

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO, INOVAÇÃO E EXTENSÃO -
PROPIEX
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE
MATERIAIS - PPGCEM

SARA MEDEIROS DOS SANTOS PIZZATTO

CRICIÚMA

2026

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO, INOVAÇÃO E EXTENSÃO -
PROPIEX
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE
MATERIAIS - PPGCEM

SARA MEDEIROS DOS SANTOS PIZZATTO

DESENVOLVIMENTO DE PLACAS CERÂMICAS DE ELEVADA
POROSIDADE PARA APLICAÇÃO EM FACHADAS VENTILADAS

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Oscar Rubem Klegues Montedo
Coorientador: Prof. Dr. Elídio Angioletto

CRICIÚMA

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

P695d Pizzatto, Sara Medeiros dos Santos.

Desenvolvimento de placas cerâmicas de elevada porosidade para aplicação em fachadas ventiladas / Sara Medeiros dos Santos Pizzatto. - 2026.

262 p. : il.

Tese (Doutorado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Criciúma, 2026.

Orientação: Oscar Rubem Klegues Montedo.

Coorientação: Elídio Angioletto.

1. Fachada ventilada. 2. Revestimento cerâmico. 3. Revestimento cerâmico de fachada. 4. Porosidade. 5. Isolamento térmico. 6. Isolamento acústico. I. Título.

CDD 23. ed. 620.14

Bibliotecária Eliziane de Lucca Alosilla - CRB 14/1101
Biblioteca Central Prof. Eurico Back - UNESC

SARA MEDEIROS DOS SANTOS PIZZATTO

**“Desenvolvimento de Placas Cerâmicas de Elevada Porosidade para
Aplicação em Fachadas Ventiladas”.**

Esta Tese foi julgada adequada à obtenção do grau de Doutor(a) em Ciência e Engenharia de Materiais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PPGCEM (Área de concentração: Tecnologia de Materiais) da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC.

Criciúma, SC, 16 de abril de 2026.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **TIAGO BENDER WERMUTH**
Data: 16/04/2026 12:21:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Tiago Bender Wermuth
Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC

Documento assinado digitalmente
 **SABRINA ARCARO**
Data: 16/04/2026 18:07:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Sabrina Arcaro
Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC

Documento assinado digitalmente
 **Agenor de Noni Junior**
Data: 16/04/2026 17:48:54-0300
CPF: ***.980.349-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Agenor de Noni Jr.
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Documento assinado digitalmente
 **Joao Batista Rodrigues Neto**
Data: 16/04/2026 16:07:20-0300
CPF: ***.810.989-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. João Batista Rodrigues Neto
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

*Aos meus amados pais Paulo e Clotilde, meu esposo e amigo Fernando Otavio e minhas
amadas filhas Catarina e Maria Clara.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser minha fonte constante de força, luz e inspiração. À minha família, pelo apoio e incentivo ao longo de toda a minha trajetória acadêmica e pessoal. Ao Fernando, por estar ao meu lado e por compartilhar comigo cada conquista.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Oscar Rubem Montedo, pela orientação segura, pelo incentivo científico e, sobretudo, por acreditar no meu potencial desde o início desta caminhada. Ao meu coorientador, Prof. Dr. Elidio Angioletto, pela valiosa colaboração no desenvolvimento deste trabalho.

À empresa Eliane Revestimentos Cerâmicos, pelo apoio técnico e institucional. Em especial, agradeço à Ângela Waterkemper Vieira e à Aline Ribeiro pela disponibilidade, atenção e parceria contínua ao longo da pesquisa.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da UNESC, por contribuírem para minha formação científica. Agradeço à Profa. Dra. Sabrina Arcaro e ao Prof. Dr. Tiago Bender Wermuth pelo suporte na execução dos experimentos.

Aos colegas do grupo CerTec, pela convivência diária repleta de troca de conhecimentos, e experiências na ciência. Agradeço, em especial, ao doutorando Henrique Borba Modolon, por toda a colaboração prestada e pelo incentivo ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos colaboradores do Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT), em especial às equipes do Laboratório de Ensaios Mecânicos e do Laboratório de Cerâmica, pelo suporte técnico e pela parceria ao longo desta trajetória. Meus agradecimentos ao Prof. Dr. Mateus Milanez, pelo apoio na logística dos ensaios com aparato térmico e acústico.

Ao Prof. Dr. Antônio Pedro Novaes de Oliveira, do Departamento de Engenharia Mecânica (EMC) e do Laboratório de Materiais Vitrocerâmicos (VITROCER) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pela abertura e viabilização dos ensaios no Laboratório de Vibrações e Acústica (LVA), bem como por todo o incentivo concedido.

Ao Prof. Dr. Erasmo Felipe Vergara Miranda, ao doutorando Gildean do N. Almeida e à equipe do Laboratório de Vibrações e Acústica (LVA/UFSC), pelo suporte técnico e colaboração imprescindível à realização dos ensaios experimentais.

Ao Prof. Luiz César de Castro, pelo apoio fundamental na viabilização dos equipamentos acústicos utilizados nesta pesquisa.

Ao Prof. Kristian Madeira, pelo apoio na análise estatística e pela valiosa contribuição na interpretação dos dados desta pesquisa.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro, essencial à viabilização deste projeto.

Por fim, a todos que, de alguma maneira, contribuíram para a concretização desta etapa, deixo aqui meu sincero agradecimento.

“Sempre parece impossível até que seja feito.”

Nelson Mandela

RESUMO

O crescimento da construção civil no Brasil tem estimulado a adoção de sistemas inovadores, entre os quais se destacam as fachadas ventiladas, que aliam eficiência energética e sustentabilidade. Nesse cenário, as cerâmicas porosas obtidas com a incorporação de calcário como agente porogênico têm se mostrado promissoras, devido à porosidade gerada, o que favorece o isolamento térmico e acústico. Neste contexto, a pesquisa propõe a análise das propriedades físico-estruturais, mecânicas e de desempenho térmico e acústico de placas cerâmicas porosas desenvolvidas com aplicação em sistemas de fachada ventilada. Foram utilizadas matérias-primas comerciais: pó porcelânico, calcário como agente porogênico em diferentes proporções (40, 45 e 50 %), em combinação com argila plástica (bentonita) e aditivo carboximetilcelulose (CMC). As formulações cerâmicas foram processadas por via úmida, conformadas por prensagem uniaxial e submetidas a diferentes temperaturas de queima (1120, 1140 e 1160 °C). As amostras foram caracterizadas quanto às propriedades físico-estruturais, mecânicas, térmicas e acústicas, incluindo análises de porosidade, resistência à flexão, condutividade térmica e caracterização acústica com tubo de impedância. A partir da análise dos resultados obtidos, foi definida a melhor condição experimental, por apresentar o equilíbrio adequado entre porosidade e resistência mecânica. A formulação contendo 50 % de calcário e queimada a 1140 °C (F50T1140) foi escolhida e obteve densidade aparente de $1,59 \pm 0,01$ g/cm³, porosidade total de $46,41 \pm 0,29$ %, resistência mecânica de $20,39 \pm 1,52$ MPa, condutividade térmica de $0,21$ W/(m·K), absorção sonora de 0,23 e perda de transmissão sonora de 20 a 40 dB. Considerando a melhor condição experimental, foram conduzidos ensaios de absorção de água, módulo de elasticidade e ensaios com aparatos térmico e acústico desenvolvidos para simular o desempenho das placas cerâmicas em sistemas de fachadas ventiladas. A F50T1140 apresentou absorção de água de $21,48 \pm 0,14$ % e módulo de elasticidade de $1,46 \pm 0,07$ GPa. O ensaio com aparato térmico demonstrou que a F50T1140 melhorou o desempenho térmico, reduzindo em até 18,5 % a temperatura interna da caixa que simula um cômodo dentro da edificação, em comparação à fachada tradicional. Nos resultados com aparato acústico, as fachadas ventiladas apresentaram desempenho na atenuação sonora, sendo que a F50T1140 apresentou melhores resultados, posicionando-se abaixo das curvas da fachada tradicional e da fachada ventilada REFT1140 em todas as fontes de ruído e níveis de volume analisados. Conclui-se que a F50T1140 apresenta o melhor desempenho dentre as formulações analisadas para aplicação em sistemas de fachadas ventiladas, uma vez que se mostrou superior à REFT1140 em todos os parâmetros avaliados, contribuindo para a redução do peso da subestrutura, melhorando o desempenho acústico e atendendo às exigências dos

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente no tocante ao desempenho térmico em edificações.

Palavras-chave: Fachada Ventilada, porosidade, desempenho térmico e acústico.

ABSTRACT

The growth of civil construction in Brazil has stimulated the adoption of innovative systems, among which ventilated facades stand out, combining energy efficiency and sustainability. In this scenario, porous ceramics obtained with the incorporation of limestone as a porogenic agent have shown promise due to the porosity generated, which favors thermal and acoustic insulation. In this context, the research proposes the analysis of the physical-structural, mechanical, and thermal and acoustic performance properties of porous ceramic tiles developed for use in ventilated facade systems. Commercial raw materials were used, limestone as a porogenic agent in different proportions (40, 45, and 50 %), in combination with plastic clay (bentonite) and carboxymethylcellulose (CMC) additive. The ceramic formulations were wet-processed, shaped by uniaxial pressing, and subjected to different sintering temperatures (1120, 1140, and 1160 °C). The samples were characterized in terms of their physical-structural, mechanical, thermal, and acoustic properties, including analyses of porosity, flexural strength, thermal conductivity, and acoustic characterization with an impedance tube. Based on the analysis of the results obtained, the best experimental condition was defined as presenting the appropriate balance between porosity and mechanical strength. The formulation containing 50 % limestone and sintered at 1140 °C (F50T1140) was chosen and obtained an apparent density of $1.59 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$, total porosity of $46.41 \pm 0.29 \%$, mechanical strength of $20.39 \pm 1.52 \text{ MPa}$, thermal conductivity of $0.21 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, sound absorption of 0.23, and sound transmission loss of 20 to 40 dB. Considering the best experimental condition, tests were conducted on water absorption, modulus of elasticity, and thermal and acoustic devices developed to simulate the performance of ceramic tiles in ventilated facade systems. F50T1140 showed water absorption of $21.48 \pm 0.14 \%$ and elasticity modulus of $1.46 \pm 0.07 \text{ GPa}$. The thermal apparatus test demonstrated that F50T1140 improved thermal performance, reducing the internal temperature of the box simulating a room inside the building by up to 18.5 % compared to a traditional facade. In the results with acoustic apparatus, the ventilated facades performed well in sound attenuation, with F50T1140 showing better results, positioning itself below the curves of the traditional facade and the REFT1140 ventilated facade in all noise sources and volume levels analyzed. It can be concluded that F50T1140 offers the best performance among the formulations analyzed for use in ventilated facade systems, since it proved superior to REFT1140 in all evaluated parameters, contributing to a reduction in the weight of the substructure, improving acoustic performance, and meeting the requirements of the UN Sustainable Development Goals (SDGs), particularly regarding thermal performance in buildings.

Keywords: Ventilated facade, porosity, thermal and acoustic performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Figura mostrando os estudos feitos na área de fachadas ventiladas nos últimos 10 anos.	31
Figura 2 - Efeito chaminé no sistema de fachada ventilada.	42
Figura 3 - Detalhe de um sistema de fachada ventilada.	43
Figura 4 - Matérias-primas utilizadas na presente pesquisa: A – pó porcelânico, B – argila plástica - bentonita, C – carboximetilcelulose (CMC) e D – calcário.	74
Figura 5 - Fluxograma geral das etapas de trabalho.	75
Figura 6 - Fluxograma detalhado com todos os ensaios que foram executados em cada uma das etapas do trabalho.	76
Figura 7 - Fluxograma detalhado das fases relacionadas a Etapa 01 – Avaliação do efeito do teor de calcário na microestrutura do material obtido.	77
Figura 8 - Corpos de prova retangulares com dimensões médias de 120 mm x 62 mm x 6 mm submetidos a prensagem uniaxial: A – corpos de prova REF, B – corpos de prova F45.	80
Figura 9 - Corpos de prova secos em estufa de laboratório a 100 °C utilizados na presente pesquisa: A – corpos de prova retangulares utilizados no ensaio mecânico de flexão, B – corpos de prova cilíndricos utilizados no ensaio de condutividade térmica, C – corpos de prova cilíndricos utilizados no ensaio acústico com tubo de impedância.	81
Figura 10 - Curvas de queima dos corpos cerâmicos adotados na segunda etapa da pesquisa para as temperaturas 1120, 1140 e 1160 °C.	83
Figura 11 - Corpos de prova queimados no forno de queima rápida, marca FORTELAB: A – corpos de prova retangulares F40, queimados na temperatura 1140 °C, B – corpos de prova cilíndricos (Ø 50 mm, Ø 26 mm), queimados na temperatura 1120 °C.	84
Figura 12 - Fluxograma referente as fases da investigação do efeito da microestrutura no comportamento mecânico, térmico e acústico dos corpos de prova obtidos nas condições experimentais testadas.	85
Figura 13 - Corpos de prova submetidos ao ensaio mecânico de flexão: A – corpos de prova retangulares queimados na temperatura 1120 °C, B – corpos de prova retangulares queimados na temperatura 1140 °C, C – corpos de prova retangulares queimados na temperatura 1160 °C.	88
Figura 14 - Corpos de prova submetidos ao ensaio de condutividade térmica: A – corpos de prova cilíndricos (Ø 50 mm) REF, queimados na temperatura 1140 °C, B – corpos de prova cilíndricos (Ø 50 mm) F50, queimados na temperatura 1140 °C.	90

Figura 15 - Setup experimental utilizado nos ensaios de absorção sonora.	91
Figura 16 - Corpos de prova submetidos a caracterização acústica: A – corpos de prova cilíndricos (Ø 26 mm) REF, queimados na temperatura 1140 °C, B – corpos de prova cilíndricos (Ø 26 mm) F50, queimados na temperatura 1140 °C.	92
Figura 17 - Amostra alojada no porta-amostra para ensaios: (a) Absorção sonora; (b) Perda de transmissão sonora.	93
Figura 18 - Fluxograma detalhado das fases relacionadas a Etapa 03 – Avaliação das propriedades finais dos corpos de prova obtidos na condição experimental selecionada.	95
Figura 19 - Corpos de prova submetidos a propriedade mecânica – módulo de elasticidade: A – corpos de prova retangulares REF, B – corpos de prova retangulares da melhor condição experimental.	97
Figura 20 - Corpos de prova submetidos a determinação da absorção de água dos corpos cerâmicos: A – corpos de prova retangulares REF, B – corpos de prova retangulares da melhor condição experimental.	99
Figura 21 - Componentes do aparato térmico: A – cabine construída em compensado de madeira com a estrutura metálica de suporte fixada, B – estufa odontológica Odontobrás, modelo EL – 1,3.....	99
Figura 22 - Detalhe da Cabine em compensado de madeira, medidas e especificações: A – Vista Frontal, B – Corte da cabine de madeira em compensado de madeira.	100
Figura 23 - Cabine em compensado de madeira: A – vista frontal da cabine mostrando a face em gesso acartonado, B – vista frontal mostrando a cabine e a estrutura metálica de suporte com os corpos de prova fixados, C e D – vista posterior, mostrando a caixa 01 representando uma edificação e a caixa 02, simulando um cômodo interno, E e F – vista lateral, mostrando as faces da caixa 01 em compensado de madeira e a face frontal em gesso acartonado.	101
Figura 24 - Detalhe da estrutura metálica de suporte, medidas e especificações.	102
Figura 25 - Componentes do aparato térmico utilizado no ensaio térmico simulando uma fachada tradicional: cabine em compensado de madeira e estufa.	103
Figura 26 - Corpos de prova (melhor condição experimental) fixados na estrutura metálica de suporte com os espaçadores poliméricos.	104
Figura 27 - Componentes do aparato térmico utilizado no ensaio térmico simulando uma fachada ventilada; cabine em compensado de madeira, estrutura metálica de suporte e estufa.	105
Figura 28 - Corte longitudinal, referente ao sistema completo do aparato térmico: cabine em compensado de madeira, estrutura metálica de suporte e estufa.	105

Figura 29 - Componentes do aparato acústico: A – cabine construída em compensado de madeira com a estrutura metálica de suporte fixada, decibelímetro Fluke 495 e caixa de som JBL GO 4, B – vista posterior mostrando a cabine com todas as faces fechadas, C – cabine com as faces posteriores abertas mostrando o decibelímetro Minipa MSL -1325.....	109
Figura 30 - Cenários representando os dois tipos de ensaios acústicos: A - ensaio acústico simulando uma fachada tradicional, B - ensaio acústico simulando uma fachada ventilada – REF e Melhor Condição Experimental.	110
Figura 31 - Corpos de prova utilizados no ensaio acústico A – corpos de prova da formulação referência (REF), B – corpos cerâmicos da melhor condição experimental.	111
Figura 32 - Cabine em compensado de madeira com as faces posteriores abertas mostrando os equipamentos utilizados para a aferição dos dados de controle.	112
Figura 33 - Cenários dos dois tipos de ensaios mostrando as distâncias dos elementos que compõe o aparato acústico: A – ensaio acústico simulando uma fachada tradicional, B: ensaio acústico simulando uma fachada ventilada.	114
Figura 34 - Posição da fonte sonora (caixa de som JBL): A e B – ensaios acústicos com os ruídos externos, C e D – ensaios acústicos com os ruídos internos.....	115
Figura 35 - Curva de expansão linear das formulações.	129
Figura 36 - Difrátogramas de raios X da formulação REF submetidas as temperaturas 1120, 1140 e 1160 °C.	132
Figura 37 - Difrátogramas de raios X das formulações F40, F45 e F50 submetidas as temperaturas 1120, 1140 e 1160 °C.....	133
Figura 38 - Corpo de prova cerâmico após a sinterização, mostrando a menor contração dimensional associada ao aumento da porosidade nas formulações com incorporação de calcário: A – Formulação REF, B – Formulação F50.....	138
Figura 39 - Micrografia (MEV) de F50T1140: A - microestrutura do corpo cerâmico a 100× de aumento, indicando microestrutura com grande de poros, B - micrografia a 500× de aumento mostrando os diferentes tipos de poros identificados: (1) poros gerados pela decomposição do carbonato de cálcio, (2) poros residuais gerados pelo processo de conformação (prensagem).	141
Figura 40 - Micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) das formulações em estudo queimadas a 1120 °C: A – REF, B - F40, C - F45, D - F50.	142
Figura 41 - Micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) das formulações em estudo queimadas a 1140 °C: A – REF, B - F40, C - F45, D - F50.	143

Figura 42 - Micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) das formulações em estudo queimadas a 1160 °C: A – REF, B - F40, C - F45, D - F50.	144
Figura 43 - Micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) das formulações em estudo queimadas nas diferentes temperaturas: A – F40 queimada a 1120 °C, B – F40 queimada a 1140 °C, C – F40 queimada a 1160 °C, D – F45 queimada a 1120 °C, E – F45 queimada a 1140 °C, F – F45 queimada a 1160 °C, G – F50 queimada a 1120 °C, H – F50 queimada a 1140 °C, I – F50 queimada a 1160 °C, mostrando a evolução da microestrutura com o aumento da temperatura.	145
Figura 44 - Representação esquemática da interação de ondas sonoras com uma parede isolante. Ao atingir a interface entre o ar (a) e a superfície do material isolante (b), parte da energia sonora é refletida de volta ao ambiente e parte é absorvida pelo material, perdendo energia e experimentando efeitos de amortecimento.	148
Figura 45 - Comportamento do coeficiente de absorção sonora (α) da formulação F40, queimada à 1120 °C, obtido por meio de ensaio em tubo de impedância.	150
Figura 46 - Comportamento da perda de transmissão sonora (TL) da formulação F50, queimada à 1140 °C, obtido por meio de ensaio em tubo de impedância.	154
Figura 47 - ΔT_2 das fachadas ventiladas estudadas em função de T_1 – estufa.....	167
Figura 48 - ΔT_4 (Δ das médias das temperaturas da superfície da parede de gesso em função de T_1) da fachada tradicional e das fachadas ventiladas estudadas em função de T_1	168
Figura 49 - ΔT_4 das fachadas ventiladas estudadas em função de T_1 – estufa.....	169
Figura 50 - ΔT_5 da fachada tradicional e das fachadas ventiladas estudadas em função de T_1	170
Figura 51 - ΔT_5 das fachadas ventiladas estudadas em função de T_1 – estufa.....	170
Figura 52 - Valores médios de ΔSNR para as configurações de fachada avaliadas. A ANOVA bifatorial indicou efeito significativo do volume ($p < 0,05$) e efeito do tipo de fachada dependente do ruído externo e do equipamento de medição.....	181
Figura 53 - Valores médios de ΔSNR para as configurações de fachada avaliadas. A ANOVA bifatorial indicou efeito significativo do volume ($p < 0,05$) e efeito do tipo de fachada dependente do ruído interno e do equipamento de medição.	183
Figura A.1 – Coeficiente de absorção sonora das formulações REF, F40, F45 e F50 queimadas a temperatura 1120 °C.....	216
Figura A.2 – Coeficiente de absorção sonora das formulações REF, F40, F45 e F50 queimadas a temperatura 1140 °C.....	217

Figura A.3 – Coeficiente de absorção sonora das formulações REF, F40, F45 e F50 queimadas a temperatura 1160 °C.....	218
Figura C.1 – Perda de transmissão sonora das formulações REF, F40, F45 e F50 queimadas a temperatura 1120 °C	222
Figura C.2 – Perda de transmissão sonora das formulações REF, F40, F45 e F50 queimadas a temperatura 1140 °C	223
Figura C.3 – Perda de transmissão sonora das formulações REF, F40, F45 e F50 queimadas a temperatura 1160 °C	224
Figura G. 1 – Diferença da relação sinal-ruído (dB) para cada condição experimental analisada para a categoria do ruído externo versus níveis de volume 30, 50 e 100 (dB).....	243
Figura I. 1 – Diferença da relação sinal-ruído (dB) para cada condição experimental analisada para a categoria do ruído interno versus níveis de volume 30, 50 e 100 (dB)	250

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos revestimentos cerâmicos prensados.	69
Tabela 2 - Composições das formulações F40, F45 e F50 propostas (% em massa).	78
Tabela 3 - Códigos atribuídos a cada formulação em função da temperatura de queima aplicada.	82
Tabela 4 - Tabela com a descrição dos ensaios e número de corpos de prova para cada ensaio realizado na Etapa 02.	85
Tabela 5 - Número de corpos de prova utilizados no ensaio mecânico de flexão.	87
Tabela 6 - Número de corpos de prova utilizados no ensaio de condutividade térmica.	89
Tabela 7 - Lista e quantidade dos equipamentos utilizados no ensaio de absorção sonora (EAS) e ensaio de perda de transmissão sonora (EPTS).	91
Tabela 8 - Número de corpos de prova utilizadas na caracterização acústica a fim de avaliar o comportamento do coeficiente de absorção sonora e da perda de transmissão sonora.	92
Tabela 9 - Número de corpos de prova utilizados para a determinação da absorção de água dos corpos cerâmicos.	96
Tabela 10 - Número de corpos de prova submetidos à determinação do módulo de elasticidade.	97
Tabela 11 - Número de corpos de prova submetidos ao ensaio com o aparato térmico.	98
Tabela 12 - Tabela de calibração dos termopares. Temperatura real e temperaturas dos termopares em °C.	106
Tabela 13 - Títulos dos arquivos de áudio correspondentes aos ruídos externos e internos utilizados nos ensaios acústicos.	113
Tabela 14 - Totalidade e descrição dos ensaios realizados com o aparato acústico com a finalidade de avaliar o desempenho acústico do sistema em estudo.	119
Tabela 15 - Composição química (% em massa) das matérias-primas comerciais.	126
Tabela 16 - Composição química das formulações REF, F40, F45 e F50 determinada por FRX.	128
Tabela 17 - Resultados do ensaio de densidade aparente (g/cm^3), densidade real (g/cm^3) e de porosidade total (%) para teor de calcário versus temperatura de queima para as formulações em estudo.	136
Tabela 18 - Resultados do ensaio de resistência mecânica à flexão (MPa) para teor de calcário versus temperatura de queima para as formulações em estudo.	138

