo a NBR16626 – Classificação de Reação ao Fogo de Produtos de Construção (ABNT,2017) podendo ser utilizados em diversos tipos de edificações.

Os revestimentos aplicados sobre os painéis mantiveram-se visualmente íntegros durante o período de observação. Após a aplicação dos painéis em estruturas de concreto armado, estruturas metálicas e de madeira pode-se observar a versatilidade do sistema de fechamento, apresentando bons resultados nos sistemas utilizados.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar análise de aderência da argamassa de assentamento para aplicação de revestimentos cerâmicos e análise de flambagem dos painéis produzidos.

Realizar teste de permeabilidade a água conforme NBR 15575 para avaliar a capacidade do sistema de vedação em resistir a penetração da água através da parede.

## 6 REFERÊNCIAS

ALVES, L. R.; CARRIELLO, G. M.; PEGORARO, G. M.; REZENDE, M. de L.; MENEZES, A. J. de. Aplicações de Enzimas em Poliuretano: uma revisão das Dissertações e Teses brasileiras. **Disciplinarum Scientia | Naturais e Tecnológicas**, Santa Maria (RS, Brasil), v. 23, n. 2, p. 99–112, 2022. DOI: 10.37779/nt.v23i2.4313. Disponível em: <https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/4313>.

ARANTES, Lorran de Sousa et al. Avaliação de painéis sanduíche produzidos com núcleo de caixas de ovos e lâminas de paricá. **Ambiente Construído**, v. 23, p. 121-130, 2023.

ASSAAD, Joseph Jean. Development and use of polymer-modified cement for adhesive and repair applications. **Construction and Building Materials**, v. 163, p. 139-148, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061817325084>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15270-2**: Componentes Cerâmicos - Blocos E Tijolos Para Alvenaria - Parte 2: Métodos De Ensaios. Rio de Janeiro, 2023.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575- 4**: Edificações Habitacionais – Desempenho parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SSVIE. Rio de Janeiro, 2021.

\_\_\_\_\_. **NBR 16626**: Classificação da reação ao fogo de produtos de construção. Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático por desempenho. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 16494**: Blocos de gesso para vedação vertical – Requisitos. Rio de Janeiro, 20017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR ISO 16283-1**: Acústica - Medição De Campo Do Isolamento Acústico Nas Edificações E Nos Elementos De Edificações - Parte 1: Isolamento A Ruído Aéreo. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDUSTRIA DE PLÁSTICO. **Perfil 2022.** São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil-2022abiplast/> Acesso em: 3 dez. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDUSTRIA DE PLÁSTICO. **Panorama de reciclagem de plásticos no Brasil: Índices de reciclagem mecânica de plásticos pós consumo no Brasil 2024 (ano-base 2023).** Disponível em: <https://www.plasticotransforma.com.br/portal/mpt/arquivos/listas/15001/thumb.pdf?v=1>

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM **C518-17** - Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM **E2611-17** - Standard Test Method for Normal Incidence Determination of Porous Material Acoustical Properties Based on the Transfer Matrix Method, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.

ARAUJO JUNIOR, C. C.; RONDON, O. C.; JESUS-LOPES, J. C.; RENDA DOS SANTOS, L. M. CINZAS DE BIOMASSA NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO BIBLIOMÉTRICO. **Revista CIATEC-UPF**, [S. I.], v. 10, n. 2, p. 91-101, 2018. DOI: 10.5335/ciatec.v10i2.7751. Disponível em: <https://seer.upf.br/index.php/ciatec/article/view/7751>. Acesso em: 3 dez. 2023.

BECKER, Patricia Fernanda Bergmann; EFFTING, Carmeane; SCHACKOW, Adilson. Lightweight thermal insulating coating mortars with aerogel, EPS, and vermiculite for energy conservation in buildings. **Cement And Concrete Composites**, [S.L.], v. 125, p. 104283, Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104283>.

BOM, R. P. **Alternativa de reciclagem de resíduos de espuma rígida de poliuretano com ABS.** Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 388-397, abr./jun.,2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-70762008000200018>. Acesso em: 15 de junho de 2023.

CANEVAROLO JR, Sebastião V. Ciência dos polímeros. **Artiliber editora, São Paulo**, v. 24, 2002.

CARASCHI, José C.; LEÃO, Alcides L.; CHAMMA, Paula VC. Avaliação de painéis produzidos a partir de resíduos sólidos para aplicação na arquitetura. **Polímeros**, v. 19, p. 47-53, 2009.

CARRASCO, Edgar Vladimiro Mantilla; BREMER, Cynara Fiedler; DE MANTILLA, Judy Norka Rodo. Avaliação do desempenho estrutural de paredes de madeira laminada colada. **Mix Sustentável**, v. 6, n. 3, p. 83-90, 2020.

CRIADO, Bruna et al. Análises de desempenho mecânico, térmico e acústico de placa em compósito cimento-madeira como painel de vedação. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 8, p. e6719-e6719, 2024.