Tabela 19 - Resultados do ensaio de condutividade térmica ($W/(m \cdot K)$) para teor de calcário versus temperatura de queima para as formulações em estudo.	146
Tabela 20 - Valores médios e desvios padrão do coeficiente de absorção sonora (α) das formulações cerâmicas REF, F40, F45 e F50, para as faixas de baixa, média e alta frequência, nas temperaturas de queima de 1120, 1140 e 1160 °C.	152
Tabela 21 - Valores médios e desvios padrão da perda de transmissão sonora (dB) das formulações cerâmicas REF, F40, F45 e F50, para as faixas de baixa, média e alta frequência, nas temperaturas de queima de 1120, 1140 e 1160 °C.	155
Tabela 22 - Resultados do ensaio de densidade aparente e real (g/cm^3), porosidade total (%), resistência mecânica a Flexão (MPa), condutividade térmica ($W/(m \cdot K)$), absorção sonora e perda de transmissão sonora (dB) para teor de calcário versus temperatura de queima para as formulações em estudo.....	157
Tabela 23 - Resultados de absorção da água (AA, %) da amostra REFT1140 e F50T1140 queimadas a 1140 °C.....	162
Tabela 24 - Resultados de módulo de elasticidade (E, GPa) da amostra REFT1140 e F50T1140 queimadas a 1140 °C.....	163
Tabela 25 - Médias das temperaturas (°C) registradas pelo FieldLogger – Data Logger, nos três tipos de ensaios térmicos realizados com o aparato térmico.....	166
Tabela 26 - Resultado dos Δ das temperaturas (°C) de T2, T4 e T5 em função da temperatura T1.	166
Tabela 27 - Médias aritméticas do nível de pressão sonora (dB) para cada condição experimental obtidas com os decibelímetros e diferença da relação sinal-ruído para cada condição experimental analisada (intervalo de confiança de 95 % - IC 95 %) para a categoria do ruído externo.	173
Tabela 28 - Média aritmética do nível de pressão sonora (dB) para cada condição experimental obtidas com os decibelímetros e diferença da relação sinal-ruído para cada condição experimental analisada (intervalo de confiança de 95 % - IC 95 %) para a categoria do ruído interno.	178
Tabela B.1 – Tabela com os valores médios e desvios padrão do coeficiente de absorção sonora (α) das formulações cerâmicas REF, F40, F45 e F50, sinterizadas a 1120 °C, obtidos a partir da extração dos dados dos gráficos, para as faixas de baixa, média e alta frequência	219
Tabela B.2 – Tabela com os valores médios e desvios padrão do coeficiente de absorção sonora (α) das formulações cerâmicas REF, F40, F45 e F50, sinterizadas a 1140 °C, obtidos a partir da extração dos dados dos gráficos, para as faixas de baixa, média e alta frequência	220

Tabela B.3 – Tabela com os valores médios e desvios padrão do coeficiente de absorção sonora (α) das formulações cerâmicas REF, F40, F45 e F50, sinterizadas a 1160 °C, obtidos a partir da extração dos dados dos gráficos, para as faixas de baixa, média e alta frequência	221
Tabela D.1 – Tabela com os valores médios e desvios padrão da perda de transmissão sonora (dB) das formulações cerâmicas REF, F40, F45 e F50, sinterizadas a 1120 °C, obtidos a partir da extração dos dados dos gráficos, para as faixas de baixa, média e alta frequência	225
Tabela D.2 – Tabela com os valores médios e desvios padrão da perda de transmissão sonora (dB) das formulações cerâmicas REF, F40, F45 e F50, sinterizadas a 1140 °C, obtidos a partir da extração dos dados dos gráficos, para as faixas de baixa, média e alta frequência	226
Tabela D.3 – Tabela com os valores médios e desvios padrão da perda de transmissão sonora (dB) das formulações cerâmicas REF, F40, F45 e F50, sinterizadas a 1160 °C, obtidos a partir da extração dos dados dos gráficos, para as faixas de baixa, média e alta frequência	227
Tabela E.1 – Leituras de temperatura (°C) registradas pelo FieldLogger para o ensaio acústico simulando uma fachada tradicional	228
Tabela E.2 – Leituras de temperatura (°C) registradas pelo FieldLogger para o ensaio acústico simulando uma fachada ventilada – REFT1140.....	230
Tabela E.3 – Leituras de temperatura (°C) registradas pelo FieldLogger para o ensaio acústico simulando uma fachada ventilada – Melhor Condição Experimental – F50T1140	231
Tabela F.1 – Medições de nível de pressão sonora (dB) obtidas com os decibelímetros para o Som Ambiente de Construção	233
Tabela F.2 – Medições de nível de pressão sonora (dB) obtidas com os decibelímetros para o Som Ambiente Barulho de Trânsito Urbano.....	235
Tabela F.3 – Medições de nível de pressão sonora (dB) obtidas com os decibelímetros para o Som Ambiente de Bar.....	237
Tabela F.4 – Medições de nível de pressão sonora (dB) obtidas com os decibelímetros para o Som Ambiente de Feira.....	239
Tabela F.5 – Medições de nível de pressão sonora (dB) obtidas com os decibelímetros para o Som Ambiente de Crianças Brincando	241
Tabela H.1 – Medições de nível de pressão sonora (dB) obtidas com os decibelímetros para o Som Ambiente de Festa	244
Tabela H.2 – Medições de nível de pressão sonora (dB) obtidas com os decibelímetros para o Som Ambiente Choro de Bebê	246
Tabela H.3 – Medições de nível de pressão sonora (dB) obtidas com os decibelímetros para o Som Ambiente de Bateria	248

Tabela J.1 – Planilha de cálculos estatísticos do ensaio acústico para ruído externo com tipo de som reproduzido: Som Ambiente de Construção	251
Tabela J.2 – Planilha de cálculos estatísticos do ensaio acústico para ruído externo com tipo de som reproduzido: Som Ambiente Barulho de Trânsito Urbano	252
Tabela J.3 – Planilha de cálculos estatísticos do ensaio acústico para ruído externo com tipo de som reproduzido: Som Ambiente de Bar	253
Tabela J.4 – Planilha de cálculos estatísticos do ensaio acústico para ruído externo com tipo de som reproduzido: Som Ambiente de Feira.....	254
Tabela J.5 – Planilha de cálculos estatísticos do ensaio acústico para ruído externo com tipo de som reproduzido: Som Ambiente de Crianças Brincando	255
Tabela J.6 – Resultados da ANOVA bifatorial (p-valores) para os fatores tipo de fachada e volume sonoro nos ensaios com ruídos externos ($\alpha = 0,05$)	256
Tabela L.1 – Planilha de cálculos estatísticos do ensaio acústico para ruído interno com tipo de som reproduzido: Som Ambiente de Festa	257
Tabela L.2 – Planilha de cálculos estatísticos do ensaio acústico para ruído interno com tipo de som reproduzido: Som Ambiente Choro de Bebê	258
Tabela L.3 – Planilha de cálculos estatísticos do ensaio acústico para ruído interno com tipo de som reproduzido: Som Ambiente de Bateria	259
Tabela L.4 – Resultados da ANOVA bifatorial (p-valores) para os fatores tipo de fachada e volume sonoro nos ensaios com ruídos internos ($\alpha = 0,05$).....	260
Tabela M.1 – Tabela da distribuição t de <i>Student</i>	261

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	86
Equação 2	93
Equação 3	93
Equação 4	107
Equação 5	107
Equação 6	122
Equação 7	122
Equação 8	122
Equação 9	123
Equação 10	123
Equação 11	124

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

BEE – *Building Envelope Performance Lab*

DIN – *Deutsches Institut für Normung*

EEE – Espaço Econômico Europeu

EN – *European Norm* (Norma Europeia)

ETAG – *European Technical Approval Guidelines*

EOTA – Organização Europeia de Aprovações Técnicas

ISO – *International Organization for Standardization*

NBR – Norma Brasileira

OVF – *Opaque Ventilated Façade*

RF – Ruído de fundo

SFV – Sistema de Fachada Ventilada

SNR – Relação sinal-ruído

UNI – *Ente Nazionale Italiano di Unificazione*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	28
2	OBJETIVOS	34
2.1	OBJETIVO GERAL	34
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	34
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	35
3.1	FACHADAS VENTILADAS	35
3.1.1	Definições	35
3.1.2	Breve Histórico	37
3.1.3	Tipologia do Sistema de Fachada Ventilada.....	39
3.1.4	Classificação das Fachadas Ventiladas	42
3.1.5	Descrição do Sistema de Fachada Ventilada	43
3.1.6	Material Empregado como Revestimento.....	47
3.1.7	Sistemas de Fixação	49
3.1.8	Normas Técnicas.....	51
3.1.9	Vantagens e Desvantagens do Sistema de Fachada Ventilada	53
3.1.10	Desempenho nas Fachadas Ventiladas	56
3.2	CERÂMICA	67
3.2.1	Placa Cerâmica para Revestimento	68
3.2.2	Cerâmica Porosa.....	69
3.2.3	Inovações no Uso da Cerâmica Porosa	72
4	MATERIAIS E MÉTODOS	74
4.1	MATERIAIS.....	74
4.2	MÉTODOS.....	75
4.2.1	Avaliação do efeito do teor de calcário na microestrutura do material obtido	77

4.2.2	Investigação do efeito da microestrutura no comportamento mecânico, térmico e acústico dos corpos de prova obtidos nas condições experimentais testadas	85
4.2.3	Avaliação das propriedades finais dos corpos de prova obtidos na condição experimental selecionada	95
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	125
5.1	Avaliação do efeito do teor de calcário na microestrutura do material obtido	125
5.1.1	Caracterização Química das Matérias-primas.....	125
5.1.2	Caracterização das Massas Cerâmicas	127
5.1.3	Caracterização Térmica	128
5.2	Investigação do efeito da microestrutura no comportamento mecânico, térmico e acústico dos corpos de prova obtidos nas condições experimentais testadas	130
5.2.1	Caracterização Mineralógica	131
5.2.2	Propriedades Físicas e Microestruturais	135
5.2.3	Caracterização Mecânica	138
5.2.4	Caracterização Microestrutural	140
5.2.5	Caracterização Térmica	146
5.2.6	Caracterização Acústica	148
5.3	Definição da melhor formulação	156
5.4	Avaliação das propriedades finais dos corpos de prova obtidos na condição experimental selecionada	161
5.4.1	Caracterização Física – Determinação da Absorção de Água	162
5.4.2	Propriedade Mecânica – Módulo de Elasticidade	162
5.4.3	Ensaio Térmico	163
5.4.4	Ensaio Acústico.....	171
6	CONCLUSÃO	185
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	187
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	188

APÊNDICE A – GRÁFICOS DE COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA DAS FORMULAÇÕES CERÂMICAS REF, F40, F45 E F50 QUEIMADAS A 1120, 1140 E 1160 °C	216
APÊNDICE B –VALORES MÉDIOS E DESVIOS PADRÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA (α) DAS FORMULAÇÕES CERÂMICAS REF, F40, F45 E F50, QUEIMADAS A 1120, 1140 E 1160 °C, PARA AS FAIXAS DE BAIXA, MÉDIA E ALTA FREQUÊNCIA	219
APÊNDICE C – GRÁFICOS DA PERDA DE TRANSMISSÃO SONORA DAS FORMULAÇÕES CERÂMICAS REF, F40, F45 E F50 QUEIMADAS A 1120, 1140 E 1160 °C	222
APÊNDICE D –VALORES MÉDIOS E DESVIOS PADRÃO DA PERDA DE TRANSMISSÃO SONORA DAS FORMULAÇÕES CERÂMICAS REF, F40, F45 E F50, QUEIMADAS A 1120, 1140 E 1160 °C, PARA AS FAIXAS DE BAIXA, MÉDIA E ALTA FREQUÊNCIA	225
APÊNDICE E – PLANILHAS DE DADOS EXPERIMENTAIS DOS ENSAIOS TÉRMICOS OBTIDOS COM O APARATO TÉRMICO, REGISTRADOS PELO FIELDLOGGER.....	228
APÊNDICE F – PLANILHAS DE MEDIÇÕES DE NÍVEL DE PRESSÃO SONORA OBTIDAS COM OS DECIBELÍMETROS NOS ENSAIOS ACÚSTICOS PARA A CATEGORIA RUÍDO EXTERNO	233
APÊNDICE G – CONJUNTO DE GRÁFICOS DA DIFERENÇA DA RELAÇÃO SINAL-RUÍDO (dB) CONSIDERANDO OS NÍVEIS DE VOLUME SONORO (30, 50 E 100 dB) PARA AS DIFERENTES CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS, NA CATEGORIA DE RUÍDO EXTERNO.	243
APÊNDICE H – PLANILHAS DE MEDIÇÕES DE NÍVEL DE PRESSÃO SONORA OBTIDAS COM OS DECIBELÍMETROS NOS ENSAIOS ACÚSTICOS PARA A CATEGORIA RUÍDO INTERNO	244
APÊNDICE I – CONJUNTO DE GRÁFICOS DA DIFERENÇA DA RELAÇÃO SINAL-RUÍDO (dB) CONSIDERANDO OS NÍVEIS DE VOLUME SONORO (30, 50 E 100 dB) PARA AS DIFERENTES CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS, NA CATEGORIA DE RUÍDO INTERNO.....	250

APÊNDICE J – PLANILHAS DE CÁLCULO ESTATÍSTICO DO ENSAIO COM APARATO ACÚSTICO PARA A CATEGORIA RUÍDO EXTERNO	251
APÊNDICE L – PLANILHAS DE CÁLCULO ESTATÍSTICO DO ENSAIO COM APARATO ACÚSTICO PARA A CATEGORIA RUÍDO INTERNO	257
ANEXO M – TABELA DA DISTRIBUIÇÃO t DE STUDENT	261

1 INTRODUÇÃO

A construção civil encontra-se em constante evolução nas mais variadas etapas, adaptando-se às tendências tecnológicas experimentadas nos diversos movimentos ao longo do tempo. Com isso, constata-se a necessidade de se desenvolver novas soluções para os sistemas construtivos e superar desafios em projetos, construções e operações, principalmente no caso de fachadas, com ênfase na leveza, transparência e desempenho. A fachada é um dos elementos básicos para a valorização da edificação. Para a arquitetura, a fachada do edifício, além do efeito estético, também desempenha papel relevante em seu impacto na eficiência energética e ambiental (Lai; Hokoi, 2015) e representa a ligação entre os fatores ambientais externos e as demandas internas dos usuários (Ibañez-Puy *et al.*, 2017). Os sistemas de revestimento de fachadas apresentam efeito significativo no desempenho e na durabilidade dos edifícios, contribuem para a estanqueidade, valorização imobiliária e acabamento estético (Silva; Thomaz; Oliveira, 2018b). Além disso, determina a satisfação dos usuários em relação à capacidade de serviço percebida e a segurança em condições operacionais, oferecendo requisitos básicos relacionados à permeabilidade à água, resistência ao fogo e desempenho estrutural global (Bedon *et al.*, 2019).

As fachadas convencionais com revestimentos aderidos apresentam grande incidência de patologias (Maciel; Carvalho, 2019a) e demora na conclusão da obra. Processos de intemperismo, deterioração de materiais, problemas com umidade, como a penetração de água e vapor de água, resultando em juntas e vedações comprometidas, metal corroído, isolamento degradado e condições de uso diminuem o desempenho da fachada ao longo do tempo (Martinez *et al.*, 2015).

A fachada evoluiu em complexidade ao longo do tempo, abrangendo funcionalidade e desempenho elevado (Martinez *et al.*, 2015). Além disso, presença de umidade nas paredes dos edifícios tem provocado a deterioração dos materiais e causado impacto na saúde humana (Davidovic; Srebric; Burnett, 2006). Projetos e aplicação de novos conceitos de fachada são fundamentais e devem ser capazes de fornecer segurança, mitigação de infiltrações de ar e água, isolamento térmico e acústico, ou seja, um clima interno confortável e proteção sonora, controle solar, iluminação natural, controle de ofuscamento, estética agradável e, ao mesmo tempo, minimizar a demanda de energia (Agathokleous; Kalogirou, 2016; Martinez *et al.*, 2015). Os edifícios são os principais consumidores de energia em diversos países. Estudos voltados à geração e utilização de energias renováveis, soluções energeticamente sustentáveis, sistemas

construtivos responsáveis e redução de emissões de carbono tornaram-se questões importantes, debatidas frequentemente nos últimos anos por lideranças governamentais e não governamentais (Boafo *et al.*, 2021).

O desenvolvimento sustentável exige a criação de fachadas inovadoras que possam harmonizar a relação entre os seres humanos e o ambiente natural (Lai; Hokoi, 2015). Desta maneira, com o passar dos anos, as fachadas de alto desempenho tornaram-se fatores-chave para se alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável no setor da arquitetura (Habibi; Valladares; Peña, 2022). Estas fachadas combinam recursos, materiais e tecnologias que alteram suas propriedades com a mudança do clima e/ou ocupação, com o propósito de manter o conforto interno do ocupante mesmo estando sujeitos a uma demanda mínima de energia (Alkhatib *et al.*, 2021). O resultado dessa evolução da tecnologia de fachadas é a disponibilidade de produtos e materiais de alto desempenho (Martinez *et al.*, 2015). Um exemplo de fachada inovadora são as fachadas de dupla pele. De acordo com Pomponi *et al.* (2016), uma fachada de dupla pele é um sistema híbrido feito pela própria fachada do edifício, que constitui a pele interna, e uma pele externa envidraçada. As duas camadas são separadas por uma cavidade de ar que possui entradas e saídas fixas ou controláveis. Ao contrário dos edifícios selados, edifícios de dupla pele não criam barreira definitiva entre as condições internas do edifício e o ambiente externo. A fim de reduzir a demanda de energia dos edifícios e melhorar a aparência estética, atualmente diferentes tipos de fachadas de dupla pele tem sido especificadas como envelope de construção, pois uma mudança nas prioridades pelas quais os edifícios modernos são construídos ocorreu ao longo dos anos.

Uma parede ventilada é um envelope de pele dupla, mas difere em sua construção e modo operacional (Seferis *et al.*, 2011). A camada externa da fachada de dupla pele é geralmente constituída por elementos transparentes e há aberturas de ventilação na camada externa e parede interna; desta maneira, ocorre a circulação do ar externo para o interior do edifício por meio de aberturas de ventilação (Seferis *et al.*, 2011). Já no caso das fachadas ventiladas, o objetivo principal é a remoção dos ganhos de calor solar por meio do efeito pilha da cavidade (Ascione *et al.*, 2021). São opacas; apenas na camada externa é que se encontram as aberturas. Portanto, a circulação do ar externo é alcançada por meio do espaço de ar entre a camada externa e a parede interna (Seferis *et al.*, 2011). A arquitetura, bem como o setor da construção civil, tem demonstrado um interesse especial pelas fachadas ventiladas nos últimos anos (De Gracia *et al.*, 2013; Ibañez-Puy *et al.*, 2017; Maciel; Carvalho, 2019a). São baseados em um tipo especial de envelope, na qual, uma segunda pele é colocada na frente de uma fachada normal de edifício (De Gracia *et al.*, 2013). As melhorias nas camadas envolventes dos edifícios têm elevado

potencial em aumentar o desempenho energético do edifício, sobretudo no verão (Colinart; Bendouma; Glouannec, 2019; De Gracia *et al.*, 2013; De Masi *et al.*, 2021; De Masi; Ruggiero; Vanoli, 2021; Fantucci; Serra; Carbonaro, 2020; Fernandes Maciel; Carvalho, 2021) e pode melhorar as características acústicas e a iluminação diurna no interior do edifício (De Gracia *et al.*, 2013). O desempenho da camada envolvente dos edifícios deve garantir o conforto térmico e higrométrico nos espaços internos, bem como a limitação do consumo e desperdício energéticos, satisfazendo requisitos ambientais e tecnológicos (Ascione *et al.*, 2021).

O uso do sistema de fachada ventilada (SFV) oferece variedade de revestimentos externos e a possibilidade de se selecionar uma grande variedade de materiais, cores e tamanhos de revestimentos (Ibañez-Puy *et al.*, 2017; Pizzatto *et al.*, 2025). Atualmente, pode ser empregado em diferentes materiais de revestimento, entre eles, painéis de fibrocimento, alumínio composto, placas de pedra natural, como mármore e granito, metal e porcelanato (Silva; Thomaz; Oliveira, 2018a). Os materiais porcelânicos são tipicamente utilizados como revestimento em fachadas ventiladas. Possuem como características alta resistência mecânica, alta resistência ao manchamento, baixa porosidade.

O sistema de fachadas ventiladas traz consigo inúmeras vantagens, porém o preço costuma ser elevado, quando comparado com soluções tradicionais, o que dificulta a inserção no mercado brasileiro. O sistema é composto por um mecanismo de fixação constituído por uma subestrutura metálica, o que permite a instalação de grandes formatos de placas cerâmicas. O peso da placa cerâmica tem grande influência no dimensionamento desta subestrutura metálica. Os materiais porcelânicos são materiais densos, exigindo uma estrutura mais reforçada e como consequência direta, o custo elevado do sistema.

A indústria cerâmica vem inovando com a produção de novos produtos que aliam características sustentáveis e evolutivas. O emprego de materiais porosos como revestimento no sistema de fachada ventilada configura-se como uma solução eficiente para a otimização da relação peso vs custo. Os mesmos possuem a característica de baixa densidade e leveza, diminuindo o peso da subestrutura metálica, resultando na redução direta de matérias-primas, diminuindo o custo do sistema. Nos materiais cerâmicos, a porosidade é alcançada a partir da inserção de geradores de poros, como por exemplo o calcário.

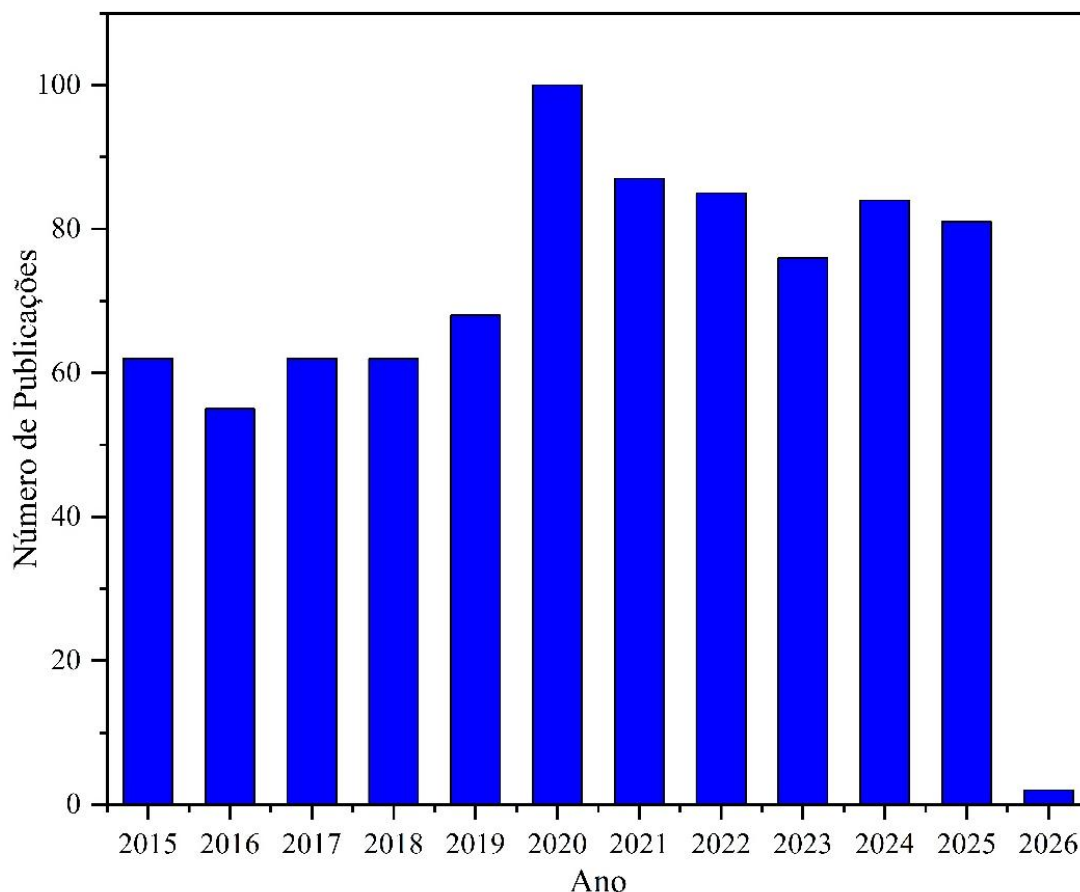
Atualmente, é possível identificar uma quantidade notória de estudos e artigos relacionados aos “envelopes ventilados”, principalmente centrada na investigação das principais características que afetam o desempenho energético do edifício (Fantucci; Serra; Carbonaro, 2020; Ibañez-Puy *et al.*, 2017). Há vários estudos relacionados às fachadas de dupla pele, edifício integrado fotovoltaico, chaminé solar, trombe e coletores solares de fachadas

(Chan; Riffat; Zhu, 2010; Ibañez-Puy *et al.*, 2017; Maciel; Carvalho, 2019b; Pizzatto *et al.*, 2025; Sanjuan *et al.*, 2011).

Em alguns casos, o SFV é combinado com painéis fotovoltaicos integrados à construção ou coletores térmicos (Sánchez *et al.*, 2017). Porém, os estudos a respeito do SFV são limitados (Ibañez-Puy *et al.*, 2017; Maciel; Carvalho, 2019a) com relação à avaliação de desempenho térmico e acústico, em especial para produtos porosos.

A Figura 1 apresenta uma visão geral da produção científica relacionada ao tema fachadas ventiladas nos últimos 10 anos, evidenciando o número de publicações documentadas ao longo dos anos. O levantamento foi realizado na base de dados Scopus, utilizando o termo de busca em inglês “*ventilated facade*”. Como pode ser visto, a tendência geral é a de crescimento na produção científica, a partir de 2019. Esta evolução está associada a um aumento no interesse acadêmico em relação à área, a busca por soluções construtivas sustentáveis, bem como no desempenho térmico e energético das edificações.

Figura 1 - Figura mostrando os estudos feitos na área de fachadas ventiladas nos últimos 10 anos.



Fonte: Do Autor (2026).

A partir desta explanação, a proposta do trabalho em questão foi desenvolver uma placa cerâmica porosa, que atendesse aos requisitos necessários para aplicação em um sistema de fachada ventilada, em especial resistência mecânica adequada à aplicação desejada, baixa densidade, elevada porosidade, conforto térmico e acústico adequados. A placa cerâmica foi produzida utilizando as matérias-primas comerciais, fornecidas em parceria com a empresa Eliane Revestimentos Cerâmicos.

Como pode ser visto, estudos envolvendo conforto acústico com aplicação à fachada ventilada são raros na literatura e, portanto, estudos adicionais sobre o tema seriam de interesse investigativo. Assim, este trabalho busca entender e avaliar o desempenho acústico nesse contexto. Dessa maneira, propõe-se a criação de um aparato acústico o que é visto como uma inovação, uma vez que atualmente não são encontrados, na literatura, dados comprovando esta vantagem. Este aparato pode servir de estimativa no desempenho acústico do material a ser aplicado em fachada ventilada.

Referente ao conforto térmico no sistema de fachada ventilada, vários são os artigos que atendem este tema. A proposta foi desenvolver um aparato térmico simulando um sistema de fachada ventilada comprovando esta vantagem no sistema.

Assim, a principal hipótese de pesquisa está relacionada à possibilidade do emprego de uma composição cerâmica com porosidade elevada, do tipo “monoporosa”, obtida a partir de matérias-primas comerciais, apresentando resistência mecânica, térmica e acústica adequadas à aplicação em fachadas ventiladas. Nesse contexto, considera-se a incorporação de até 50 % de calcário como agente porogênico na formulação cerâmica, com o intuito de promover o aumento controlado da porosidade do material. A hipótese central considera que essa elevação da porosidade pode resultar em uma melhoria no desempenho térmico e acústico das placas cerâmicas, devido à maior capacidade de isolamento gerada pelos poros, sem que ocorra um comprometimento da resistência mecânica necessária para a aplicação em fachadas ventiladas. Avalia-se, portanto, se a combinação de baixa densidade, elevada porosidade, resistência mecânica e desempenho térmico e acústico adequados resultará em um material cerâmico competitivo para aplicação em sistemas de fachadas ventiladas, alinhado às exigências de eficiência energética e sustentabilidade dos sistemas construtivos contemporâneos.

Nesse sentido, o desenvolvimento de sistemas construtivos eficientes, como as fachadas ventiladas, está diretamente relacionado às diretrizes globais de sustentabilidade e eficiência energética. O sistema de fachada ventilada é adotado em todo o mundo como um elemento chave da arquitetura contemporânea, por se tratar de uma solução sustentável. As construções sustentáveis contribuem para o Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. O

ODS 7 – energia limpa e acessível, caracteriza como sendo de extrema importância o consumo eficiente de energia, tanto em escritórios comerciais quanto em residências.

Este trabalho está inserido no âmbito do Programa de Apoio aos Programas de Pós-Graduação Emergentes e em Consolidação em Áreas Prioritárias nos Estados, aprovado no Edital de Chamada Pública FAPESC/CAPES nº 21/2021, promovido pela Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) em conjunto com a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma placa cerâmica de elevada porosidade, que apresente resistência mecânica, térmica e acústica adequadas à aplicação em fachada ventilada, utilizando matérias-primas comerciais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito do teor de calcário na microestrutura do material obtido;
- Investigar o efeito da microestrutura no comportamento mecânico, térmico e acústico dos corpos de prova obtidos nas condições experimentais testadas;
- Avaliar as propriedades finais dos corpos de prova obtidos na condição experimental selecionada.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este tópico tem por objetivo a explanação dos principais temas abordados na presente pesquisa.

3.1 FACHADAS VENTILADAS

A utilização de estruturas ventiladas em edificações tem sido uma solução amplamente utilizada na arquitetura contemporânea.

De acordo com Herzog (Gagliano *et al.*, 2011), “é significativo falar da camada envolvente do edifício como uma ‘pele’ e não apenas uma ‘proteção’, algo que ‘respira’, que reage ao clima e às condições ambientais entre o interior e o exterior, semelhante ao dos humanos”.

3.1.1 Definições

São muitas as definições adotadas ao sistema de fachada ventilada. Esta surgiu com o intuito de se ter uma camada envolvente que aliasse a vertente estética com uma aplicabilidade valiosa, em termos de isolamento e economia energética (Gagliano *et al.*, 2011).

3.1.1.1 Antecedentes

O conceito de fachada ventilada é derivado do sistema de Fachada Cortina (*curtain-wall*), com câmara de ar, que pode ter juntas abertas ou estanque (Maciel; Carvalho, 2019a). Os dois sistemas são caracterizados por um sistema não aderido instalado por meio de *inserts* metálicos ou subestrutura metálica com uma câmara de ar (Boafo *et al.*, 2021; Müller; Alarcon, 2005). O que os difere é que, no caso do SFV, o ar nesta câmara é renovado constantemente, a partir de um escoamento ascendente de ar com o aquecimento. Portanto, toda fachada ventilada é considera fachada cortina, mas não o inverso.

Huang *et al.* (2017) relataram que a *curtain wall* é caracterizada por qualquer parede de construção, em qualquer tipo de material que não suporta cargas verticais sobrepostas, ou seja, parede sem suporte. A fachada cortina fornece funções estética, ambiental e estrutural a fim de se alcançar o fechamento da estrutura necessário para a segurança, conforto e funcionalidade

dos usuários. Devido ao desenvolvimento tecnológico de fabricação e construção, com o passar dos anos, painéis de vidro e aço passaram a ser produzidos com custo reduzido, perfazendo-se fachadas leves e esteticamente populares em edifícios modernos, especialmente altos e históricos. Atualmente, o vidro é amplamente utilizado em fachadas de edificações contemporâneas.

3.1.1.2 Fachada Ventilada

Existem muitos sinônimos de fachada ventilada, como por exemplo fachada ativa, envelope duplo, tela de chuva ou *Dupla pele Facade* (DSF) (Sánchez *et al.*, 2017), também chamada de fachadas inteligentes, devido ao seu potencial de economia de energia (Soto Francés *et al.*, 2013).

O SFV, que é uma *Dupla pele Facade*, pode ser combinado com painéis fotovoltaicos integrados à construção e durante os últimos 15 anos tornou-se um elemento arquitetônico crescente e importante em edifícios (Agathokleous; Kalogirou, 2016). A instalação vertical se dá na forma de fachada dupla com painéis fotovoltaicos voltada para o sul ou oeste (Zogou; Stapountzis, 2011).

As fachadas ventiladas podem ser tituladas por *Opaque Ventilated Façade* (OVF). Esta é um tipo de fachada que absorve a energia solar e a transfere para o sistema de ventilação (López; Santiago, 2015). As fachadas ventiladas são também denominadas *Open Joint Ventilated Facades* (OJVF) (SÁNCHEZ *et al.*, 2017).

As Fachadas Ventiladas com Juntas Abertas (OJVF) é um tipo especial de fachada ventilada, envelope duplo, dupla pele, fachada integrada avançada ou fachada leve. Não há um acordo geral sobre um nome próprio a respeito destas tipologias de fachadas (Suárez *et al.*, 2012). A OJVF é um sistema construtivo amplamente empregado como elemento de proteção contra radiação solar; desta maneira, é importante uma ampla caracterização dos fenômenos naturais de convecção (Sánchez *et al.*, 2013). Estas fachadas são marcadas por descontinuidades localizadas nas juntas, o que torna o escoamento muito mais complexo, não homogêneo e assimétrico (Giancola *et al.*, 2012). A camada externa geralmente é especificada com material cerâmico (Stazi *et al.*, 2011) ou metal (Stazi; Vegliò; Di Perna, 2014).

Há várias definições a respeito do sistema de fachada ventilada disponíveis na literatura.

De acordo com Müller e Alarcon (2005), a existência de ventilação em uma câmara de ar é caracterizada como uma fachada ventilada. Forma-se um fluxo de ar ascendente com o

aquecimento deste ar no interior da câmara. Também contribuem para a ventilação, as diferenças de pressão no interior da câmara de ar ventilada, devido à ação do vento.

Para Patania *et al.* (2010), o sistema de fachada ventilada é compreendido por um revestimento externo da fachada, com uma estrutura engastada na parede da edificação, um material isolante e uma estrutura metálica que apoia o revestimento e o material isolante. O fluxo de massa devido aos efeitos de empuxo, transporta a carga de calor por convecção natural de ar dentro do duto ventilado. Um caso especial de fachada, é a fachada ventilada opaca, em que a face externa consiste em uma camada destacada que forma uma cavidade naturalmente ventilada.

Segundo Stazi *et al.* (2020), a pele ventilada consiste em um sistema de revestimento externo, em que a envolvente da edificação é fixada por meio de pontos de ancoragem mecânica. Seguindo do lado interno para o lado externo, a pele ventilada é composta por quatro camadas funcionais: camada interna, camada isolante contínua, câmara de ventilação com abertura inferior e superior conectadas ao ar externo e revestimento externo.

Para De Masi *et al.* (2021), as fachadas ventiladas são comumente compostas por uma parede posterior (traseira) sobre a qual é colocada uma camada de material de isolamento e por um sistema de revestimento, em que é criado entre a parede isolada e o ambiente externo um espaço de ar aberto. O comportamento termo-higrométrico de uma fachada ventilada envolve parâmetros, ligados principalmente ao efeito chaminé.

3.1.2 Breve Histórico

O SFV é um sistema de revestimento multicamada desenvolvido originalmente em países do norte da Europa (Gagliano *et al.*, 2011; Ibañez-Puy *et al.*, 2017). Como citado anteriormente, o SFV é um sistema derivado da fachada cortina. As fachadas de parede cortina foram adotadas em todo o mundo como um sinal chave da arquitetura moderna (Boafo *et al.*, 2021). A primeira estrutura com paredes cortina totalmente envidraçada é datada de 1851. O Crystal Palace, em Londres, foi projetado por Sir Joseph Paxton. A edificação era uma enorme sala de exposições de vidro e ferro (Boafo *et al.*, 2021).

Em 1849, Jean-Baptiste Jobard, diretor do Museu Industrial de Bruxelas, descreveu a citação mais antiga de uma fachada de pele múltipla ventilada mecanicamente (Dirk Saelens, 2002).

Um dos primeiros registros do conceito de fachada de dupla pele remonta ao trabalho do botânico americano Edward Morse, que, em 1882, desenvolveu um sistema construtivo

precursor das paredes multifuncionais. A proposta surgiu a partir de observações sobre o aquecimento de superfícies escuras expostas à radiação solar, resultando na concepção de uma parede solar voltada ao aproveitamento térmico passivo (Olena Kalyanova, 2008).

A primeira fachada dupla pele instalada em um edifício real foi observado em Giengen, na Alemanha em 1903 (Ghaffarianhoseini *et al.*, 2016; Preet; Mathur; Mathur, 2022). Richard Steiff projetou uma fábrica de brinquedos para seu pai (Olena Kalyanova, 2008). A tipologia arquitetônica permite a ventilação exterior da cavidade, sendo assim considerado um dos primeiros exemplos de uma fachada de múltiplas peles naturalmente ventilada (Dirk Saelens, 2002). A dupla pele foi instalada considerando os ventos fortes e o clima frio da região e a intenção de maximizar a iluminação natural do dia (Ghaffarianhoseini *et al.*, 2016).

Em 1904 foi construído o Post Office Savings Bank, em Viena, Áustria (Olena Kalyanova, 2008). A edificação foi projetada por Otto Wagner, vencedor do concurso do *Post Office Savings Bank* (Harris Poirazis, 2004).

A fachada dupla pele foi introduzida no início dos anos 1900, porém pouca evolução ocorreu até os anos 1990 (Barbosa; Ip, 2014).

No final da década de 1970 e início dos anos de 1980, as fachadas mecanicamente ventiladas passaram a ser implementadas em edifícios, principalmente na Europa, um reflexo das crises energéticas de 1973 e 1979. O principal objetivo era reduzir as perdas no inverno e minimizar os ganhos solares no verão (Dirk Saelens, 2002).

Na década de 1990, as crescentes preocupações ambientais, tanto do ponto de vista técnico quanto político começam a influenciar o projeto arquitetônico, fazendo com que os “*green buildings*” fossem vistos como uma boa imagem para a arquitetura corporativa (Harris Poirazis, 2004).

Nos últimos anos, as fachadas de revestimento duplo tornaram-se um elemento arquitetônico crescente (Agathokleous; Kalogirou, 2016). Atualmente, este sistema é empregado em diversos países, em que empresas exploram este mercado e possuem tecnologia de execução para o sistema.

No Brasil, este sistema ainda é pouco difundido; as primeiras obras com este sistema foram realizadas a partir do ano 2000 (Ribeiro *et al.*, 2019), todavia o país possui tecnologia para desenvolver um sistema apropriado de SFV para utilização no país (Müller; Alarcon, 2005).

3.1.3 Tipologia do Sistema de Fachada Ventilada

A utilização de fachadas inteligentes é um critério importante para o desenvolvimento de ambientes construídos ambientalmente benignos (Ghaffarianhoseini, 2013).

O desempenho térmico, energético e acústico do SFV depende de alguns parâmetros externos específicos (Ibañez-Puy *et al.*, 2017). Implicações das condições ambientais externas e a decisão de projeto, ou seja, as propriedades dos componentes da fachada e da própria edificação influenciam diretamente no desempenho da fachada (Ibañez-Puy *et al.*, 2017; Suárez *et al.*, 2012). É importante personalizar o design da fachada de acordo com as condições climáticas específicas. A fachada deve ser projetada para enfrentar as situações com o menor consumo de energia possível. Comumente, a configuração da fachada deve ser projetada considerando a estação mais desfavorável (Ibañez-Puy *et al.*, 2017).

Várias tipologias de SFV têm sido estudadas, de acordo com diferentes critérios quanto ao tipo e dimensão dos canais, fatores ligados ao local, como por exemplo radiação solar, direção, exposição e velocidade do vento, temperatura (Ibañez-Puy *et al.*, 2017) e exposição (Stazi; Vegliò; Di Perna, 2014), que determinam o microclima do local, influência do tipo de revestimento externo, características dos materiais próximos ao canal e do material da camada interna (Sánchez *et al.*, 2017), o material do painel externo, a distribuição e posição das aberturas, as propriedades radiantes do painel externo, o tamanho e a forma do espaço entre a parede e o painel externo (Soto Francés *et al.*, 2013). Em condições de baixa velocidade do vento ($< 0,5$ m/s), quanto maior o gradiente de temperatura, maior é o resfriamento promovido pela convecção natural induzida por flutuação térmica (Ibañez-Puy *et al.*, 2017).

As condições climáticas não sofrem mudanças constantemente. Portanto, pode-se supor uma simplificação importante. Para o verão, considerar dias ensolarados e altas temperaturas e, para o inverno, dias nublados e baixas temperaturas (Ibañez-Puy *et al.*, 2017).

Em regiões com altos níveis de radiação solar, o SFV mantém a temperatura da camada interna das edificações a uma temperatura próxima à ambiente, reduzindo significativamente o impacto da radiação incidente no ambiente interno. Quando paredes, fachadas e telhados ventilados são bem projetados, podem ajudar a reduzir consideravelmente as cargas térmicas de verão, devido à radiação solar direta (Marinosci *et al.*, 2011).

Em relação à decisão de projeto, deve-se ponderar sobre o material da camada externa, as juntas, o design específico (geometria), os materiais (Ibañez-Puy *et al.*, 2017), a largura e a altura do canal de ventilação, o tipo de revestimento externo, as características dos materiais que são colocados adjacentes ao canal e o material da camada interna (Stazi; Vegliò; Di Perna,

2014), além da geometria e das características térmica e óptica (Suárez *et al.*, 2012). Estes parâmetros podem ser escolhidos de acordo com cada projeto (Ibañez-Puy *et al.*, 2017).

Para Stazi *et al.* (2020), muitos parâmetros impactam no comportamento do sistema e no orçamento energético do edifício, sendo divididos em duas principais categorias:

a) condições de contorno externas. A fachada ventilada é um tipo de fachada que absorve a energia solar e a transfere para o sistema de ventilação. Portanto, a carga de ventilação do sistema de aquecimento pode ser reduzida no inverno (López; Santiago, 2015). A economia de energia deste sistema depende fortemente das variáveis climáticas, como a localização geográfica do edifício e principalmente da radiação solar na fachada, da temperatura ambiente e da velocidade do vento (López; Santiago, 2015; Stazi *et al.*, 2020);

b) escolhas de projeto, relacionadas às dimensões (largura e altura do vão de ventilação), material de revestimento externo e configuração das juntas que podem ser abertas ou fechadas (Stazi *et al.*, 2020). No caso do painel externo contínuo ou com juntas entre os ladrilhos fechadas, a ventilação é possível devido às aberturas existentes na parte inferior e superior do revestimento. Quando as juntas são abertas, permitem a entrada e saída do ar exterior da cavidade ao longo da parede. Nestes casos, as juntas lidam com várias expansões causadas por mudanças de temperatura (Maciel; Carvalho, 2019a).

Em relação ao painel externo, Soto Francés *et al.* (2013) afirmaram que as fachadas podem ser divididas em três grupos: fachada de cavidade selada, fachada com juntas fechadas e com grelhas abertas (na parte superior e inferior) e fachada com juntas abertas e grelhas abertas. As fachadas de cavidade selada, são aquelas em que a cavidade de ar e o ar exterior não estão conectados. As fachadas com juntas fechadas com grelhas abertas são as que a cavidade de ar está em contato com o ar exterior e existe um escoamento de ar por meio da cavidade. As fachadas com juntas abertas e grelhas abertas representam a construção mais comum.

De acordo com Marinosci *et al.* (2011), o modelo com juntas fechadas e com grelhas abertas é mais simples que o modelo com juntas e grelhas abertas, podendo, assim, ser usado para descrever ambas as situações.

Para Giancola *et al.* (2012), existem dois tipos de revestimento externo em fachadas ventiladas: contínuo, com juntas fechadas, ou descontínuo, com juntas abertas. Nas fachadas ventiladas de junta fechada – contínuo, o escoamento ascendente é contínuo, homogêneo e simétrico ao longo da parede (Giancola *et al.*, 2012; Ibañez-Puy *et al.*, 2017; Patania *et al.*, 2010). Nas fachadas ventiladas de junta aberta o escoamento é descontínuo e são marcadas por descontinuidades localizadas nas articulações, tornando o escoamento complexo, não homogêneo e assimétrico (Giancola *et al.*, 2012; Ibañez-Puy *et al.*, 2017; Sanjuan *et al.*, 2011).

Este tipo de fachada permite que o ar externo entre e saia da cavidade ao longo da parede. Além de razões estéticas e construtivas, o principal interesse em fachadas ventiladas com junta aberta é a capacidade de reduzir cargas térmicas de resfriamento. Isso ocorre por meio do efeito de fluatibilidade induzido pela radiação solar no interior da cavidade ventilada, onde o ar entra e sai livremente pelas juntas (Sanjuan *et al.*, 2011).

Os painéis externos são separados por juntas horizontais e verticais, a fim de se resolver as expansões causadas por mudanças de temperatura. Este efeito é resultado da radiação solar e a consequente convecção dentro da cavidade. O escoamento de ar ascendente cria um efeito de ventilação que ajuda a remover o calor da fachada (Giancola *et al.*, 2012). As juntas abertas influenciam a velocidade do ar. Quanto maior a velocidade do ar na fachada ventilada, maior o efeito de resfriamento (Ibañez-Puy *et al.*, 2017). Portanto, para minimizar as perdas de calor durante o inverno, deve-se optar por aberturas menores. Se o objetivo for aumentar a taxa de ventilação para se evitar o superaquecimento, é aconselhável usar aberturas maiores. O efeito de resfriamento também aumenta com a altura (De Masi *et al.*, 2021).

A configuração das juntas (fatores geométricos) na pele externa da fachada ventilada, com a presença de juntas de ventilação, podendo estar abertas ou fechadas, influencia no desempenho do SFV (De Masi *et al.*, 2021; Marinosci; Semprini; Morini, 2014). Existe um consenso de que aberturas de juntas cada vez maiores ajudam a reduzir a perda de calor no inverno e evitar o superaquecimento no verão (Lin; Song; Chu, 2022).

A parede interna, com propriedades básicas de isolamento térmico e estanqueidade, é feita em sua maioria de materiais maciços, como por exemplo concreto ou alvenaria e cobertos por materiais isolantes (Lin; Song; Chu, 2022).

Dentre os tipos de fachada dupla pele, existe uma alternativa simples e interessante de aproveitamento da radiação solar em uma edificação. Ambas as camadas sólidas são opacas. A externa é utilizada para absorver a energia solar e transferir parte dela para o ar no vão. A camada interna atua como a camada de isolamento, evitando o risco de superaquecimento no verão e, ainda assim, parte da energia solar pode ser utilizada para aquecer o ar de ventilação no inverno. Estas são as fachadas ventiladas opacas (OVF) (López; Santiago, 2015).