CHING, Francis DK; BINGGELI, Corky. **Interior design illustrated**. John Wiley & Sons, 2018.

DA SILVA, Victor Valério Landim et al. Desenvolvimento de materiais cerâmicos inovadores a base de gesso e resíduos para uso na construção civil. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 3, p. e3271-e3271, 2024.

DE OLIVEIRA JÚNIOR, Juvenil Nunes et al. Ecofriendly panels for building with eucalyptus sawdust and vegetal polyurethane resin: A mechanical evaluation. **Case Studies in Construction Materials**, v. 18, p. e01839, 2023.

DOE – DEPARTMENT OF ENERGY. **Energyplus**. 2024. Disponível em: <<http://energyplus.net>>. Acesso em: 24 ago. 2024.

European Committee for Standardization **EN 13823:2020 Reaction to fire tests for building products - Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item**.

GEYER, R., JAMBECK, JR, & LAW, KL (2017). **Produção, uso e destino de todos os plásticos já feitos**. Science Advances. 2017.

GROTTO, André Carlos; HEMKEMEIER, Marcelo; ROSSATO, Maiara Vizioli. Sustentabilidade no uso de poliuretano e reutilizações de apara. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e99891110685-e99891110685, 2020.

GUOLO, Erika et al. Environmental impacts for polyurethane panels. In: E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2019. p. 03063.

HEMAIS, C. A.. Polímeros e a indústria automobilística. **Polímeros**, v. 13, n. 2, p. 107–114, abr. 2003.

International Organization for Standardization. ISO **8301:1991/AMD 1:2010** - Thermal insulation — Determination of steady-state thermal resistance and related properties — Heat flow meter apparatus — Amendment 1.

International Organization for Standardization. ISO **11925-2** Reaction to fire tests - Ignitability of products subjected to direct impingement of flame Part 2: Single-flame source test, 2020.

BS EN **ISO 11925-2:2020** - Reaction to fire tests - Ignitability of products subjected to direct impingement of flame Part 2: Single-flame source test.

KUORIBO, E. et al. **Fabrication of energy-efficient cement panels from construction waste for sustainable building application**, Architectural Engineering and Design Management, 2023.

KRELLING, A. F. et al. A thermal performance standard for residential buildings in warm climates: Lessons learned in Brazil. Energy and Buildings, v. 281, p. 112770, 2023.

LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas. Florianópolis- SC, 2010. Disponível em: [https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/catalogo\\_caixa\\_v4.PDF](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/catalogo_caixa_v4.PDF)

LU, Honglang et al. Use of titanate to improve interfacial interaction and mechanical properties of polyethylene/artificial marble wastes composites. **Journal of Vinyl and Additive Technology**, v. 27, n. 1, p. 137-146, 2021.

MACIÁ, A. et al. Mechanical properties of boards made in biocomposites reinforced with wood and Posidonia oceanica fibers. **Composites Part B: Engineering**, v. 104, p. 1-8, 2016.

MADHAV, T. Venu et al. Compressive strength study of geopolymer mortar using quarry rock dust. **Materials Letters**, v. 231, p. 105-108, 2018.

MANCIULA, Dorin Iosif; MISCA, Radu Barbu Horațiu; ROTER, Andrei. UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE POLIURETANO. **Studia Universitatis Babeș-Bolyai Ambientum**, [S.I.], v. 1-2, pág. 45–51, 2021. DOI: 10.24193/subbambientum.2021.04. Disponível em: <https://studia.reviste.ubbcluj.ro/index.php/subbambientum/article/view/1720>.

MOHAMED, Rahmah et al. Thermal degradation and flammability of aerogel incorporated UPR/EPS composites with organic nanocrystal presence. In: AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, 2018. p. 030018.

MOURA, J. M. B. M. DE . et al.. Placas cimentícias e pavers com incorporação de rejeitos da coleta seletiva do município de Blumenau, SC. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 1, p. 345–359, jan. 2018.

NEVES DE ALENCAR, Laura et al. Natural rubber/wood composite foam: Thermal insulation and acoustic isolation materials for construction. **Cellular Polymers**, v. 42, n. 2, p. 55-72, 2023.

Norton, M.P. and Karczub, D.G. (2003).Typical sound transmission loss values and sound absorption coefficients for some common building material in **Fundamentals of Noise and Vibration Analysis for Engineers**, 2003, Cambridge University.

NUNES, V. D. L.; HIPPERT, M. A. S.; CARVALHO, A. R. de .; RUBIM, D. F. A implantação da norma NBR 15575 e seu impacto no setor de construção civil. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 12, n. 00, p. e021010, 2021. DOI: 10.20396/parc.v12i00.8656159. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8656159>.

Acesso em: 15 nov. 2023.