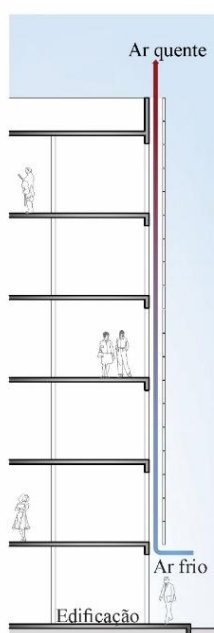
Também é possível encontrar autores que analisam a influência das características dos materiais adjacentes ao canal e do material da camada interna (Sánchez *et al.*, 2017).

3.1.4 Classificação das Fachadas Ventiladas

Em relação às fachadas ventiladas, não há concordância sobre o seu nome próprio. Este tipo de solução de fachada de edifícios pode ser categorizado de acordo com diferentes critérios. Segundo Suárez *et al.* (2012), a Agência Internacional de Energia classifica as fachadas avançadas integradas de acordo com o tipo de ventilação, a trajetória do ar e a configuração da fachada, estando relacionado principalmente com os materiais. Algumas características analisadas são as propriedades dos componentes da fachada e da própria edificação, como geométrica, física, térmica e óptica, o desempenho energético e a otimização do controle.

É de conhecimento geral que o principal benefício do SFV é a dissipação de calor. Esta característica surge do revestimento exterior, absorvendo a radiação solar incidente e a ventilação conduzida por convecção natural da cavidade ventilada. A camada interior do sistema funciona como isolante do edifício. Surge também um efeito de flutuação conduzida na cavidade ventilada, que empurra o ar quente para fora do sistema, permitindo a entrada de ar frio no interior (Pujadas-Gispert *et al.*, 2020). A Figura 2 mostra a entrada de ar frio e a saída de ar quente por meio da câmara de ar ventilada, o chamado efeito chaminé. As diferenças entre as densidades do ar externo e interno, ocasionadas de diferentes temperatura e níveis de umidade, faz com que ocorram forças de empuxo. A remoção do ar quente da fachada também ocorre devido às forças do vento (Gagliano; Nocera; Aneli, 2016; Pujadas-Gispert *et al.*, 2020).

Figura 2 - Efeito chaminé no sistema de fachada ventilada.



Fonte: Do Autor (2026).

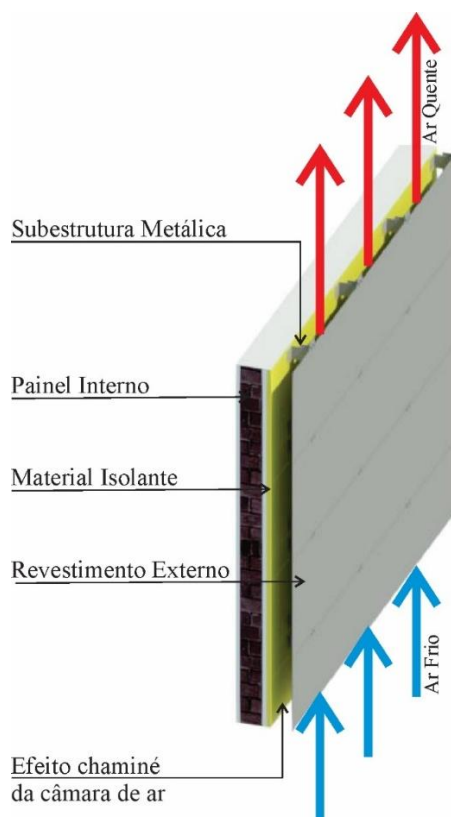
De acordo com Pujadas-Gispert *et al.* (2020), as características relatadas entre as funções das fachadas ventiladas são: a fachada externa absorverá a radiação solar incidente, o calor será distribuído por convecção nas cavidades ventiladas e as flutuações de ar serão geradas entre as placas e o revestimento externo, por conta da diferença de temperatura, que empurrará o ar quente para fora e atrairá o ar mais frio, proporcionando uma corrente de ar natural entre eles.

Segundo Ghaffarianhoseini *et al.* (2012), existe um alto nível de congruência entre as características das camadas envolventes dos edifícios e o conforto visual, acústico e térmico dos espaços interiores.

3.1.5 Descrição do Sistema de Fachada Ventilada

Em se tratando dos elementos de composição, geralmente o SFV é composto por uma parede posterior, também chamada de painel interior, no qual uma camada de material isolante é colocada, e por um sistema de revestimento que cria uma lacuna ao ar livre, também chamada de câmara de ar ventilada entre a parede isolada e o ambiente externo (De Masi *et al.*, 2021; Patania *et al.*, 2010), conforme é mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Detalhe de um sistema de fachada ventilada.



Fonte: Do Autor (2026).

O painel interior, também chamado de muro de suporte, trata-se da parede em alvenaria confinada e apoiada na estrutura portante do edifício. Serve como base para a fixação da subestrutura metálica do sistema. O painel interno é geralmente composto de materiais maciços, como tijolos e concreto e cobertos por materiais isolantes (De Masi *et al.*, 2021). A camada interna funciona como isolamento de edifícios (Ibañez-Puy *et al.*, 2017).

O isolamento térmico é uma capa contínua a toda a altura do suporte. Costuma-se utilizar isolantes de poros fechados, como espuma de poliuretano, mas pode-se usar isolantes de poros abertos, a lã mineral, EPS e XPS (De Masi; Ruggiero; Vanoli, 2021).

A câmara de ar ventilada atua como um amortecedor térmico. Ela diminui a perda de calor durante a estação de aquecimento, os ganhos de calor indesejados durante a estação de resfriamento e o desconforto térmico causado pela radiação térmica assimétrica (Jiru; Haghighat, 2008). Tem por função principal eliminar, por convecção, o excesso de calor e umidade acumulados na câmara e impedir a passagem da água da chuva para o interior do edifício, drenando o que consegue infiltrar-se. O comportamento do canal de ventilação pode variar em função das posições recíprocas do isolamento térmico e da massa inercial (Stazi; Vegliò; Di Perna, 2014). Esta cavidade, que é criada entre os ambientes interno e externo, tem por objetivo explorar de maneira positiva a ventilação natural, a radiação solar e o isolamento térmico (Ascione *et al.*, 2021).

O “efeito chaminé” que ocorre na câmara de ar se mostra excelente durante o inverno, propiciando a economia de energia e também resolver problemas de durabilidade, devido aos agentes atmosféricos à radiação solar agressiva (Stazi *et al.*, 2011; Stazi; Di Perna; Munafò, 2009). Este efeito também se mostra eficiente durante o verão (Ciampi; Leccese; Tuoni, 2003; Stazi *et al.*, 2011). Segundo De Masi, Ruggiero e Vanoli, (2021), a cavidade de ar ventilada aumenta a transferência de calor e umidade interna-externa e ajuda a tornar o envelope do edifício mais eficiente.

Na câmara de ar ocorre a ventilação contínua no sentido vertical. Esta cavidade de ar possui espessura média, ou seja, afastamento médio entre as duas estruturas, de 10 a 15 cm. A largura da câmara de ar ventilada pode variar em termos da subestrutura (Ibañez-Puy *et al.*, 2017). O tamanho do efeito chaminé depende da diferença de temperatura entre o ar interno e externo e também da altura da coluna de ar interno (Gratia; De Herde, 2004). A cavidade deve ser projetada de maneira a reduzir as perdas de pressão ao longo do canal (De Masi *et al.*, 2021). A economia de energia tende a ser aumentada à medida que a largura do duto de ar aumenta e o aumento se finda, particularmente marcado por menos de 15 cm (Ciampi; Leccese; Tuoni, 2003) e é possível obter um efeito de resfriamento solar sensível quando a largura da cavidade

de ar da chaminé é maior que 7 cm (Balocco, 2002). Larguras da cavidade de ar entre 10 e 24 cm apresentaram desempenhos aceitáveis (Marinosci; Semprini; Morini, 2014). É importante ressaltar que um aumento da largura da câmara de ar ventilada acarretaria aumento da complexidade construtiva, resultando em custos elevados relacionados à execução da obra (Ibañez-Puy *et al.*, 2017). O estudo de Lin, Song e Chu (2022) mostrou que a largura da câmara é uma característica que afeta significativamente o desempenho no inverno, porém isso não ocorre no verão. A câmara de 20 cm de largura forneceu a taxa de escoamento de ar mais robusta para a fachada ventilada de junta aberta no verão, levando à redução de carga térmica considerável, principalmente com radiação solar intensiva. No inverno, a câmara ofereceu o melhor e mais confiável desempenho de isolamento para uma fachada de junta fechada sem saídas de ar.

A altura da câmara é um parâmetro importante para o desempenho do processo de secagem por convecção (Davidovic; Srebric; Burnett, 2006). O efeito de resfriamento aumenta com a altura (STAZI *et al.*, 2011). São recomendadas maiores alturas da câmara, a fim de aumentar a diferença de pressão de acionamento para ventilação (Davidovic; Srebric; Burnett, 2006). A altura da chaminé aumenta o efeito do superaquecimento do ar e consequente resfriamento, ou seja, a temperatura do ar em altas câmaras de ar ventiladas são consideravelmente maiores quando comparada com fachadas inferiores (STAZI *et al.*, 2011). As fachadas inferiores recebem uma parcela maior da radiação refletida do solo e menos influenciadas pela ação do vento (De Masi *et al.*, 2021; Stazi; Vegliò; Di Perna, 2014). Para Zöllner, Winter e Viskanta (2002), em edifícios construídos, a distância da lacuna entre a fachada transparente varia de 0,3 a 1.5 m, resultando em proporções baseadas em uma altura típica do andar de cerca de 4 m de relação altura da janela da caixa/distância entre fachada externa e interna, H/S , entre 3 e 15.

O sistema de fixação é composto por perfis verticais em alumínio e *inserts* metálicos em aço inoxidável.

No que se refere ao dimensionamento e à viabilidade estrutural do sistema, Felisbino Campos; Ramos Roman (2012) tiveram como objetivo o dimensionamento de um sistema de fachada ventilada utilizando porcelanato de baixa espessura como revestimento, fixado sobre uma subestrutura auxiliar de alumínio, técnica semelhante à empregada em fachadas cortina de vidro. O dimensionamento foi baseado na determinação das cargas de vento atuantes, consideradas como principal solicitação sobre a subestrutura e o revestimento cerâmico. Para a análise do comportamento estrutural da subestrutura metálica, foram avaliados parâmetros como deflexão máxima admissível, momento de inércia mínimo, momento resistente, dilatação

térmica linear e tensão atuante. No que se refere ao revestimento cerâmico, foi analisada a resistência à flexão e definida a quantidade necessária de suportes estruturais. A ligação entre a subestrutura de alumínio e o revestimento foi realizada por meio de selante estrutural, cujo dimensionamento foi verificado a partir da determinação da resistência à tração e ao cisalhamento. Além disso, os autores descreveram o sistema construtivo da fachada ventilada com revestimento cerâmico de baixa espessura, verificando a compatibilidade entre os materiais e as dimensões adotadas, em conformidade com as especificações técnicas. Os resultados demonstraram que o sistema atende às exigências normativas, apresentando tensões inferiores aos limites admissíveis, como a resistência à flexão do porcelanato (48,98 MPa), resistência mínima a tração do selante estrutural, com valores de 0,38 MPa e 0,77 MPa para cisalhamento. Adicionalmente, o sistema apresentou reduzido peso próprio, da ordem de 12 kg/m², evidenciando-se como uma solução leve, eficiente e tecnicamente viável para aplicação em fachadas ventiladas, com potencial de utilização na construção civil contemporânea.

O revestimento externo ou painel exterior é composto por placas modulares de grandes formatos, em vários tipos de materiais. Define a imagem externa do edifício ao mesmo tempo que configura a câmara de ar ventilada. As juntas destas placas podem permanecer abertas e permitem que o ar externo entre e saia da cavidade ao longo de toda a parede, além de combater expansões causadas por mudanças de temperatura (Ibañez-Puy *et al.*, 2017). Em algumas aplicações, as juntas entre os ladrilhos são fechadas ou o pano externo é contínuo. Para estes casos, a ventilação ocorre devido às aberturas na parte inferior e superior do revestimento (Ibañez-Puy *et al.*, 2017). De acordo com Lin, Song e Chu (2022), o fator mais influente para o desempenho no verão e também no inverno é a taxa de abertura da junta da superfície. Isso ocorre porque a razão da abertura articular da pele externa afeta o mecanismo de ventilação da câmara de ar e a irradiação solar que chega à superfície da parede interna. Em relação ao desempenho térmico, estes fatores apresentam impactos opostos. No verão, o aumento das aberturas da junta permitirá que o ar exterior entre e saia da câmara ao longo de toda a parede a fim de dissipar o calor acumulado, porém o aumento de calor solar indesejado também atinge a parede interna por meio das aberturas. No inverno, a relação ventilação/irradiação também está presente, porém se comporta de maneira oposta. A intensidade do calor solar chega à superfície da parede por meio das aberturas, porém é eliminada devido à ventilação aprimorada da câmara.

Em se tratando do material do painel externo, recomenda-se baixa condutividade, baixa densidade e altos valores de calor específico (De Masi *et al.*, 2021; Patania *et al.*, 2010).

A cor de acabamento (externa) tem impacto significativo nas taxas de transferência de calor de um SFV no verão. A adoção de materiais com baixos coeficientes de absorção de radiação solar são indicados (Lin; Song; Chu, 2022). Segundo Lin, Song e Chu (2022), no verão, o impacto da cor do revestimento externo é o segundo fator mais significativo, perdendo apenas para a taxa da abertura das juntas. As cores vivas aplicadas no revestimento externo podem reduzir o ganho de calor diurno, ao mesmo tempo em que aumentam o efeito de resfriamento noturno no verão, diminuindo as taxas de transferência de calor diárias, em comparação com as de cores escuras.

3.1.6 Material Empregado como Revestimento

O SFV tem alcançado uma expansão no uso devido à possibilidade de hospedar diferentes tipos de revestimentos, permitindo aos arquitetos a possibilidade de explorarem uma ampla variedade de combinações de fachadas (Fantucci; Serra; Carbonaro, 2020). Os materiais empregados nos envelopes dos edifícios desempenham um papel importante no quesito sustentabilidade, levando em consideração o desempenho energético da fachada. Os materiais influenciam no conforto térmico interior; o isolamento é utilizado no aquecimento, bem como no resfriamento, com o intuito de poupar energia (Halawa *et al.*, 2018).

São diversos os tipos de materiais utilizados para compor o revestimento do sistema de fachadas ventiladas. Esta classificação irá determinar o sistema de fixação do sistema.

O comportamento da fachada é diferente dependendo do material de revestimento externo utilizado (Soto Francés *et al.*, 2013). A camada externa atua principalmente como um filtro de radiação (Ibañez-Puy *et al.*, 2017). Os materiais atualmente utilizados na indústria da construção civil são compostos por painéis modulares, com variadas opções em revestimentos, com disponibilidade em materiais metálicos, cerâmicos ou compósitos (Ibañez-Puy *et al.*, 2017; Maciel; Carvalho, 2019), concreto pré-moldado, vidro ou alumínio (MARINOSCI *et al.*, 2011) e até pedra (Sánchez *et al.*, 2017), painéis de alumínio composto, placas fenólicas, placas cimentícias, cerâmica extrudada e madeira. Os vidros translúcidos, materiais cerâmicos/porcelanatos ou metálicos opacos, ou módulos fotovoltaicos são os mais comuns a serem utilizados (Soto Francés *et al.*, 2013). Os revestimentos podem ser feitos de um metal fino, como por exemplo zinco – titânio (Stazi; Vegliò; Di Perna, 2014).

Entre as funções dos revestimentos cerâmicos, destacam-se a proteção e a vedação dos elementos construtivos. Adicionalmente, esses materiais devem apresentar desempenho

adequado em termos de segurança ao fogo, aderência, resistência mecânica e permeabilidade à água, bem como atributos estéticos (Bristot *et al.*, 2017).

As fachadas com revestimento exterior em materiais refletores, como por exemplo aços especiais e ligas de titânio, reduzem fortemente a influência da radiação solar e devem ser consideradas como alternativa a fachadas ventiladas (Ciampi; Leccese; Tuoni, 2003).

A aplicação de um material sólido mais espesso também se faz presente no SFV, como por exemplo tijolo, cerâmicas e cimento, podendo ser permeável ou estanque (Stazi; Vegliò; Di Perna, 2014).

Recentemente, destaca-se a incorporação de tecnologias fotovoltaicas aos revestimentos cerâmicos, possibilitando não apenas funções de proteção e vedação, como também a geração de energia elétrica a partir da radiação solar, ampliando o potencial das fachadas ventiladas como sistemas ativos no desempenho energético das edificações (Bristot *et al.*, 2017).

Os materiais cerâmicos recebem um reforço composto, constituído por uma tela de fibra de vidro e resina polimérica aderida à placa cerâmica. A combinação desses componentes visa garantir a segurança do material após a instalação, evitando a liberação de fragmentos do material cerâmico, utilizado na fachada em caso de fratura do revestimento cerâmico (Ribeiro *et al.*, 2019).

A seleção de materiais a serem aplicados no SFV pode reduzir significativamente o impacto ambiental dos edifícios, de acordo com Pujadas-Gispert *et al.* (2020). De acordo com o conceito de sustentabilidade e versatilidade, os materiais de base biológica estão sendo considerados como recursos promissores para as construções do século XXI e estão altamente valorizados (Sandak *et al.*, 2019). Comparados com o aço, vidro e concreto, o sequestro eficiente de CO₂ confere aos materiais de base biológica uma pegada ambiental menor de carbono. Os materiais de base biológica podem ser produzidos no local, de maneira ecológica e apresentam baixos custos de transporte. São renováveis e reutilizáveis (Pujadas-Gispert *et al.*, 2020). Um exemplo desta tipologia de material é a madeira, que é um material adequado para a interface de fachada da camada envolvente, como no caso pisos, paredes e cobertura entre o interior e o exterior do edifício, por conta da sua baixa condutividade térmica (Tapparo, 2017). Porém, estes materiais oferecem algumas desvantagens, como no caso instabilidade dimensional e térmica, degradação das propriedades mecânicas ao longo do tempo, baixa resistência a processos de degradação bióticos e abióticos e baixa resistência ao fogo (Pujadas-Gispert *et al.*, 2020; Sandak *et al.*, 2019).

Desta maneira, a diversidade de materiais de revestimento disponíveis tem permitido aos arquitetos projetar fachadas com ampla variedade de combinações. Entre esses materiais,

destacam-se os metálicos, como aço e alumínio, os cerâmicos, o vidro, a pedra natural, as placas cimentícias, as cerâmicas extrudadas, os materiais poliméricos, os materiais naturais, como a madeira; os materiais sintéticos, como as placas fenólicas, os compósitos, e, mais recentemente, os módulos fotovoltaicos.

3.1.7 Sistemas de Fixação

O sistema de fixação do SFV é composto por uma subestrutura metálica que permite a instalação de placas de revestimentos que são fixadas mecanicamente.

Em Eliane (2023), a subestrutura é desenvolvida em alumínio. Os revestimentos são fixados com parafusos em aço inoxidável. São utilizados quatro sistemas de fixação ocultos, *inserts* metálicos, *stick*, *shackerley* e grampo:

- *Inserts* metálicos: este sistema é constituído por perfis verticais e *inserts* metálicos pontuais. Os perfis verticais são instalados por meio de ancoragens, que são fixados com chumbadores na base do edifício. Os *inserts* metálicos possuem pinos de fixação, que são inseridos no revestimento;
- *Stick*: este sistema é composto por uma subestrutura auxiliar, composta por perfis, ancoragens e chumbadores. O revestimento é colado, com selante estrutural, em um quadro constituído por perfis de alumínio. O quadro possui presilhas que auxiliam sua fixação na estrutura, composta por perfis denominados coluna e travessa, previamente instalados na fachada;
- *Shackerley*: este sistema é formado por ancoragens, perfis horizontais e verticais, e parafusos expansivos, em que são inseridos no verso do revestimento e chumbadores, fixados na base do edifício;
- Grampo: o revestimento é fixado por meio de grampos metálicos, encaixados em rasgos que são fixados no revestimento. Os elementos de fixação não ficam expostos na superfície do revestimento. O sistema consiste em uma subestrutura com perfis verticais, fixados por meio de ancoragens na base do edifício.

Como sistema visível, são utilizados os grampos. Os elementos de fixação permanecem expostos na superfície do revestimento. O revestimento é fixado por meio de grampos metálicos sem a necessidade de execução de rasgos ou furos no revestimento. O sistema consiste em uma subestrutura com perfis verticais, fixados por meio de ancoragens na base do edifício.

Hilti (2023), empresa portuguesa, especifica sistemas de enquadramento em alumínio. As soluções são rápidas e adaptáveis. Os sistemas se adaptam a todos os tipos de painéis. Dentre os sistemas, tem-se o sistema de ancoragem para fixação em concreto, sistema de ancoragem para fixação em alvenaria e fixação por parafuso em concreto:

- Sistema de ancoragem para fixação em concreto: As buchas plásticas HRD são utilizadas nesta aplicação. Porém, sempre que as condições são favoráveis, são utilizadas ancoragens por parafuso HUS3, que oferece maior produtividade, aguentando maiores cargas que as cavilhas tradicionais;
- Sistema de ancoragem para fixação em alvenaria: Este sistema é adotado para alvenaria de tijolos maciços e furados. As buchas plásticas HRD é a solução adequada quando as forças a suportar são reduzidas. Para suportar forças maiores, a preferência é por químicos de injeção HIT-HY 270 e HIT-HY 170, que são utilizados com varões roscados HIT-V e camisas perfuradas modulares HIT-SC;
- Fixação por parafuso em concreto: Usa-se ancoragem por parafuso para fixar revestimentos descontínuos apenas em casos em que as características mecânicas do concreto são conhecidas.

A empresa Portobello (2023) utiliza estrutura composta de alumínio, com peso aproximado de 3,5 kg/m², com parafusos revestidos de microcerâmica e adesivo polimérico. São utilizados os sistemas Lungo, Magna e Pendeco:

- Sistema Lungo: É o principal sistema e é desenvolvido para porcelanatos de tamanhos padrão. As placas de porcelanato são suspensas em perfis horizontais e fixadas como se fossem quadros, permitindo remoção fácil para acesso ou manutenção;
- Sistema Magna: Desenvolvido para fixar porcelanatos de espessura pequena a uma estrutura de alumínio, suportando as pressões do vento e permitindo dilatações e movimentações. O adesivo utilizado apresenta resistência de 21 kgf/cm² $\approx$ 2,06 MPa;
- Sistema Pendeco: Projetado para produtos de uma linha específica, a Linha Lamina é composta de placas de 300 cm x 100 cm e 3,5 mm de espessura. O porcelanato é aderido a uma subestrutura de suporte e reforço e, então, instalado na estrutura de alumínio. Foi desenvolvido para placas de grandes dimensões.

3.1.8 Normas Técnicas

As normas técnicas têm por objetivo avaliar experimentalmente as fachadas, bem como conceituar, definir diretrizes para projetar o sistema, entre outros aspectos relevantes.

Para a norma Americana ASTM E 631-93a (*American Society for Testing and Materials*, 1998), a fachada-cortina é definida como “parede exterior não aderida, segura e suportada por membros estruturais do edifício”.

Algumas normativas da Sociedade Americana de Testes e Materiais (ASTM) podem ser utilizadas como referência, a fim de se realizar a avaliação técnica dos sistemas de revestimento (Müller; Alarcon, 2005). A norma ASTM E 283 (*American Society for Testing and Materials*, 2012), que determina a taxa de vazamento de ar por meio de janelas externas, paredes cortina e portas sob diferenças de pressão especificadas no espécime, relata que estes sistemas devem fornecer hermeticidade (Müller; Alarcon, 2005). Este método de teste abrange um procedimento de laboratório padrão para determinar as taxas de vazamento de ar de janelas externas, paredes de cortina e portas sob condições de pressão diferencial especificadas em todo o corpo de prova. O método de teste é descrito para testes com temperatura e umidade constantes em toda a amostra. Este procedimento é aplicável a janelas externas, paredes cortina e portas e destina-se a medir apenas o vazamento associado à montagem e não à instalação. A ASTM E 330 (*American Society for Testing and Materials*, 2014) determina o método de teste padrão para desempenho estrutural de janelas externas, portas, claraboias e paredes cortina por diferença uniforme de pressão de ar estática distribuída uniformemente, usando uma câmara de teste (Müller; Alarcon, 2005) e. Este método de teste é aplicável a conjuntos de *curtain wall*, incluindo componentes de metal, vidro, alvenaria e pedra, mas não se limitado a estes (*American Society for Testing and Materials*, 2014). A ASTM E 331 (*American Society for Testing and Materials*, 2016) atua na avaliação a resistência à pressão da água (Müller; Alarcon, 2005). Esta norma determina o método de teste padrão para penetração de água de janelas exteriores, claraboias, portas e paredes cortina por diferença uniforme de pressão de ar estático. Este método abrange a determinação da resistência de janelas externas, paredes de cortina, claraboias e portas à penetração da água, quando a água é aplicada na face externa e bordas expostas simultaneamente com uma pressão de ar estática uniforme na face externa maior do que a pressão na face interna. Esta norma é aplicada a qualquer área de *curtain wall* ou a janelas, claraboias ou portas isoladas.

A Norma Europeia EN 13830:2015 - *Curtain wall* – Norma de produto (Norme Européenne, 2015) especifica os requisitos do kit de *curtain wall* destinado a ser usado como

envelope de construção para fornecer resistência às intempéries, segurança no uso e economia de energia e retenção de calor e fornece métodos de teste, avaliação, cálculo e critérios de conformidade dos desempenhos relacionados. De acordo com Bedon *et al.* (2019), esta norma é a mais relevante para fachadas com foco específico na tipologia de paredes cortina no Espaço Econômico Europeu (EEE). A EN 13830:2015 especifica procedimentos para uma classificação de desempenho de fachada por meio de testes experimentais. O procedimento de teste principal inclui permeabilidade ao ar, estanqueidade, capacidade de manutenção/resistência à carga de vento, permeabilidade ao vapor de água, transmitância térmica e isolamento acústico aéreo (Bedon *et al.*, 2019).

A ETAG 034 – Diretriz para Aprovação Técnica Europeia de Kits para Revestimentos de Paredes Externas (Organização Europeia De Aprovações Técnicas, 2012), lançado pela EOTA – Organização Europeia de Aprovações Técnicas em junho de 2012, é também um documento relevante. Os documentos ETAG são emitidos e aplicados quando as normas não abrangem áreas específicas (Bedon *et al.*, 2019). A ETAG 034 é dividida em duas partes: Parte 1: Kits de Revestimento Ventilados compreendendo componentes de Revestimento e fixações associadas e Parte 2: Kits de Revestimento compreendendo componentes de Revestimento, fixações associadas, subestrutura e possível camada de isolamento (EOTA - Organização Europeia De Aprovações Técnicas, 2022).

A ETAG 034 coloca em vigor requisitos de desempenho e métodos de ensaio e de avaliação para sistemas de revestimentos, correspondentes nas áreas de resistência mecânica e estabilidade, segurança contra incêndio, higiene, saúde e meio ambiente, segurança no uso, proteção contra ruído, economia de energia e retenção de calor, aspectos de durabilidade e facilidade de serviço (Bedon *et al.*, 2019; Müller; Alarcon, 2005).

Segundo a norma Italiana UNI 11018:2003 (*Ente Nazionale Italiano di Unificazione*, 2003), a fachada ventilada é um tipo de fachada de barreira avançada (“*Facciate a Schermo Avanzato*”). Trata-se de uma parede opaca de fachada, em que o revestimento externo é constituído de vários materiais ou formas e montados a seco. Segundo a norma, a fachada ventilada é projetada para que o ar presente na câmara possa fluir por efeito chaminé, seja por modo natural ou artificial. Porém, esta norma não aborda o tema de degradação mecânica ao longo do tempo (Bazzocchi *et al.*, 2020).

A norma alemã DIN 18516-1 – Revestimento externo da parede, ventilado – Parte 1: Requisitos, princípios de teste (*Deutsches Institut für Normung*, 2010), de junho de 2010, se aplica ao revestimento de parede externa ventilada com e sem subestrutura, incluindo fixadores, conexões e ancoragens. Define princípios de planejamento, projeto e execução para construções

permanentes. Esta norma estabelece considerações em relação ao projeto, cargas atuantes, variações volumétricas, a execução do sistema de fachada ventilada e a realização de ensaios (Müller; Alarcon, 2005). As exigências para o projeto e a execução de sistema de fachada ventilada com placas de pedra natural ou placa de concreto estão estabelecidas nas normas DIN 18516-3 (*Deutsches Institut für Normung*, 2021a) e na DIN 18516-5 (*Deutsches Institut für Normung*, 2021b) (Müller; Alarcon, 2005). A norma DIN 18516-3 – Revestimento externo da parede, ventilado – Parte 3: Pedra natural – Requisitos, design, de maio de 2021, se aplica em conjunto com a DIN 18516-1 e regula o uso de lajes de pedra natural com espessuras nominais ≥ 30 mm para revestimento de parede externa ventilada. A norma DIN 18516-5 – Parte 5: Bloco de concreto, Requisitos, Design, de maio de 2021, especifica os requisitos para lajes de blocos de concreto, sua fixação e ancoragem, bem como cálculo e design. Além disso, são feitas especificações para formação conjunta.

No Brasil não se tem uma norma específica ou documentos regulatórios que especifiquem os elementos que compõem o sistema de fachadas ventiladas, que definam diretrizes para projetar, construir e manter sistemas de revestimento; não existe uma avaliação de desempenho a respeito da segurança, habitabilidade, durabilidade e manutenção (Silva; Thomaz; Oliveira, 2018b).

Dentre as abordagens padronizadas existentes, pode-se citar a norma Brasileira ABNT NBR 10821-1 – Esquadrias para edificações – Parte 1: Esquadrias externas e internas – Terminologia pavimentos (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017a), de fevereiro de 2017, no qual o sistema de fachada cortina é definido como sendo esquadrias interligadas e estruturadas, com função de vedação, que formam um sistema contínuo, desenvolvendo-se no sentido da altura e/ou da largura da fachada da edificação, sem interrupção, por pelo menos dois pavimentos. A ABNT NBR 10821-2 – Esquadrias para edificações – Parte 2: Esquadrias externas – Requisitos e classificação (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017b), de fevereiro de 2017, especifica os requisitos de desempenho das esquadrias para edificações, independentemente do tipo de material. Esta norma fornece alguns requisitos e métodos de avaliação para desempenho estrutural (cargas de vento) e durabilidade que podem ser adotados para os sistemas de revestimento ventilado (Müller; Alarcon, 2005).

3.1.9 Vantagens e Desvantagens do Sistema de Fachada Ventilada

Atualmente, no setor da construção civil persiste a preocupação com a eficiência energética e a redução das emissões de gases de efeito estufa (Gagliano; Aneli, 2020). O setor

da construção é, direta ou indiretamente, o primeiro pilar para a aplicação de tecnologias voltadas para a redução do desperdício de energia (Ascione *et al.*, 2021). As fachadas ventiladas podem trazer várias vantagens em termos de desempenho energético do edifício, quando comparadas com as fachadas convencionais e conforto interno, ou seja, melhorar a qualidade do ambiente interno (Colinart; Bendouma; Glouannec, 2019; De Masi; Ruggiero; Vanoli, 2021; Fernandes Maciel; Carvalho, 2021; Ghaffarianhoseini, 2013; Lin; Song; Chu, 2022; Maciel; Carvalho, 2019a; Suárez *et al.*, 2012). O sistema construtivo de fachada ventilada com placas cerâmicas melhora o desempenho térmico de um edifício devido ao efeito chaminé, que reduz a temperatura da parede no verão, diminuindo a energia necessária para refrigeração (BANNIER *et al.*, 2012).

As fachadas ventiladas têm a capacidade de reduzir o escoamento de calor por meio da camada envolvente do edifício em condições de verão, bem como prevenir o risco de condensação e infiltração no período de inverno, devido ao vento, e proteção contra a chuva, aumentando assim a durabilidade da fachada (Fantucci; Serra; Carbonaro, 2020). Também são vantajosas em fins estéticos, que orientam o processo de design de envelopes (Fantucci; Serra; Carbonaro, 2020; Lin; Song; Chu, 2022).

As fachadas avançadas oferecem melhorias na redução da energia convencional para a climatização e a possibilidade de *freecooling* noturno (Suárez *et al.*, 2012).

Os SFVs apresentam várias vantagens quando comparadas com o sistema de revestimentos tradicionalmente aderidos. A incidência de patologias em fachadas convencionais de revestimentos muitas vezes necessita de alternativas de elementos industrializados como SFV, que apresentam método de construção a seco, simples, rápido e de fácil construção, o que os torna um sistema competitivo (Maciel; Carvalho, 2019a; Sanjuan *et al.*, 2011), por conta da sua simplicidade na implementação (Diallo *et al.*, 2017). Este sistema se tornou popular entre os arquitetos, pois pode-se adotar quase todas as cores e formas (Ghaffarianhoseini, 2013; Sanjuan *et al.*, 2011). Pode-se citar a flexibilidade e adaptabilidade como atributos significativos para este tipo de fachada, podendo ser personalizadas para qualquer forma e cor preferida (Ghaffarianhoseini, 2013). Este sistema oferece melhorias estéticas nos edifícios, novos e reedificados (Sanjuan *et al.*, 2011; Suárez *et al.*, 2012), sendo amplamente utilizado na renovação de edifícios, o *retrofit* de edifícios antigos, na ausência de regras relativas à preservação histórico-arquitetônica (Ciampi; Leccese; Tuoni, 2003; Sanjuan *et al.*, 2011). Outra vantagem do SFV é que a ventilação reduz os problemas de umidade dentro do envelope do edifício: penetração de chuva, danos por geada, decomposição, corrosão, crescimento de mofo e descoloração de materiais de construção (Colinart; Bendouma;

Glouannec, 2019; De Masi; Ruggiero; Vanoli, 2021; Gagliano; Aneli, 2020; Ghaffarianhoseini, 2013; Lin; Song; Chu, 2022; Maciel; Carvalho, 2019a; Sanjuan *et al.*, 2011), falta de desempenho dos materiais de construção como camada de isolamento (De Masi; Ruggiero; Vanoli, 2021), minimização de problemas relacionados à construção devido aos seus componentes industrializados e melhor controle de montagem (Ibañez-Puy *et al.*, 2017). Os fabricantes deste tipo de proteção externa afirmam que a causa da diminuição dos problemas de umidade é o aumento da ventilação (Maciel; Carvalho, 2019a; Suárez *et al.*, 2012). As cavidades ventiladas em montagens de paredes de edifícios, permitem o escoamento de ar dentro do espaço de ar a fim de promover a secagem (Rahiminejad; Khovalyg, 2021), sendo um ponto especialmente positivo na valorização de edifícios antigos.

A remoção de umidade por convecção dos envoltórios dos edifícios é de grande importância para muitos engenheiros, arquitetos, proprietários e fabricantes envolvidos na concepção, no projeto, na construção e na operação dos edifícios (Davidovic; Srebric; Burnett, 2006). O SFV oferece melhor desempenho contra a umidade e também a sua capacidade de remoção de calor, eliminando ao mesmo tempo as pontes térmicas, contribuindo para estabilizar a temperatura da superfície no interior do edifício e melhorar o conforto térmico (De Masi; Ruggiero; Vanoli, 2021).

A umidade dentro do envoltório do edifício pode causar problemas estruturais e problemas relacionados à saúde dos ocupantes. Portanto, a remoção de umidade por escoamento de ar, por meio do sistema de parede ventilada, é de particular interesse, a fim de se evitar problemas relacionados à umidade, como o crescimento de mofo e corrosão (Davidovic; Srebric; Burnett, 2006).

As fachadas ventiladas também melhoram o desempenho acústico (De Masi; Ruggiero; Vanoli, 2021; Gratia; De Herde, 2004), uma vez que a cavidade de ar atua como um isolamento acústico adicional (De Masi; Ruggiero; Vanoli, 2021).

As estruturas ventiladas podem também ser extremamente úteis para a instalação de painéis fotovoltaicos, a fim de aumentar sua refrigeração e, conseqüentemente, sua eficiência térmica (Marinosci *et al.*, 2011).

Dentre as dificuldades de implantação do sistema de fachada ventilada, o preço elevado e o custo de investimento são consideravelmente superiores aos de uma fachada simples tradicional (Shameri *et al.*, 2011). A ausência de normas técnicas no Brasil, a necessidade de mão de obra qualificada e treinada, a insuficiência de especificação para a instalação, ou seja, exigência de projeto específico detalhado, escassa diversidade de complementos e acessórios,

necessidade de alterações nos processos de gestão e da produção são desvantagens para a aceitação deste sistema no mercado nacional brasileiro (Gonçalves; Lopes, 2019).

De acordo com Naboni (2007), a avaliação de desempenho da fachada ventilada é difícil devido à ausência de ferramentas de *software* capazes de avaliar completamente o desempenho térmico de fachadas opacas ventiladas, tipicamente a ausência de dados relativos ao comportamento térmico e energético da fachada ventilada, mais especificamente a falta de dados sobre a temperatura do envelope. No entanto, para edifícios existentes, o desempenho de uma fachada ventilada pode ser avaliado por meio de medidas no local (Pujadas-Gispert *et al.*, 2020).

3.1.10 Desempenho nas Fachadas Ventiladas

O conforto climático é o requisito biológico mais importante do ser humano. As condições são definidas como aquelas em que mais de 80 % dos usuários se sentem satisfeitos. Desta maneira, com o propósito de garantir a continuidade da saúde e produtividade dos usuários, as condições de conforto climático devem ser fornecidas em uma edificação (Manioğlu; Yilmaz, 2006). Atualmente, as pessoas passam a maioria do seu tempo em espaços fechados, como casas, escritórios, escolas, fábricas e centros comerciais. Inúmeros estudos têm sido desenvolvidos por pesquisadores e arquitetos, a fim de se estabelecer diretrizes de projeto com o intuito de idealizar ambientes internos, tendo em vista a qualidade ambiental interna (Ghaffarianhoseini *et al.*, 2012).

O setor da construção é considerado o maior contribuinte individual para o consumo mundial de energia e emissões de gases de efeito estufa (Allouhi *et al.*, 2015). Os principais elementos com maior consumo de energia em edifícios são sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado, pois são os controles climáticos internos que regulam a umidade e a temperatura, a fim de proporcionar conforto térmico e qualidade do ar interno (Chan; Riffat; Zhu, 2010).

Em conformidade com as políticas mundiais, os edifícios abrangem potenciais significativos para diminuir a emissão de gases de efeito estufa (Ghaffarianhoseini *et al.*, 2012). O aquecimento dos ambientes internos é a principal demanda de energia dos edifícios em países frios e o ar-condicionado é um dos principais contribuintes para o pico de demanda de eletricidade em países em que o clima é quente (Chan; Riffat; Zhu, 2010). A Agência Internacional de Energia indica que edifícios residenciais e comerciais são responsáveis por cerca de 32 % do consumo global de energia e quase 10 % das emissões de CO₂ relacionadas

ao consumo de energia (Maciel; Carvalho, 2019a). No Brasil, as edificações são responsáveis por aproximadamente 50 % do consumo de energia elétrica no país (PROCELINFO, 2021). Esse consumo não se limita apenas aos sistemas de climatização, mas também envolve iluminação, equipamentos eletrodomésticos e demais dispositivos que proporcionam conforto e funcionalidade aos usuários. É de conhecimento que o consumo de energia é uma preocupação em todo o mundo e o setor da construção civil é um dos maiores responsáveis por esse consumo (Fernandes Maciel; Carvalho, 2021). O setor de construção é responsável por quase 40 % do CO₂ total relacionado às emissões de energia e 36 % do uso final de energia em todo o mundo (Pujadas-Gispert *et al.*, 2020). A camada envolvente do edifício e o período de funcionamento do sistema de aquecimento são parâmetros importantes que afetam o consumo total de energia de aquecimento no edifício (Manioğlu; Yilmaz, 2006). O envelope do edifício influencia diretamente o consumo anual de energia e, conseqüentemente, os custos operacionais para aquecimento, resfriamento e controle da umidade dos espaços internos (Gagliano; Nocera; Aneli, 2016). Nos últimos anos, tem ocorrido o crescente interesse em envelopes de construção sustentáveis, a fim de se reduzir o impacto do desenvolvimento de edifícios no meio ambiente (Preet; Mathur; Mathur, 2022). Portanto, é amplo o interesse no uso de sistemas de sustentabilidade. Esses sistemas abrangem fatores de consumo de energia, análise do ciclo de vida e desempenho geral do edifício (Ghaffarianhoseini *et al.*, 2012).

Os sistemas de aquecimento ou resfriamento do ambiente estão relacionados com a condição climática do local (Chan; Riffat; Zhu, 2010). Porém, as condições de conforto térmico não dependem apenas dos fatores ambientais externos, mas também dos parâmetros e diretrizes arquitetônicas e elementos de projeto, como por exemplo, a posição e orientação do edifício, materiais de fachada, dispositivos de sombreamento, tipo e localização das janelas e formato da cobertura (Ghaffarianhoseini *et al.*, 2012).

Em se tratando do conforto térmico nos ambientes internos dos edifícios, os sistemas de aquecimento devem fornecer ou coletar e armazenar o calor solar e reter o calor dentro do edifício. Ao contrário, os sistemas de resfriamento devem fornecer ar frio ou proteger o edifício da radiação solar direta e melhorar a ventilação do ar (Chan; Riffat; Zhu, 2010).

O principal elemento responsável pela eficiência energética é a camada envolvente de um edifício, como no caso das fachadas, coberturas, paredes e janelas (Marinosci *et al.*, 2011; Suárez *et al.*, 2012). A camada envolvente é o elemento construtivo que tem maior impacto no consumo energético global do edifício (Ibañez-Puy *et al.*, 2017; Manioğlu; Yilmaz, 2006). As fachadas avançadas, envolvendo tecnologias de fachadas duplas, têm atraído cada vez mais a atenção, devido ao seu desempenho no isolamento térmico (Peng; Lu; Yang, 2013).

As camadas envolventes dos edifícios ventilados reduzem os ganhos solares pelo aproveitamento da ventilação natural e garantem temperaturas da camada envolvente exterior, próximo da temperatura ambiente (Gagliano; Nocera; Aneli, 2016).

Atualmente, existem vários tipos de envelope com a finalidade de aprimorar o desempenho térmico e energético dos edifícios (Marinosci *et al.*, 2011). As fachadas inteligentes são consideradas energeticamente eficientes e responsáveis pela interrelação de ambientes internos e externos (Ghaffarianhoseini *et al.*, 2012). Os elementos exteriores do edifício, como no caso das fachadas, podem funcionar como sistemas passivos de energia solar e atuam como barreiras entre as condições externa e interna. Elas podem auxiliar na redução dos requisitos de energia para aquecimento, ventilação e refrigeração, mantendo o conforto adequado de temperatura e umidade interna (Suárez *et al.*, 2012).

Caminhando para a proliferação do desenvolvimento do design de fachadas inteligentes, é possível afirmar que a integração de fachadas dupla face, fachadas com vidro duplo e fachadas ventiladas, bem como as fachadas cinética e solar, podem contribuir significativamente para a redução dos consumos de energia, do desempenho energético e ambiental do edifício, enriquecimento do conforto visual e térmico do usuário e, em última análise, diminuir os riscos ambientais (Ghaffarianhoseini *et al.*, 2012). Portanto, entre as soluções mais complexas e discutidas está o SFV, pelo qual podem desempenhar um papel fundamental no desempenho térmico dos edifícios (Marinosci *et al.*, 2011), auxiliando na redução da demanda de energia e, por consequência, na economia de energia em edifícios recém-construídos e em edifícios antigos reformados. Há mais de três décadas, tem-se estudado os benefícios térmicos deste componente construtivo (Sánchez *et al.*, 2017).

Segundo De Masi, Ruggiero e Vanoli, (2021), a concepção de envelopes de edifício de alto desempenho com materiais sustentáveis tem um grande impacto no desempenho térmico. O parâmetro mais importante do sistema passivo e que afeta o clima interno é o envelope do edifício (Manioğlu; Yilmaz, 2006; Suárez *et al.*, 2012). Estratégias passivas de fachadas de edifícios, como no caso dos SFV, podem trazer inúmeras vantagens em termos de desempenho energético do edifício e conforto interior dos ocupantes (De Masi; Ruggiero; Vanoli, 2021; Gagliano; Aneli, 2020). O desempenho térmico do SFV é dependente da composição e do desempenho térmico das camadas, estado de isolamento da fachada interior, altura e largura da caixa de ar, tipo de ventilação, contexto climático, exposição solar e estado do vento (Sarihi; Mehdizadeh Saradj; Faizi, 2021).

O envelope do edifício separa o espaço interno do ambiente externo, mudando a quantidade de escoamento de calor por meio de si mesma (Manioğlu; Yilmaz, 2006). No caso

do sistema de fachada ventilada com juntas abertas, a radiação solar sobre o revestimento exterior é aquecido e ativa a convecção no interior da câmara de ar, gerando uma ventilação como uma corrente de ar ascendente que entra e sai da cavidade por meio das juntas abertas. Quando esta corrente sai da câmara pelos vãos superiores, retira energia térmica. Desta maneira, são reduzidos a temperatura da parede de alvenaria e o escoamento de calor para o interior do edifício, reduzindo a energia necessária para a climatização (Suárez *et al.*, 2012). Assim, o envelope é o fator determinante básico do clima interno e também da demanda por energia mecânica suplementar (Manioğlu; Yilmaz, 2006).

Porém, é importante afirmar que o conforto interno dos usuários deve ser suficiente sem que haja um tipo de aquecimento mecânico no edifício, para que o sistema seja considerado como um sistema de aquecimento passivo. As condições de conforto climático não podem ser atendidas apenas pelo sistema de aquecimento passivo em um determinado período do ano. Caso seja necessário um sistema de aquecimento suplementar para o edifício, a quantidade de energia, que será utilizada no sistema, é a função do desempenho térmico do sistema de aquecimento passivo (Manioğlu; Yilmaz, 2006).

No que se refere à avaliação do desempenho energético de sistemas de fachada ventilada, destaca-se a utilização de ferramentas de simulação computacional. Nesse contexto, Escrig *et al.*, (2014) propõem uma metodologia que permite a integração de sistemas não convencionais ao software EnergyPlus, possibilitando a análise da eficiência energética de edificações nas quais esses sistemas são aplicados. A metodologia foi validada tanto para a fachada ventilada convencional frequentemente representada de forma simplificada em ferramentas como o LIDER, por meio de resistências térmicas equivalentes, quanto para soluções aprimoradas, como a incorporação de resfriamento evaporativo na câmara ventilada e o aproveitamento do ar aquecido ascendente como suporte aos sistemas de ventilação. Os resultados, obtidos a partir da simulação de edifícios representativos, como um bloco residencial e uma edificação escolar, demonstraram que tais estratégias contribuem significativamente para a redução da demanda energética. Além disso, os autores destacam que ferramentas tradicionais apresentam limitações na análise de sistemas inovadores, reforçando a importância do uso de *softwares* mais robustos, como o EnergyPlus, para a avaliação do desempenho energético de fachadas ventiladas.