ONU, Organização das Nações Unidas. Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável. **Transformando Nossa Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**, 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

PASCHOALIN FILHO, J. A.; FRASSON, S. A.; CONTI, D. de M. Economia Circular: estudo de casos múltiplos em usinas de reciclagem no manejo de resíduos da construção civil. **Desenvolvimento em Questão**, [S. I.], v. 17, n. 49, p. 136–157, 2019. DOI: 10.21527/2237-6453.2019.49.136-157. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/8216>. Accesso em: 1 dez. 2023.

RAJA, P. et al. A Review of Sustainable Bio-Based Insulation Materials for Energy-Efficient Buildings, **Macromolecular Materials and Engineering**, 2023.

ROMERO-GÓMEZ, María Isabel et al. Influence of high-temperature exposure on the properties of gypsum-plastic waste composites: Thermophysical and microstructural analysis. **Journal of Building Engineering**, v. 79, p. 107862, 2023.

SANTOS, W. de S.; LENZI, M. S.; MIGUEL, L. F. F. Análise da transmissão do ruído aéreo entre paredes em uma edificação residencial : Analysis of air noise transmission between walls in a residential building. **Brazilian Journal of Development, [S. I.]**, v. 8, n. 11, p. 76315–76324, 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n11-373. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/54828>. Acesso em: 4 jul. 2025.

SECRETARIA DE ESTADO DA SEGURANÇA PÚBLICA - CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. IN 18 - **Controle de materiais de revestimento e acabamento**, Florianópolis – SC, 2022.

SENAI - Relatório de ensaio 83990.2023 – Instituto de tecnologia Cerâmica, 2023.

SENAI - Relatório de ensaio 83991.2023 – Instituto de tecnologia Cerâmica, 2023.

SENAI - Relatório de ensaio 84049.2023 – Instituto de tecnologia Cerâmica, 2023.

SENAI - Relatório de ensaio 84050.2023 – Instituto de tecnologia Cerâmica, 2023.

SIQUEIRA, Felipe Fabrício dos Santos; ALVES, Tatianny Soares; BARBOSA, Renata. Avaliação da inflamabilidade e do envelhecimento natural de compósitos de polímero verde e argila vermiculita para potencial uso na construção civil. **Ambiente Construído**, v. 21, p. 331-347, 2021.

SIQUEIRA, LV MAIA; STRAMARI, M. R.; FOLGUERAS, M. V. Adição de poliuretano expandido para a confecção de blocos de concreto leve. **Revista Matéria**, v. 9, n. 4, p. 399-410, 2004. Disponível em: <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10607/>. Acesso em: Acesso em: 15 de junho de 2023.

SPINACÉ, M. A. DA S.; DE PAOLI, M. A.. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 65–72, jan. 2005.

SCHWADE, Paula Vieira et al. Development of paint based on residue of expanded polystyrene: polymeric plasticizer evaluation. In: **Macromolecular Symposia**. 2016. p. 8-18.

TA Instruments - Thermal Conductivity Instruments, 2015. Disponível em: <https://www.tainstruments.com/pdf/brochure/BROCH-LC-2015-EN.pdf>

TAURINO, Rosa; BONDIOLI, Federica; MESSORI, Massimo. Use of different kinds of waste in the construction of new polymer composites. **Materials Today Sustainability**, v. 21, p. 100298, 2023.

UFSCar - Universidade Federal de São Carlos, ZBBR - **Zoneamento Bioclimático do Brasil**. Disponível em: <http://labeee.ufsc.br/sites/default/files/softwares/ZBBR.zip>

UNIVERSIDADE DO VALE DOS SINOS – Relatório de ensaio 6118/2024 – ITT Performance, 2024.

UNIVERSIDADE DO VALE DOS SINOS – Relatório de ensaio 6119/2024 – ITT Performance, 2024.

UNIVERSIDADE DO VALE DOS SINOS – Relatório de ensaio 6120/2024 – ITT Performance, 2024.

VILLAS-BÔAS, Barbara Talamini; IWAKIRI, Setsuo; PARCHEN, Carlos Frederico Alice. Produção e caracterização de blocos vazados de cimento-madeira de baixa densidade para construção civil. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 48, n. 126, p. 1-11, 2020.

WANG, B. et al Monitoring the degradation of physical properties and fire hazards of highimpact polystyrene composite with different ageing time in natural environments. **Journal of Hazardous Materials**, v. 352, p. 92-100, 2018.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC  
BIBLIOTECA UNIVERSITÁRIA  
REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL

CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT

**ATESTADO DE VERSÃO FINAL**

Eu, Profa. Dra. Carmeane Effting, professor(a) do curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil declaro que esta é a versão final aprovada pela comissão julgadora da dissertação/tese intitulada: **“DESEMPENHO DE PAINÉIS DE FECHAMENTO PARA CONSTRUÇÃO CIVIL FABRICADOS COM RESÍDUOS INDUSTRIAIS POLIMÉRICOS”**

de autoria do(a) acadêmico BRENDA REICHARDT BAECHTOLD

Joinville, 09 de setembro de 2025

Assinatura digital do(a) orientador(a):

---

Carmeane Effting