Importante também ressaltar que o desempenho térmico e energético do SFV depende do efeito combinado de diversos fatores, incluindo as propriedades térmicas dos materiais, configuração e geometria do sistema e fatores microclimáticos externos (Lin; Song; Chu, 2022).

O SFV é eficiente no verão, bem como no inverno (Gagliano; Nocera; Aneli, 2016; Maciel; Carvalho, 2019a; Pujadas-Gispert *et al.*, 2020; Stazi *et al.*, 2020). O SFV é uma solução

utilizada para reduzir as necessidades energéticas no verão, pois os maiores benefícios de custo (energia) encontram-se nas regiões quentes (De Masi *et al.*, 2021; De Masi; Ruggiero; Vanoli, 2021; Maciel; Carvalho, 2019a). No verão, o gradiente térmico entre as aberturas superior e inferior, impulsionado pela fluutuabilidade e forças do vento, ativa o escoamento de ar. Desta maneira, permite que o ar aquecido na câmara de ventilação seja expelido pela abertura de saída, reduzindo os ganhos de calor para o interior (Stazi *et al.*, 2020). A economia de energia aumenta com a intensidade da radiação solar (Ciampi; Leccese; Tuoni, 2003; De Masi *et al.*, 2021). Quanto maior a radiação solar, mais eficientes as fachadas ventiladas se tornam em relação à economia de energia (Ciampi; Leccese; Tuoni, 2003).

O sistema de fachada ventilada com juntas abertas gera uma ventilação com uma corrente de ar ascendente que entra e sai da cavidade. Como esta ventilação é produzida pela radiação solar, este sistema é particularmente interessante para áreas em que o pico de demanda de energia ocorre durante o verão (Suárez *et al.*, 2012).

De acordo com Ciampi, Leccese e Tuoni (2003), a utilização do SFV cuidadosamente projetada irá permitir, no resfriamento de verão dos edifícios, uma economia energética superior a 40 %. Atualmente, em locais do sul da Europa, o principal interesse em SFV está na sua capacidade de reduzir as cargas térmicas de resfriamento (Ibañez-Puy *et al.*, 2017).

No inverno, o vão de ventilação do SFV desempenha a função de um amortecedor térmico que acumula calor e amortece a diferença de temperatura entre o interior e o exterior, reduzindo as perdas de transmissão (De Masi; Ruggiero; Vanoli, 2021). O SFV também afeta de maneira positiva a resistência térmica da parede (De Masi; Ruggiero; Vanoli, 2021; Yu; Yang; Xiong, 2015).

Quando é feito um comparativo com os sistemas tradicionais em relação ao SFV, a literatura reconhece a economia de energia que está associada ao SFV. Porém, o número de estudos pertinentes ao impacto do SFV durante o inverno é baixo (Ibañez-Puy *et al.*, 2017).

As fachadas ventiladas ou fachadas avançadas vem sendo desenvolvidas ao longo do tempo, gerando uma quantidade extensa de artigos científicos (Suárez *et al.*, 2012).

Gagliano e Aneli (2020) compararam o comportamento térmico entre uma fachada não ventilada convencional e uma fachada ventilada opaca, considerando condições climáticas da cidade de Catânia, na Itália (hemisfério norte). No estudo foram considerados dois dias de referência para o período do inverno e verão. A análise foi desenvolvida investigando-se dois estágios de ventania (estado calmo e estado com velocidade do vento superior a zero, ou seja, 5,0 m/s a 10 m de altura) e diferentes orientações de fachadas. As análises foram feitas utilizando-se cálculos fluidodinâmicos. Por meio dos resultados, pode-se concluir que o

comportamento térmico tanto da fachada não ventilada convencional quanto da fachada ventilada opaca depende fortemente de sua exposição e estado do vento. Observou-se que o aumento da velocidade do vento provoca uma diminuição da temperatura da superfície exterior e, conseqüentemente, dos fluxos térmicos trocados entre a fachada e o exterior. Durante o dia, as temperaturas da superfície externa da fachada ventilada opaca são até 20 °C menores do que as da fachada não ventilada convencional. Uma desvantagem da fachada ventilada opaca é a queda dos ganhos solares, especialmente para a fachada voltada para o sul, no contexto do hemisfério norte, onde essa orientação recebe maior incidência de radiação solar no inverno. No período noturno, a fachada ventilada opaca mantém temperaturas mais elevadas na superfície interna, quando comparada à fachada não ventilada convencional, reduzindo, assim, o risco de condensação na camada interna da fachada. Em dias de verão, a fachada ventilada opaca permite diminuir os fluxos de calor de entrada, contribuindo para a redução da demanda energética de resfriamento dos ambientes. Os resultados mostraram que a fachada ventilada opaca garante uma economia de energia, com maior taxa durante o dia de verão para a fachada voltada para o leste/oeste. No inverno, a fachada ventilada opaca garante uma economia de energia de 20 % para fachada leste/oeste em condições de vento e de 50 % para fachada sul em condições de vento calmo. No verão, a fachada ventilada opaca garante uma economia de energia quase constante, variando de 40 a 50 % em função da orientação da fachada e das condições do vento.

Pizzatto *et al.* (2021) desenvolveram uma placa cerâmica porosa utilizando resíduo de vidro e lama de cal com aplicação em fachada ventilada. O feldspato foi substituído por resíduo de vidro em 100 %. A lama de cal foi usada como material porogênico. Foi realizado um planejamento experimental com variações de 20 a 40 % de lama de cal e temperatura de queima entre 860 e 1020 °C. O objetivo foi avaliar o desempenho mecânico e térmico em fachada ventilada. O ensaio de comportamento térmico reproduziu uma fachada normal e uma fachada ventilada e simulou o isolamento térmico de uma fachada ventilada com uma placa cerâmica porosa produzida no trabalho, comparando-a com uma placa cerâmica comercial. Como resultado, as placas porosas foram produzidas com sucesso a partir da substituição de um fundente pelo resíduo de vidro e com a adição de um resíduo ele atuou como agente porogênico. A análise estatística mostrou que a tensão de ruptura à flexão foi influenciada pela temperatura de sinterização. A adição de lama de cal na formulação das placas cerâmicas influenciou na porosidade final das peças. Na melhor condição experimental, a placa contendo 40 % de lama de cal queimada a 1020 °C apresentou resistência à flexão de 7,25 MPa, porosidade total de 37,5 % e absorção de água de 21,8 %. Os ensaios térmicos demonstraram que o uso de placas

cerâmicas porosas no sistema desenvolvido apresentou diminuição de temperatura no interior da estrutura de 7,5 % em relação ao ensaio com uma placa comercial indicando que o uso de placas cerâmicas porosas pode proporcionar maior isolamento térmico no interior da edificação com a parte externa. Os resultados mostraram que as placas cerâmicas porosas obtidas são candidatas em potencial para trabalhar como isolantes térmicos com propriedades apropriadas para aplicação em fachadas ventiladas.

Pizzatto *et al.* (2021b) utilizaram resíduo de beneficiamento de basalto em substituição ao feldspato e lama de cal como agente porogênico no processamento de um produto cerâmico, a ser implantado no sistema de fachadas ventiladas. Foi investigado o efeito da composição e temperatura de queima na porosidade e resistência à flexão de placas cerâmicas porosas para uso no sistema mencionado. Como resultado, foi produzida com sucesso placa cerâmica porosa utilizando basalto como substituto do feldspato e lama de cal como agente porogênico para uso em sistemas de fachada ventilada. As amostras foram preparadas usando três quantidades diferentes de lama de cal (20, 30 e 40 % em peso) e três temperaturas de queima (900, 1000 e 1100 °C), e sua porosidade e resistência à flexão foram determinadas. O corpo de prova de maior desempenho foi obtido usando 40 % em peso de lama de cal e uma temperatura de queima de 1100 °C. Os resultados mostraram que o aumento da temperatura aumenta tanto a porosidade quanto a resistência à flexão, mas a porosidade é menos sensível à temperatura nas condições analisadas. Um maior teor de cal aumenta a porosidade e diminui a resistência à flexão. Considerando os objetivos deste estudo, a composição contendo 28,57 % em peso de lama de cal e queimada a 1100 °C produziu um material com porosidade de $42,6 \pm 0,5$ % e resistência à flexão de $5,1 \pm 1,3$ MPa. A cerâmica porosa desenvolvida apresenta potencial para uso em fachadas ventiladas.

Em Pizzatto *et al.* (2021c), os corpos de prova de maior desempenho obtidos por Pizzatto *et al.* (2021b) foram submetidos a testes térmicos em uma fachada ventilada em comparação com uma porcelanato comercial como material de referência. O artigo apresenta os resultados experimentais relacionados à análise do comportamento térmico destes materiais cerâmicos porosos em comparação com um porcelanato comercial utilizado como material de referência, realizada em um aparato experimental especialmente desenvolvido. Primeiramente, o ensaio foi realizado para representar uma fachada convencional, e os resultados foram comparados com os dos sistemas de fachada ventilada. Em seguida, foi realizado o ensaio com a fachada ventilada com as amostras de porcelanato comercial. Para o efeito chaminé, foram testadas três distâncias entre as placas testadas. Os ensaios subsequentes foram realizados nos corpos de prova cerâmicos estudados. Os resultados mostram que a fachada ventilada composta pelas

placas cerâmicas porosas estudadas produziu maior redução de temperatura entre o ambiente externo e o interior de uma caixa representativa de uma edificação (ΔT_5) de 65,7 °C, quando comparada com a fachada composta pelo porcelanato comercial ($\Delta T_5 = 56,0$ °C) e também quando simulada com uma fachada tradicional ($\Delta T_5 = 49,1$ °C), possivelmente melhorando o conforto térmico e reduzindo o gasto de energia. Em relação ao comportamento térmico, na mesma temperatura externa, a temperatura dentro da caixa mostrou que a temperatura diminuiu com a fachada ventilada usando as amostras estudadas no qual na pesquisa é superior a 16 °C maior que a das fachadas convencionais e quase 10 °C maior que a da fachada ventilada composta pelo porcelanato comercial. Tomando como referência os trabalhos de Pizzatto *et al.* (2021b, 2021c), placas porosas com densidade aparente muito inferior à dos porcelanatos atualmente utilizados, mesmo que tenham espessura um pouco maior que esta, podem tornar a estrutura de fachadas ventiladas mais leve, reduzindo ainda mais os custos de construção.

A pesquisa de Zhangabay *et al.* (2023) propõe novas construções de fachadas economizadoras de energia com aberturas horizontais fechadas. Análise foi realizada em ambiente ANSYS pelo método dos elementos finitos. O estudo propõe-se analisar os campos de temperatura da estrutura de fachada proposta, levando em consideração o volume da camada de isolamento térmico e determinar a resistência térmica da estrutura com e sem influência de uma tela refletora de calor. O resultado da análise da resistência térmica das estruturas de fachada desenvolvidas mostra que uma diminuição no volume do material isolante em 31,25 % resulta em uma redução no valor da resistência térmica para todos os valores da temperatura externa, ou seja, no mínimo absoluto em 26,31 %, na temperatura máxima absoluta em 26,41 %, na temperatura média dos cinco dias mais frios com ocorrência de 0,92 em 26,47 % e na temperatura média em abril (primeiro mês após o término do período de aquecimento) em 26,54 %. Uma diminuição semelhante também foi observada ao comparar estruturas de fachada com tela refletora de calor: a uma temperatura mínima absoluta de 24,9 %, a uma temperatura máxima absoluta de 24,76 %, a uma temperatura média do mais frio segurança de cinco dias de 0,92 por 24,28 % e a uma temperatura média do primeiro mês após o término do período de aquecimento (abril) de 24,07 %. Ao mesmo tempo, durante a análise, condições climáticas do ambiente externo. Assim, os resultados da pesquisa podem ser utilizados no projeto e construção de edifícios para reduzir o consumo de calor e economizar energia.

O estudo de Salvalai (2026) tem como objetivo fazer uma análise experimental de monitorização a longo prazo sobre o desempenho térmico de um sistema de fachada ventilada opaca aplicada a uma tecnologia de parede de madeira pré-fabricada no BEE Lab (*Building facade performance Lab*), localizado no campus de *Lecco do Politecnico di Milano*, Itália.

O sistema foi avaliado durante os períodos de verão e inverno. O estudo permitiu a caracterização das variáveis, temperatura das camadas da fachada ventilada, velocidade e temperatura do ar no interior da cavidade, fluxo de calor por meio da fachada ventilada e de uma fachada de referência não ventilada. Os estudos demonstraram que durante o verão a fachada ventilada apresenta desempenho térmico. A fachada ventilada apresenta uma correlação linear entre a velocidade do ar e a temperatura da cavidade de ar ($R^2 = 0,76$) e entre a temperatura da cavidade de ar e a temperatura do ar externo ($R^2 = 0,96$). O fluxo de calor médio da fachada ventilada apresenta uma redução de aproximadamente 51 % em comparação com o de uma fachada não ventilada com a mesma estrutura de madeira e isolamento externo. Durante os dias ensolarados de inverno o fluxo de calor médio da fachada ventilada apresenta uma redução de aproximadamente 24 % em comparação com o de uma fachada não ventilada com a mesma estrutura de madeira e isolamento externo. Levando em consideração a eficiência energética, a fachada ventilada contribui para uma redução nas cargas térmicas de pico de refrigeração em aproximadamente 2,0–3,0 W/m² e nas cargas térmicas de pico de aquecimento em aproximadamente 0,9–1,0 W/m².

A aplicação do *retrofit* em edificações tem sido amplamente investigada no meio acadêmico, especialmente no que se refere ao desempenho térmico de SFV.

Soutullo *et al.* (2016) realizaram a comparação de um edifício convencional e um edifício bioclimático. Em ambas as situações, foram levados em consideração os níveis de conforto e o consumo de energia, analisando as melhorias térmicas alcançadas pela implementação de técnicas passivas no edifício bioclimático. Ambos os edifícios ocupados em tamanho real foram monitorados em anos diferentes, a fim de se avaliar o *retrofit* bioclimático na eficiência energética. Os edifícios estão localizados em Madrid, um clima mediterrâneo continental. Uma das edificações foi construída na década de 60 e o bioclimático foi construído em 2008. As características construtivas do edifício convencional são: fachadas convencionais com tijolo e camadas de isolamento, janelas de vidro simples e não são encontrados dispositivos de sombreamento. O edifício bioclimático tem forma retangular, distribuído em três pisos e cave e tem orientação norte-sul. Em relação as características construtivas, ocorre a presença de fachada ventilada na orientação sul, melhoria do isolamento em paredes exteriores, tratamento diferenciado das vidraças de acordo com a orientação, sombreamento das janelas do sul e sombreamento do telhado. Foram realizados estudos teóricos tendo em conta critérios bioclimáticos. Os resultados afetam a camada envolvente do edifício, devido a sua relevância no aumento da eficiência energética do edifício. Sendo assim, as técnicas passivas implementadas foram: melhoria do isolamento nas paredes exteriores, tratamento diferenciado

das paredes e janelas (com base na orientação), diferentes dispositivos de sombreamento e juntas abertas nas fachadas ventiladas nas orientações sul. Concluiu-se que a edificação bioclimática registrou amplitudes menores para as temperaturas internas do que a edificação convencional. As oscilações térmicas e a avaliação térmica dos escritórios monitorados foram calculadas durante o inverno e verão para ambos os edifícios. O comportamento da edificação bioclimática está próximo da faixa de conforto térmico do verão e a variação de temperatura dos escritórios bioclimáticos é mais estável em comparação aos convencionais. Usando como referência as análises estatísticas baseadas no diagrama de *Box and Whisker* a variação térmica é menor no edifício bioclimático. Os graus efetivos de resfriamento durante o verão são de 1514 °C para escritórios convencionais, diminuindo para 183 °C no bioclimático. No período de inverno os graus efetivos de aquecimento são de 145 °C para escritórios convencionais diminuindo para quase zero no bioclimático. O consumo global de energia primária do edifício convencional é de 23,77 kWh/m² de sistemas de aquecimento, 25,11 kWh/m² devido a sistemas de refrigeração e 75,7 kWh/m² de sistemas de iluminação. Para o edifício bioclimático, o consumo global de energia primária foi de 5,58 kWh/m² em sistemas de aquecimento, 11,92 kWh/m² em sistemas de refrigeração e 63,34 kWh/m² em sistemas de iluminação. Portanto, o consumo global de energia primária foi reduzido de 124,58 kWh/m² anos em edifício convencional até 80,84 kWh/m² ano em edifício bioclimático.

Colinart, Bendouma e Glouannec (2019) fizeram o acompanhamento durante dois anos de um prédio reformado com elementos pré-fabricados de fachada ventilada. Foram analisados três pontos: o desempenho térmico da camada envolvente, a durabilidade relacionada com a umidade a curto prazo e a qualidade ambiental interior. O edifício analisado era uma escola secundária, localizada na cidade de Lorient, na costa oeste da França, caracterizada por um clima oceânico e foi construída em 1959. Sua tipologia construtiva é caracterizada por esqueleto de concreto armado, painéis de fachada de concreto pré-fabricado e janelas de vidro simples. O edifício foi reformado em 2015. Foram inseridos sistemas de ventilação mecânica e elementos pré-fabricados de fachada ventilada no lado externo do envelope existente. Em relação à resistência térmica medida *in situ*, os resultados mostraram que os elementos pré-fabricados de fachada ventilada podem ser avaliados de maneira confiável no período de inverno e que é superior ao projetado. A resistência térmica da parte opaca do envelope foi estimada seguindo a norma ISO 9869:2014. A análise foi feita em um mês (15/01/2017 até 15/02/2017) e os dados de medição mostraram que a temperatura da superfície interna apresenta média de 17,5 °C, a temperatura da superfície externa registrou um valor médio de 8,1 °C e a densidade do fluxo de calor flutua com um valor médio de -1,21 W/m². Antes desse período, dias ensolarados e

nublados se alternam. Quanto à aplicação de isolamento térmico externo, não leva a grandes patologias relacionadas à umidade no envelope do edifício adaptado. Eventualmente, condições críticas foram excedidas perto de material higroscópico devido à radiação solar. Mas, a análise revelou que o teor de umidade não deve variar significativamente e, desta maneira, o risco de crescimento de fungos deve ser bastante limitado. O conforto higrotérmico é alcançado na maior parte do tempo de ensino e a concentração de CO₂ excede os limites críticos todos os dias.

Ascione *et al.* (2021) estudaram a envolvente do edifício, uma vez que é o subsistema principal pelo qual acontecem as perdas de energia entre os ambientes interior e exterior. O estudo analisou as principais e recentes pesquisas sobre fachadas duplas como proposta de *retrofit* de edifícios, destacando os benefícios das fachadas ventiladas, como: economia de energia e uma zona de proteção térmica. Este estudo dá destaque à envolvente do edifício, visto que é o principal subsistema pelo qual ocorrem as perdas de energia entre os ambientes interior e exterior. O artigo revisa e discute as pesquisas mais recentes e de ponta em matéria de *dupla pele* e responsivas para o *retrofit* do edifício. Dentre as conclusões a partir do estudo, é citado como um dos desafios mais importantes, a implementação de soluções ecossustentáveis como, por exemplo, o aprimoramento e inovação de um sistema fotovoltaico transparente de alta eficiência, capaz de tornar conhecida esta nova tecnologia para o mercado solar, com o intuito de alcançar novas possibilidades de instalação em edifícios, o que é adequado para compensar o consumo de combustíveis fósseis no mundo. Além disso, uma fachada reativa capaz de produzir energia pode ser colocada a serviço da comunidade. A disseminação dessas tecnologias globalmente provocaria uma redução de preços ao longo do tempo. Todas as vantagens obtidas e discutidas na revisão do estudo citado sugerem que estas tecnologias, atualmente pouco difundidas no mercado da construção, se tornem uma oportunidade futura para se investigar e também em combinação com o reforço estrutural, sendo por meio de novos materiais ou estrutura, aumentem suas capacidades de melhorar o desempenho global dos edifícios e que sejam profundamente exploradas.

A aplicação do BIM, como metodologia, com foco na investigação do desempenho térmico de edifícios em que se é aplicação o SFV também tem sido explorado na literatura.

De acordo com Ghaffarianhoseini (2013), foram executadas pesquisas abrangentes para melhorar a eficiência energética em edifícios, a fim de desenvolver edifícios de baixa energia, energia ultrabaixa e energia zero. Os esforços foram concentrados em todos os constituintes dos ambientes construídos e principalmente no envelope do edifício. O BIM agrupa várias informações sobre as condições da construção, como bancos de dados termográficos baseados

em varredura a laser e termografia infravermelha no mundo real, a fim de melhorar a eficiência do planejamento. As simulações baseadas em BIM, em se tratando da camada envolvente dos edifícios, podem contribuir para a previsão dos consumos energéticos dos edifícios, resultando em economia de energia correspondente. Vários *softwares* de modelagem e simulação de energia foram desenvolvidos para a análise do desempenho energético do edifício e, em particular, dos efeitos das fachadas do edifício, incluindo ASHRAE 90, DOE-2, MIT Design Advisor, Energy Plus, entre outros.

Fernandes Maciel e Carvalho (2021) investigam o benefício energético do SFV em comparação com fachadas de revestimento aderido em edifícios residenciais de vários pavimentos no Brasil. Este trabalho foi dividido em quatro etapas. Entre elas, verificar os melhores *softwares* que utilizam BIM e BES, em termos de interoperabilidade e realizar os testes necessários. A revisão bibliográfica sobre interoperabilidade mostrou que os *softwares* BES mais abrangentes para uso com um modelo BIM foram IES-VE e GBS, sendo escolhido o GBS. O IES-VE e o GBS podem ser conectados às ferramentas de criação BIM. O IES-VE pode ser usado apenas no projeto e o GBS pode ser usado em projeto e operacional e manutenção. O IES-VE precisa de alguma edição no *software* BES após a exportação, o que pode causar problemas de interoperabilidade. O GBS é do mesmo desenvolvedor que o Ecotect e o Revit, portanto os *softwares* Revit e GBS foram escolhidos para a pesquisa e os autores fizeram alguns testes para melhorar a confiabilidade dos dados obtidos. Todas as configurações para a simulação foram feitas seguindo instruções de regulamentos internacionais. Todas as configurações para a simulação foram feitas seguindo instruções de normas como ASHRAE 90.1, ISO 17772 e NBR 15575, o que trouxe mais confiabilidade ao processo.

Diante do exposto, observa-se que o desempenho térmico e energético do sistema de fachada ventilada está diretamente relacionado às propriedades dos materiais que compõem a camada envolvente. De acordo com a literatura, a cerâmica é um material amplamente empregado nesse sistema (Ibañez-Puy *et al.*, 2017).

3.2 CERÂMICA

O Brasil é hoje um dos grandes *players* mundiais do revestimento cerâmico, ocupando a posição de segundo maior produtor e segundo maior consumidor global. Países como Itália e Espanha destacam-se internacionalmente como referências em design, qualidade e estratégia competitiva no segmento. (Anfacer, 2025).

O Brasil possui produção concentrada em Santa Catarina, na região de Criciúma, especialmente com tecnologia via úmida, e no Estado de São Paulo, onde a produção está distribuída em Mogi Guaçu, Santa Gerturdes e na região metropolitana de São Paulo, utilizando produção com tecnologia via úmida e via seca. O Nordeste pode vir a se tornar um polo em futuro próximo. A região possui condições favoráveis e um mercado consumidor (Anfacer, 2025).

O revestimento cerâmico é utilizado para revestir paredes e pisos, em ambientes internos e também externos. O consumo de elementos cerâmicos no setor da construção civil está em constante crescimento.

3.2.1 Placa Cerâmica para Revestimento

Nas últimas décadas, a indústria cerâmica tem registrado um avanço significativo em escala global, impulsionado por inovações nos processos de fabricação e na tecnologia de materiais. A modernização das linhas produtivas, acompanhada da automação e de novas técnicas de conformação e queima ampliou a diversidade de revestimentos disponíveis no mercado.

Essa inovação renovou o ciclo de fabricação ao introduzir revoluções tecnológicas como a queima rápida, o que gerou mudanças nas matérias-primas e deu origem a novos produtos como o porcelanato monoporoso e o grés porcelânico (Dondi; Raimondo; Zanelli, 2014).

As placas cerâmicas utilizadas como revestimentos apresentam características físico-mecânicas influenciadas pelo método de fabricação e pela absorção de água do material. De acordo com a ABNT NBR ISO 13006:2020 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020c), a classificação das placas cerâmicas pode ocorrer segundo os critérios de método de fabricação (extrudado – método A e prensado a seco – método B) e os grupos de absorção de água (E_v). São três os grupos de absorção de água: placas de baixa (grupo I), médias (grupo II), e alta (grupo III) absorção de água. De acordo com a norma Brasileira ABNT NBR ISO 13006:2020, as placas cerâmicas para revestimentos são divididas em grupos conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação dos revestimentos cerâmicos prensados.

Conformação ¹	Tipo de corpo ²	Grupo ¹	Subdivisão ¹	Absorção de água (%) ¹	Módulo de resistência à flexão (MPa) ¹
Método B – Prensada a seco	Altamente vitrificado	Grupo I – $E_v \leq 3 \%$	BI _a	$E_v \leq 0,5$	≥ 35
	Vitrificado		BI _b	$0,5 < E_v \leq 3$	≥ 30
	Semi vitrificado	Grupo II – $3 \% < E_v \leq 10 \%$	BII _a	$3 < E_v \leq 6$	≥ 22
	Semi poroso		BII _b	$6 < E_v \leq 10$	≥ 18
	Poroso	Grupo III - $E_v > 10 \%$	BIII _b	$E_v > 10 \%$	≥ 12

Fonte: ABNT NBR ISO 13006:2020

3.2.2 Cerâmica Porosa

A cerâmica porosa é um componente vital para várias aplicações na engenharia (Vakifahmetoglu; Zeydanli; Colombo, 2016a). Os materiais porosos têm atraído grande atenção devido à baixa densidade, flexibilidade estrutural e multifuncionalidade (Roy, 2025), devido a sua alta porosidade, baixa densidade, boa resistência, estabilidade térmica e alta estabilidade química (HAO *et al.*, 2019). Estas cerâmicas podem atuar em diversas aplicações, como isolantes térmicos, filtros de alta temperatura, queimadores porosos, entre outros (Roy, 2025).

Desta maneira, tem ocorrido uma ampla pesquisa voltada ao desenvolvimento de novos métodos de processamento, capazes de viabilizar a produção de peças com maior diversidade na morfologia e nas propriedades. Por meio da modificação e otimização das técnicas de processamento, é possível projetar materiais com propriedades para uma aplicação específica, podendo ser adaptadas a fim de possuir as propriedades desejadas por intermédio do controle da microestrutura (Vakifahmetoglu; Zeydanli; Colombo, 2016a).

Os materiais porosos podem ser classificados com considerando o tipo de material. As características dos poros, como a quantidade de porosidade, a morfologia, o tamanho e a forma dos poros são parâmetros críticos para os diferentes sólidos porosos (Roy, 2025).

Um material é constituído por uma fração sólida, que pode ou não consistir de uma ou de várias fases e de espaços vazios. Estes espaços vazios, são denominados de poros. A porosidade é dada como a relação entre o volume ocupado pelo ar existente na massa granular e o volume

¹ Determinação de acordo com a ABNT NBR ISO 13006:2020.

² Determinação dos dados de acordo com Dondi, Raimondo e Zanelli (2014).

total ocupado por esta massa. Estes poros desempenham um papel importante, algumas vezes desejados e outras tendo que ser eliminados (Fonseca *et al.*, 2016).

A cerâmica porosa não é apenas conduzida pela composição química da matriz cerâmica, mas também pelas características de porosidade, como exemplo a distribuição de tamanho de poros, tortuosidade, área superficial específica, porosidade fechada ou aberta, alinhada ou graduada. Todos são determinados pelo processo de fabricação selecionado (Vakifahmetoglu; Zeydanli; Colombo, 2016).

Durante a queima, mudanças significativas podem ocorrer no tamanho de partículas, morfologia e no tamanho dos poros. O nível de porosidade e a conectividade dos poros, diâmetro, forma e distribuição, afetam a condutividade térmica e o isolamento térmico da cerâmica porosa (Han *et al.*, 2017).

De acordo com Roy (2025), materiais com >70 % de porosidade são chamados de espumas. Esta classificação tem como critério a quantidade de porosidade.

Levando em consideração a morfologia dos poros, os materiais são classificados como poros abertos e fechados (Dutra; Pontes, 2002; Gladysz; Chawla, 2021; Roy, 2025; Schuller; Bianchi; Aguiar, 2008). Os poros abertos são os que possuem contato com a superfície externa do material e a fechada é a que se encontra dentro do material. Estes poros isolados possuem no seu interior ar que constitui o poder isolante do material (Dutra; Pontes, 2002; Schuller; Bianchi; Aguiar, 2008).

Os poros conectados com a superfície (poros abertos) são condutores de material entre o interior e o exterior da estrutura. As cerâmicas porosas abertas apresentam uma alta permeabilidade com uma área de superfície acessível. Os poros fechados não são conectados com a superfície, mas podem estar conectados entre si internamente. Os mesmos podem ser causados pela evolução de gases da fase sólida e estes gases não conseguem sair da estrutura, formando, assim, os poros, ou podem ser causados pelo fechamento de poros abertos, devido à evolução da sinterização.

A classificação baseada na dimensão dos poros, ou seja, o seu tamanho, também desempenha um papel importante. De acordo com a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), a classificação dos materiais porosos se dá por meio de três grupos com base no tamanho dos poros: microporosos (diâmetro < 2 nm), mesoporosos (2 nm < diâmetro < 50 nm) e macroporosos (diâmetro > 50 nm) (Roy, 2025; Vakifahmetoglu; Zeydanli; Colombo, 2016a).

A classificação por meio da forma e a orientação dos poros internos se dá de maneira similar à dimensão dos poros. Dependendo da forma dos poros, os materiais porosos podem ser

quase isotrópicos ou altamente anisotrópicos, aqueles que apresentam propriedades diferentes em diferentes direções. A orientação dos poros influencia nas propriedades dos materiais porosos (ROY, 2025). A combinação de tamanho e morfologia de poros em uma estrutura amplia as opções de aplicações que podem ser executadas utilizando-se a cerâmica porosa (Maurath; Willenbacher, 2017; Vakifahmetoglu; Zeydanli; Colombo, 2016).

Os revestimentos cerâmicos são classificados de acordo com a adequação ao local de aplicação do produto. Os produtos com propriedades de baixa porosidade apresentam alta resistência mecânica e baixa absorção de água, sendo utilizados em pisos. Os revestimentos de parede, ou azulejos, necessitam de alta porosidade, para garantir baixa retração de queima, alta estabilidade dimensional e facilidade de instalação (Zauberas *et al.*, 2004).

No projeto de composições para azulejos, são necessários quatro ingredientes básicos: argila, fluxo, enchimento e aditivos:

- Argila, na via úmida, estabiliza suspensões. Garante a plasticidade necessária para moldar. Durante a queima, atua como fluxo;
- Fluxo, são os fundentes, formando uma fase líquida a alta temperatura que permite densificar o corpo cerâmico por fluxo viscoso. Os feldspatos são os fundentes mais utilizados;
- Enchimento, o chamado esqueleto, fornece uma estrutura de granulação grossa, contrastando deformações durante a secagem e queima. O material mais utilizado é o quartzo;
- Aditivos, o agente gerador de poros que desenvolve a porosidade durante a queima e promove a sinterização por difusão da superfície. Geralmente os carbonatos desempenham este papel (Dondi; Raimondo; Zanelli, 2014).

Os corpos porosos são dirigidos a revestimento de parede utilizam programações de queima industrial estão em temperaturas entre 1000 a 1140 °C. São fabricados pela tecnologia monoporosa, em ciclo rápido, ou pela tecnologia de biqueima rápida, em ciclo duplo rápido para corpos coloridos e corpos brancos (Dondi; Raimondo; Zanelli, 2014).

Na tecnologia monoporosa, o corpo cerâmico e o esmalte são queimados simultaneamente em um único ciclo de queima, apresentando vantagens notáveis em termos de custo e produtividade. Contudo, devido ao ciclo rápido de queima associado às altas temperaturas, a calcita pode sofrer decomposição térmica, o que faz com que essa reação se sobreponha à fusão do esmalte. Caso o CO_2 liberado pela decomposição do CaCO_3 migrar para um esmalte já fundido, ocasionará defeitos. Para evitar estes defeitos (furos), a cinética de decomposição da calcita ou da dolomita deve ser acelerada por meio da redução do tamanho de

partículas de carbonato, promovendo a permeabilidade do gás e limitando a quantidade de carbonato no lote (Dondi; Raimondo; Zanelli, 2014).

3.2.3 Inovações no Uso da Cerâmica Porosa

As cerâmicas porosas têm sido amplamente exploradas pela comunidade científica por oferecer diversas aplicações na engenharia.

Pachla *et al.* (2019) desenvolveram um produto com bom desempenho térmico-acústico para ser usado como materiais para vedação, produzido com um compósito a partir de uma matriz cimentícia e casca de arroz. Concretos, argamassas e pastas de cimento com elevada porosidade apresentam resultados satisfatórios de desempenho térmico-acústico, portanto os autores definiram como matriz do compósito uma pasta de cimento com ar incorporado, chamado de concreto celular. A quantidade de poros e a dimensão dos poros são fatores importantes para a capacidade dos materiais absorverem o som e servirem como isolantes térmicos. Desta forma, a casca de arroz foi incorporada à matriz do concreto celular a fim de aumentar a dimensão dos poros originais da matriz. Como conclusão, os autores afirmaram que em relação à resistência à compressão, a casca de arroz influenciou negativamente no produto, ambos os materiais atingiram respectivamente as resistências mínimas de 1,20 e 1,50 MPa estipuladas pelas NBR 13.438 e NBR 15.270, entretanto, somente a matriz atendeu aos 3,00 MPa exigidos pela NBR 6136. O aumento da dimensão dos poros gerados pela adição da casca de arroz acarretou uma melhoria significativa na absorção acústica do produto. Quanto à condutividade térmica, o compósito apresentou uma redução em seu desempenho em comparação à matriz. O que pode ser explicado pela retenção de água pelas fibras.

Chen *et al.* (2022) desenvolveram um material cerâmico poroso multifuncional de baixo custo, com propriedades melhoradas, com o intuito de ser utilizado em diversas aplicações como: isolamento térmico e acústico, suporte refratário e elementos filtrantes de gases quentes. Para tanto, foi desenvolvida uma cerâmica porosa por métodos de agentes formadores de espuma e poros usando esferas ocas de espinélio de magnésio-alumínio (MASHSs), na qual, o cimento de aluminato de cálcio serviu como agente de alta temperatura encadernador. Foi investigado a influência da temperatura (1500 a 1700 °C) na condutividade térmica, porosidade e resistência mecânica. Os resultados mostram que a direção da trinca mudou da superfície dos MASHSs para o interior dos MASHSs, o que consome mais energia de trinca, levando assim a um excelente desempenho mecânico. A cerâmica MASHSs obtida apresenta alta porosidade (67,2–71,9 %) e condutividade térmica (0,18–0,38 W/(m·K)) e resistência à compressão (6,1–

17,1 MPa), o que se deve principalmente à mudança na direções de trincas e otimização da microestrutura com o prolongamento da temperatura de queima. A introdução de MASHs dificulta a perda de calor em temperaturas elevadas e, assim, melhora a condutividade térmica dos materiais.

A pesquisa de Ibrahim *et al.* (2023) teve como objetivo criar uma vitrocerâmica porosa a partir de fontes naturais de sílica (areia de sílica) e resíduos industriais (vidro de cal sodada) para uso como revestimento de parede. O processo de sinterização ocorreu em diferentes temperaturas (800, 850, 900 e 950 °C a 30 min). O Carbonato de Cálcio Precipitado (PCC) atuou como um agente espumante para gerar a formação de poros. De maneira geral, o aumento da temperatura de sinterização variando de 800 a 950 °C afetou as propriedades físico-mecânicas do corpo de vidro cerâmico poroso produzido. Os valores de densidade aparente e o módulo de ruptura apresentaram redução enquanto a absorção de água e a porosidade aparente apresentaram incremento. Os resultados mostraram que uma temperatura de sinterização de 800 °C gera corpos de prova de maior módulo de ruptura (17,77 MPa) e pode atingir o requisito mínimo da norma ISO 13006 em termos de módulo de ruptura (maior que 15 MPa).

Como apresentado, a porosidade melhora o isolamento térmico e acústico dos materiais, fazendo, assim, com que novas pesquisas sejam executadas na área.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os materiais e os métodos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho.

4.1 MATERIAIS

Para a presente pesquisa foram utilizadas as seguintes matérias-primas comerciais: pó porcelânico, argila plástica – bentonita, carboximetilcelulose (CMC) e como agente porogênico, foi incorporado ao pó porcelânico, o calcário. Todas as matérias-primas foram fornecidas pela empresa Eliane Revestimentos de Cocal do Sul – SC.

As matérias-primas comerciais são representadas na Figura 4.

Figura 4 - Matérias-primas utilizadas na presente pesquisa: A – pó porcelânico, B – argila plástica - bentonita, C – carboximetilcelulose (CMC) e D – calcário.

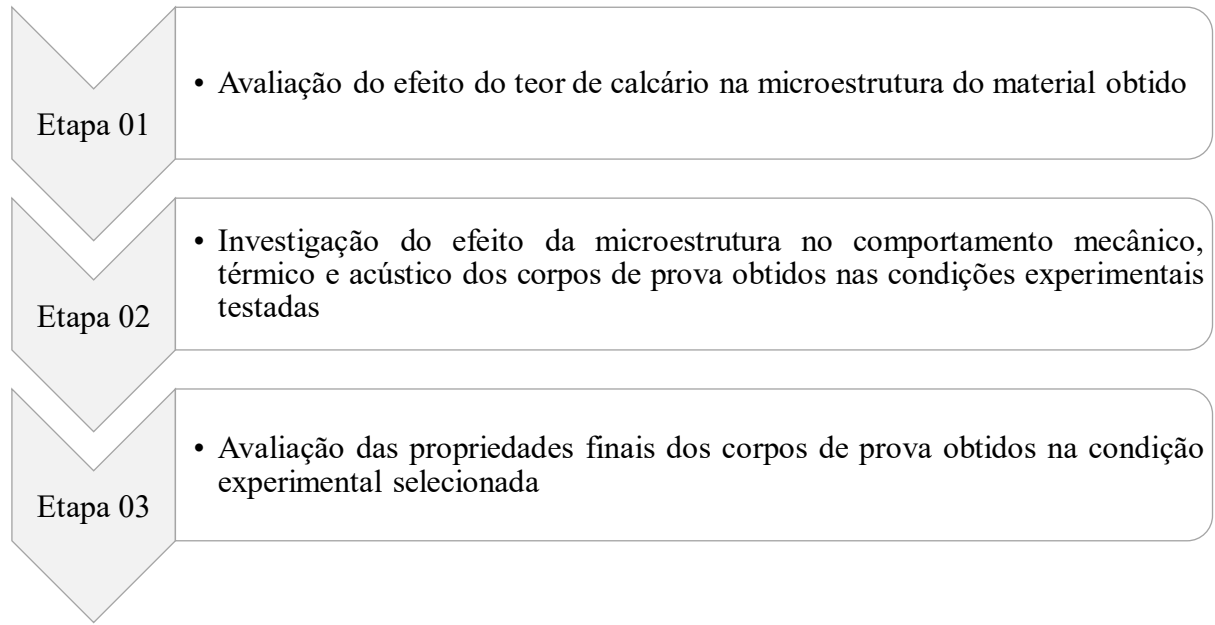


Fonte: Do Autor (2026).

4.2 MÉTODOS

A Figura 5 apresenta o fluxograma geral da pesquisa, estruturada em três etapas.

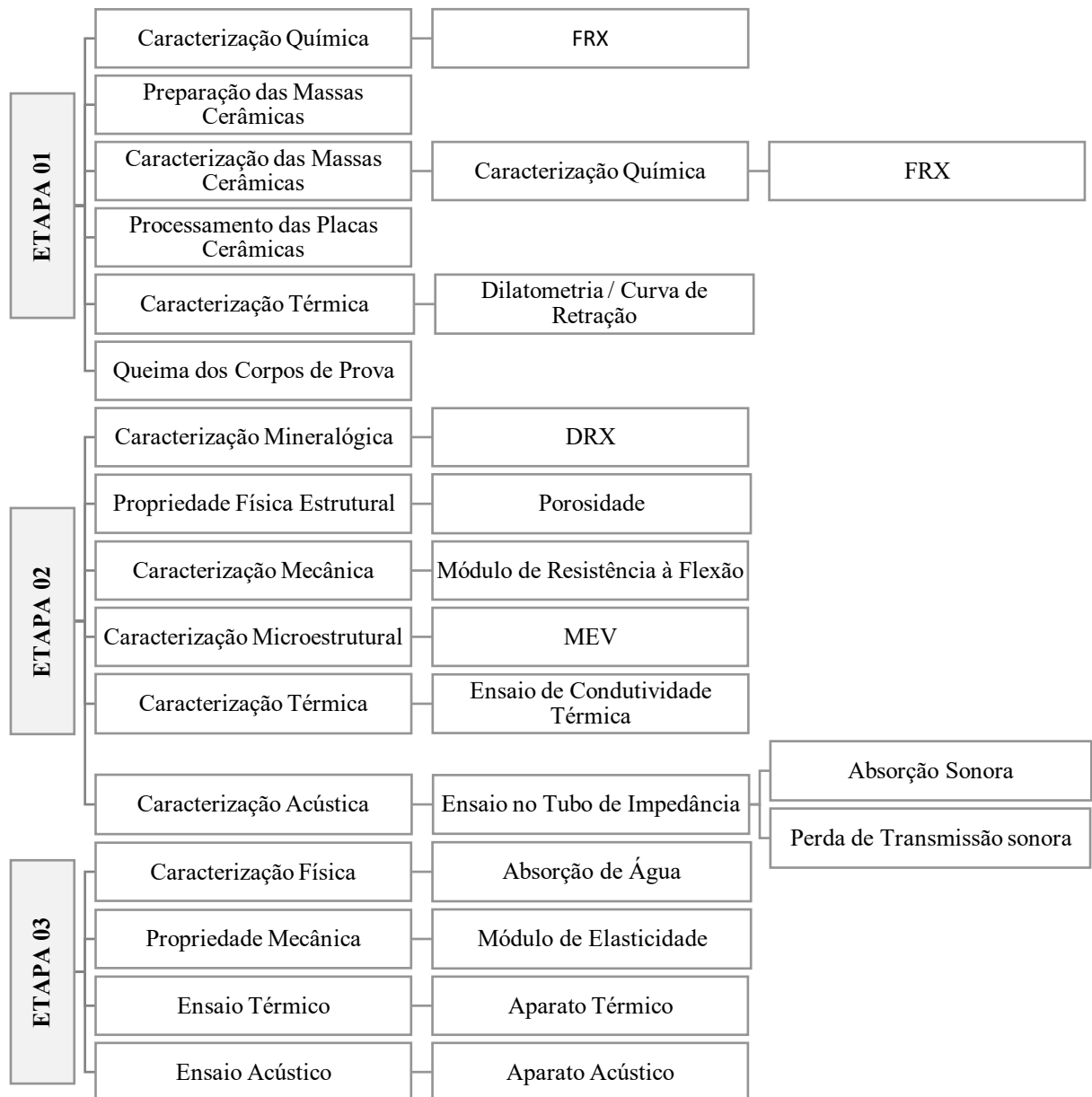
Figura 5 - Fluxograma geral das etapas de trabalho.



Fonte: Do Autor (2026).

A Figura 6 apresenta o fluxograma detalhado com todas as etapas e ensaios executados neste trabalho.

Figura 6 - Fluxograma detalhado com todos os ensaios que foram executados em cada uma das etapas do trabalho.

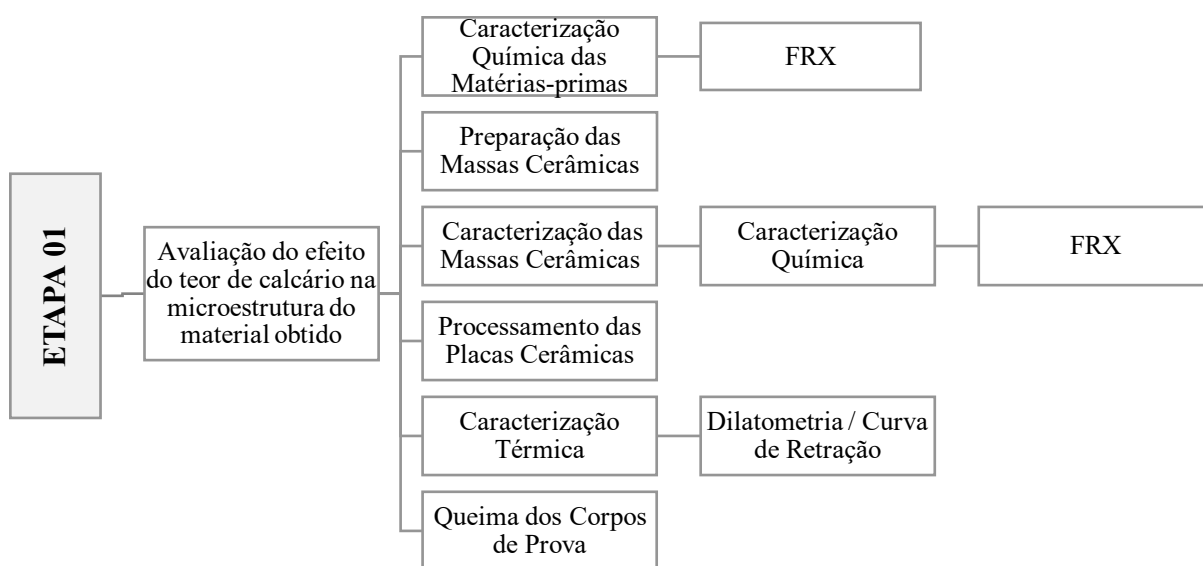


Fonte: Do Autor (2026).

4.2.1 Avaliação do efeito do teor de calcário na microestrutura do material obtido

A Figura 7 mostra as fases relacionada a Etapa 01 – Avaliação do efeito do teor de calcário na microestrutura do material obtido.

Figura 7 - Fluxograma detalhado das fases relacionadas a Etapa 01 – Avaliação do efeito do teor de calcário na microestrutura do material obtido.



Fonte: Do Autor (2026).

4.2.1.1 Caracterização Química das Matérias-primas

Foi realizada a caracterização química das matérias-primas com o intuito de determinar o teor de cada elemento químico presente. A análise por Fluorescência de Raios X (FRX) foi realizada em um equipamento da marca PANALYTICAL, modelo WRFDX AXIOS MAX, no laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais (LDCM) no SENAI, situado no município de Criciúma – SC.

Após a caracterização das matérias-primas comerciais, foi determinada a formulação da massa cerâmica.

O beneficiamento das matérias-primas comerciais consistiu na secagem em estufa de laboratório (CienlaB, modelo CE-220/100), a 105 °C por 24 h, seguida de armazenamento em recipientes hermeticamente vedados, a fim de evitar contaminações e a reabsorção de umidade.

Sobre o pó porcelânico, cedido pela Empresa Eliane Revestimentos (composição base), foram incorporados três diferentes teores de calcário (40, 45 e 50 %), a fim de atuar como agente porogênico. Buscou-se trabalhar uma massa porcelânica, por se tratar de uma massa que apresenta elevada resistência mecânica (Sánchez, 2017). O calcário atuou como agente gerador de poros na formulação cerâmica (Suthabanditpong *et al.*, 2019).

Baseado nos resultados de Pizzatto *et al.* (2021c) e Pizzatto *et al.* (2021a) que indicaram desempenho satisfatório para as formulações contendo 40 % de lama de cal em cerâmicas porosas com aplicação em fachadas ventiladas, foi adotado como ponto de partida, a incorporação de 40 % de calcário à composição. As formulações foram denominadas F40, F45 e F50. Considerando que o calcário é um material não plástico, foi incorporada argila plástica (bentonita) à formulação, na proporção de 20 % em massa, com o objetivo de conferir plasticidade à massa cerâmica e favorecer sua conformidade durante o processamento.

A Tabela 2 apresenta as formulações desenvolvidas a partir da composição base do pó porcelânico da Eliane Revestimentos Cerâmicos, com diferentes teores de calcário incorporados. Para este estudo, foram empregadas três formulações experimentais (F40, F45 e F50), cada uma composta por diferentes teores de calcário em combinação com bentonita. Além dessas, utilizou-se uma formulação de referência (REF), composta por pó porcelânico e bentonita, com a finalidade de comparação dos resultados obtidos nas diferentes análises.

Tabela 2 - Composições das formulações F40, F45 e F50 propostas (% em massa).

Materiais	REF	F40	F45	F50
Pó porcelânico	80	48,0	44,0	40,0
Calcário	-	40,0	45,0	50,0
Argila plástica - bentonita	20	12,0	11,0	10,0
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: Do Autor (2026).

Após a determinação das formulações com 100 % da composição seca, foi incorporado adicionalmente a massa cerâmica, para atuar como um agente ligante e plastificante, 1 % (10 g) de carboximetilcelulose (CMC).

4.2.1.2 Preparação das Massas Cerâmicas

Para a presente pesquisa, foi utilizado o processo via úmido na preparação das massas cerâmicas. A obtenção das peças ocorreu conforme processamento cerâmico tradicional.

Após a preparação e caracterização das matérias-primas comerciais, foram realizadas suas dosagens por pesagem de acordo com as formulações propostas na Tabela 2.

A preparação de uma suspensão de barbotina ocorreu com 50 % de teor de sólidos, em agitador de marca Servitech CT-054 por 15 min. A suspensão foi submetida à secagem em estufa a 105 °C por 24 h. Após a secagem, o material obtido foi desaglomerado em almofariz de porcelana.

Na etapa de umidificação, foi acrescentado 10 % de água com o auxílio de um pulverizador, com o objetivo de promover a granulação da massa. Em seguida, o pó passou por uma peneira de 32 *mesh*, com abertura de 0,5 mm, com a finalidade de granulação. Posteriormente, o pó foi acondicionado em recipiente hermeticamente fechado para homogeneização por, no mínimo, 24 h.

4.2.1.3 Caracterização das Massas Cerâmicas

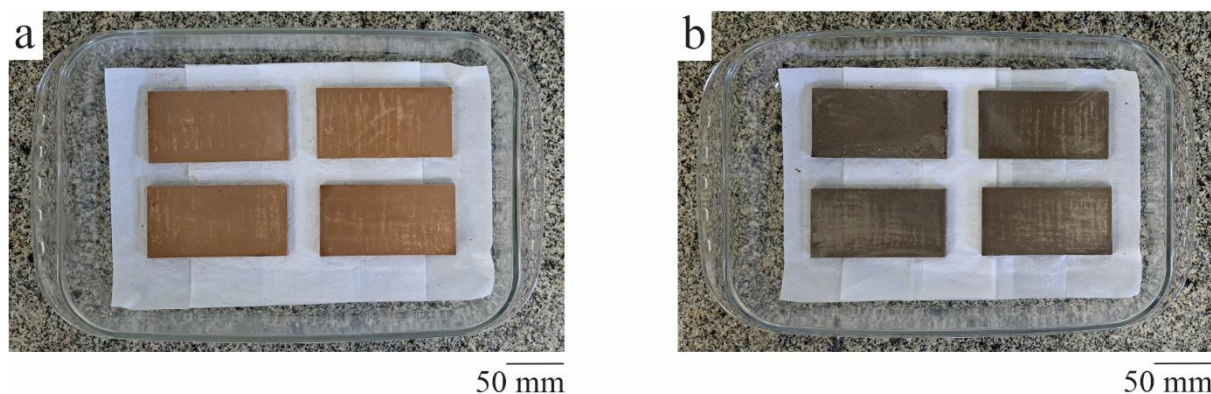
Nesta etapa ocorrerão as caracterizações das massas cerâmicas, a fim de se obter o conhecimento do comportamento e suas propriedades. A caracterização química foi realizada conforme descrito no item 4.2.1.1.

4.2.1.4 Processamento das Placas Cerâmicas

As formulações estudadas foram conformadas pelo processo de prensagem uniaxial. A prensagem ocorreu no CerTec. A conformação foi efetuada em prensa hidráulica laboratorial da marca Gabrielli, modelo GT 0785, utilizando uma pressão de 50 bar, equivalente a 51 kgf/cm² de pressão específica, sendo o pó previamente ajustado a uma umidade de 10 %.

Para os corpos de prova cerâmicos submetidos ao ensaio mecânico de flexão foi utilizada uma massa de aproximadamente 100 g de material. Foram obtidos corpos cerâmicos retangulares com dimensões médias de 120 mm x 62 mm x 6 mm. A Figura 8 mostra os corpos de prova retangulares prensados.

Figura 8 - Corpos de prova retangulares com dimensões médias de 120 mm x 62 mm x 6 mm submetidos a prensagem uniaxial: A – corpos de prova REF, B – corpos de prova F45.



Fonte: Do Autor (2026).

Após a prensagem, os corpos cerâmicos foram secados em estufa de laboratório a 100 °C durante 24 h.

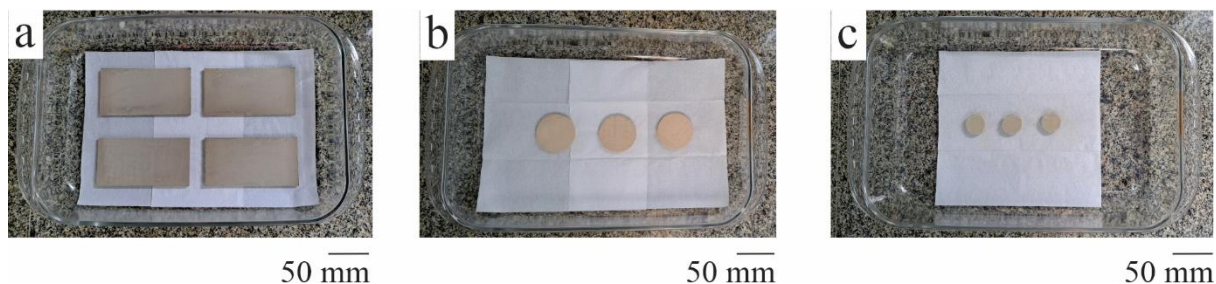
Para a realização dos ensaios de condutividade térmica e acústico em tubo de impedância, os corpos de prova foram preparados utilizando-se massas cerâmicas de aproximadamente 100 g e 180 g por amostra, respectivamente. Para ambos os casos, os corpos cerâmicos foram inicialmente conformados por prensagem uniaxial, resultando em corpos cerâmicos retangulares com dimensões médias de 120 mm x 62 mm, com espessura de 6 mm para os corpos de prova utilizados para os ensaios de condutividade térmica e 10 mm de espessura para os corpos de prova utilizados para o ensaio com tubo de impedância.

Referente ao ensaio de condutividade térmica, após secagem em estufa de laboratório a 100 °C por um período de 24 h, os corpos de prova foram seccionados com o auxílio de uma furadeira de bancada, marca Schulz, modelo: FSB 16P, equipada com serra copo Starrett Fast Cut, Ø 2 1/8" (54 mm), resultando em amostras circulares com diâmetro de aproximadamente 50 mm, espessura de 6 mm e massa de 24 g.

Para o ensaio acústico com tubo de impedância, após a secagem em estufa de laboratório a 100 °C por um período de 24 h, os corpos de prova foram seccionados com auxílio de uma furadeira de bancada marca Schulz, modelo: FSB 16P, equipada com serra copo Starrett, Fast Cut, Ø 1 3/16" (33 mm), obtendo-se corpos de prova com geometria circular, com diâmetro de aproximadamente 26 mm, espessura de 10 mm e massa de 11 g. O corte das amostras ocorreu no Laboratório de Protótipos, no Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT) – UNESC.

A Figura 9 mostra os corpos de prova secados a seco e ensaiados na segunda etapa da pesquisa.

Figura 9 - Corpos de prova secos em estufa de laboratório a 100 °C utilizados na presente pesquisa: A – corpos de prova retangulares utilizados no ensaio mecânico de flexão, B – corpos de prova cilíndricos utilizados no ensaio de condutividade térmica, C – corpos de prova cilíndricos utilizados no ensaio acústico com tubo de impedância.



Fonte: Do Autor (2026).

4.2.1.5 Caracterização Térmica

As temperaturas de queima foram definidas experimentalmente por meio de uma amostra compactada com dimensões de aproximadamente 15 mm x 5 mm x 3 mm, uma para cada formulação (F40, F45 e F50). As amostras foram submetidas ao ensaio de dilatometria óptica em equipamento da marca Expert System Solutions S.R.L., modelo Misura 3 HSM 1600-50, com taxa de aquecimento de 10 °C/min até a temperatura de 1200 °C, executado no Laboratório de Cerâmica Técnica - CerTec.

Foram definidas três temperaturas de queima para os corpos de prova cerâmicos, 1120, 1140 e 1160 °C. A Tabela 3 apresenta os códigos atribuídos a cada formulação em função da temperatura de queima aplicada.

Tabela 3 - Códigos atribuídos a cada formulação em função da temperatura de queima aplicada.

Formulação	Temperatura de queima (°C)	Código
REF	1120	REFT1120
	1140	REFT1140
	1160	REFT1160
F40	1120	F40T1120
	1140	F40T1140
	1160	F40T1160
F45	1120	F45T1120
	1140	F45T1140
	1160	F45T1160
F50	1120	F50T1120
	1140	F50T1140
	1160	F50T1160

Fonte: Do Autor (2026).

4.2.1.6 Tratamento Térmico dos Corpos de Prova

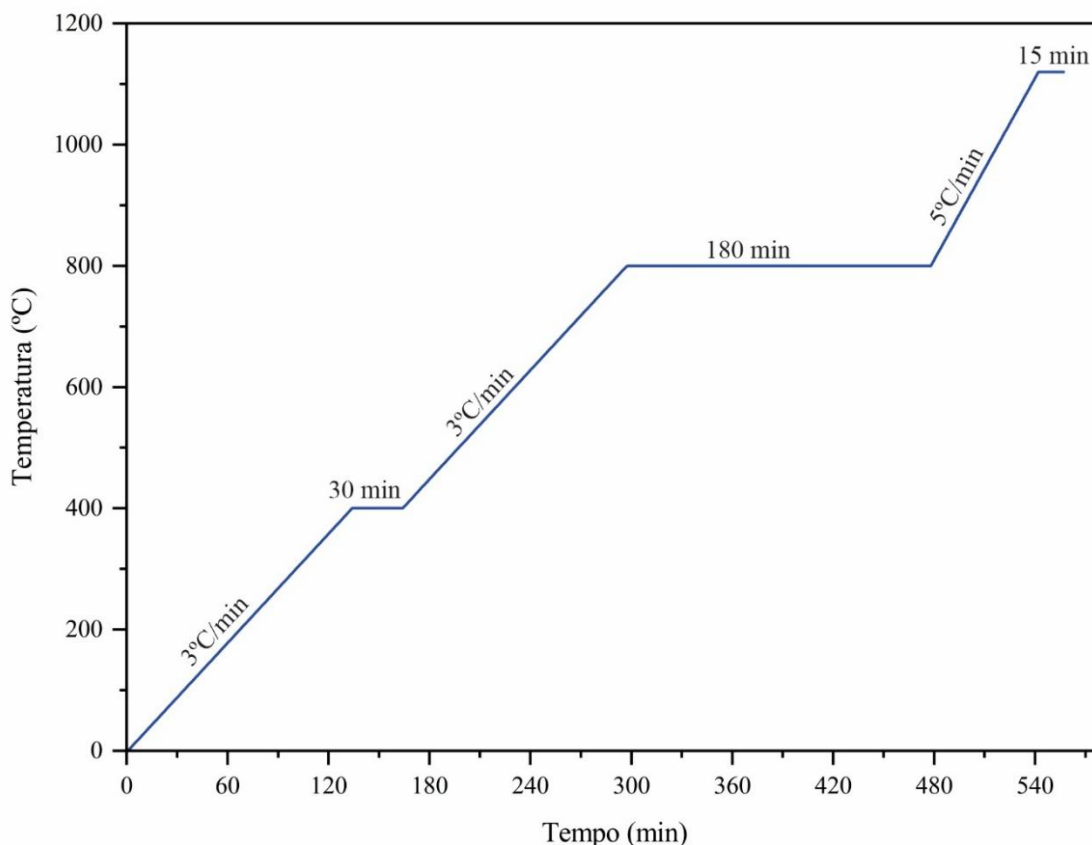
A queima foi realizada em um forno de queima rápida, marca FORTELAB, modelo QR-1300/3, no Laboratório de Cerâmica Técnica - CerTec. Existem dois tipos de queima, o rápido e o lento. Na literatura foi demonstrado que as propriedades mecânicas são influenciadas pela velocidade de queima de cerâmicas. Embora a microestrutura das amostras sinterizadas em ambos os ciclos seja semelhante, os corpos de prova submetidos à queima lenta apresentam tensão de ruptura e massa específica aparente superiores às queimadas em ciclo rápido. Isso ocorre porque o maior tempo de exposição a altas temperaturas favorece a formação de fases cristalinas. No entanto, as diferenças não são significativas, o que explica a preferência por ciclos de queima rápida no setor de revestimentos cerâmicos (Schuller; Bianchi; Aguiar, 2008).

As temperaturas de queima foram definidas experimentalmente, por meio do ensaio de dilatometria óptica. Neste ensaio foi obtido a curva de retração do material em função da temperatura.

Os parâmetros do ciclo de queima dos corpos cerâmicos adotados na segunda na etapa da pesquisa foram estabelecidos em três estágios, com patamares de temperaturas estabelecidos em 400 °C, 800 °C e nas três temperaturas de queima. Esta última definida conforme o item 4.2.1.5, a partir dos resultados do ensaio de dilatometria óptica.

A Figura 10 mostra as curvas de queima dos corpos de prova referentes à segunda etapa da pesquisa, contemplando as três temperaturas: 1120, 1140 e 1160 °C.

Figura 10 - Curvas de queima dos corpos cerâmicos adotados na segunda etapa da pesquisa para as temperaturas 1120, 1140 e 1160 °C.



Fonte: Do Autor (2026).

Para o primeiro estágio, a curva de queima foi conduzida com uma taxa de aquecimento de 3 °C/min até a temperatura de 400 °C, seguida de um patamar térmico de 30 min. O objetivo foi promover a decomposição do CMC presente na massa (Guglielmi; Wenceslau; Buoso, 2008). Em seguida, no segundo estágio, o aquecimento prosseguiu até 800 °C, se mantendo a mesma taxa de aquecimento de 3 °C/min, com patamar de 3 h, a fim de permitir a liberação controlada dos gases decorrentes da decomposição térmica do calcário (Costa; Sakihama; Salomão, 2018), diminuindo o risco de fissuração nos corpos cerâmicos. Considerando o processamento cerâmico, a determinação da temperatura de decomposição do CaCO_3 torna-se uma análise importante (Ribeiro Dos Santos *et al.*, 2019). De acordo com Ramezani *et al.* (2018) a temperatura de calcinação foi atingida de 600 a 800 °C. No processo de fabricação de revestimentos cerâmicos em queima única, a decomposição total da calcita deve ser alcançada

para permitir etapas subsequentes, a fim de evitar bolhas resultantes da liberação de CO₂ durante a pirólise da calcita (Escardino *et al.*, 2013; Ribeiro Dos Santos *et al.*, 2019). Para o último estágio, a taxa de aquecimento foi alterada para 5 °C/min até atingir a temperatura de sinterização, com patamar de sinterização de 15 min. Completado o ciclo de sinterização, os corpos cerâmicos foram resfriados inercialmente.

A Figura 11 mostra os corpos de prova queimados no forno de queima rápida, marca FORTELAB.

Figura 11 - Corpos de prova queimados no forno de queima rápida, marca FORTELAB: A – corpos de prova retangulares F40, queimados na temperatura 1140 °C, B – corpos de prova cilíndricos (Ø 50 mm, Ø 26 mm), queimados na temperatura 1120 °C.



Fonte: Do Autor (2026).

A Tabela 4, apresenta a descrição e o número de corpos de prova queimados na primeira etapa do trabalho a fim de serem utilizados para cada ensaio realizado na Etapa 02.

Tabela 4 - Tabela com a descrição dos ensaios e número de corpos de prova para cada ensaio realizado na Etapa 02.

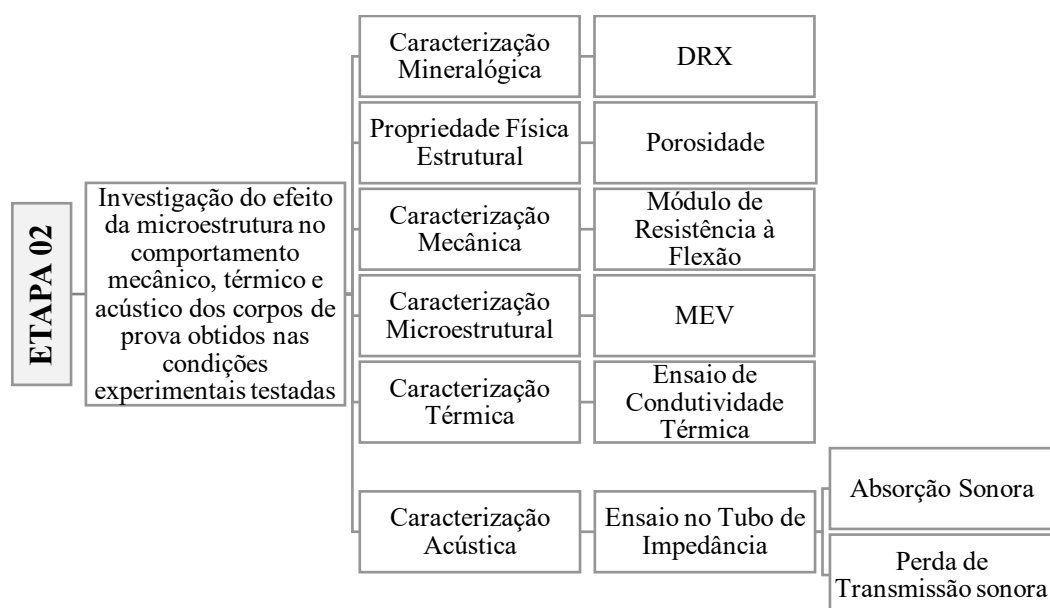
Descrição do Ensaio		Dimensão (mm)	Total
Caracterização Mecânica	Ensaio Mecânico de Flexão	~120 x ~62 x ~6	48
Caracterização Térmica	Ensaio de Condutividade Térmica	Ø ~50, esp. ~6	36
Caracterização Acústica	Ensaio no Tubo de Impedância	Ø ~26, esp. ~10	36
Total			120

Fonte: Do Autor (2026).

4.2.2 Investigação do efeito da microestrutura no comportamento mecânico, térmico e acústico dos corpos de prova obtidos nas condições experimentais testadas

A fim de se obter a definição da melhor condição experimental, foram executados os ensaios de caracterização dos corpos de prova de todas as formulações. As fases relacionadas a Etapa 02 - Investigação do efeito da microestrutura no comportamento mecânico, térmico e acústico dos corpos de prova obtidos nas condições experimentais testadas está descrita na Figura 12.

Figura 12 - Fluxograma referente as fases da investigação do efeito da microestrutura no comportamento mecânico, térmico e acústico dos corpos de prova obtidos nas condições experimentais testadas.



Fonte: Do Autor (2026).

4.2.2.1 Caracterização Mineralógica

Com o intuito de identificar as fases cristalinas presentes, foi realizada a caracterização mineralógica das formulações REF, F40, F45 e F50 submetidas às temperaturas de queima de 1120, 1140 e 1160 °C. A análise por Difração de Raios X (DRX) foi executada no Parque Científico e Tecnológico – IParque da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), no Laboratório Multiusuário do Programa de Pós-Graduação – MULTILAB. Foi utilizado um Difratorômetro de Raios X da marca Bruker, modelo D6 PHASER, com radiação incidente Cu K α 1 ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$), em um intervalo de 10 a 80° (2 θ), com passo de 0,02° e velocidade de 2 °/min. A interpretação dos dados difratométricos foi realizada por meio do *software* EVA (Bruker).

4.2.2.2 Propriedades Físicas e Microestruturais

A porosidade total (ϵ_t) é a soma dos volumes de poros abertos e fechados presentes na amostra do material. O cálculo da porosidade total para cada formulação (REF, F40, F45 e F50) foi obtido por meio da relação entre a densidade aparente a seco e a densidade real, Equação 1 (Akiyoshi *et al.*, 2001; Conte *et al.*, 2022; Pizzatto *et al.*, 2021d; Sun *et al.*, 2025).

$$\epsilon_t (\%) = 100 \times \left(1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{real}} \right) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

ϵ_t = porosidade total, em %;

ρ_{ap} = densidade aparente a seco, em g/cm³;

ρ_{real} = densidade real, g/cm³.

A densidade aparente a seco (ρ_{ap}) foi determinada pelo método geométrico. Quatro corpos cerâmicos de cada formulação (REF, F40, F45 e F50) foram medidos com paquímetro digital Caliper 150 mm (6”). A massa da amostra foi determinada em balança digital, marca Marte, modelo BL3200H, com leitura de 0,01 g. A densidade aparente foi obtida pela relação entre a massa e o volume do corpo de prova, sendo expressa em g/cm³, conforme descrito por Akiyoshi *et al.* (2001) e Conte *et al.* (2022).

A densidade real (ρ_{real}) para cada formulação (REF, F40, F45 e F50) foi obtida por picnometria a gás hélio, em equipamento marca QUANTACHROME, modelo ULTRAPYC

1200e, a qual determina o volume real de um sólido, por variação da pressão de gás em uma câmara de volume conhecido. Essa técnica pode ser utilizada para materiais porosos. A densidade real foi medida para cada temperatura de queima. O ensaio foi executado no CerTec.

4.2.2.3 Caracterização Mecânica

O módulo de resistência à flexão a três pontos (MRF) após a sinterização foi avaliado conforme os critérios estabelecidos pela norma ABNT NBR ISO 10545-4 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020a).

Para a realização desse ensaio, foi utilizada uma máquina universal de ensaios mecânicos EMIC, modelo DL 10000, no Laboratório de Ensaios Mecânicos, IDT/UNESC.

Foram ensaiados quatro corpos de prova cerâmicos retangulares de cada formulação (REF, F40, F45, F50), queimadas nas três temperaturas (1120, 1140 e 1160 °C). As amostras apresentavam dimensões médias de 120 mm x 62 mm x 6 mm e massa aproximada de 90 g, totalizando 48 amostras. A distância entre apoios adotada foi de 100 mm e a velocidade de ensaio de 2 mm/min. Ressalta-se que o ensaio foi conduzido por controle de deslocamento contínuo ao longo do tempo, e não por aplicação direta de carga.

A Tabela 5 apresenta o número total de corpos de prova utilizados no ensaio mecânico de Flexão.

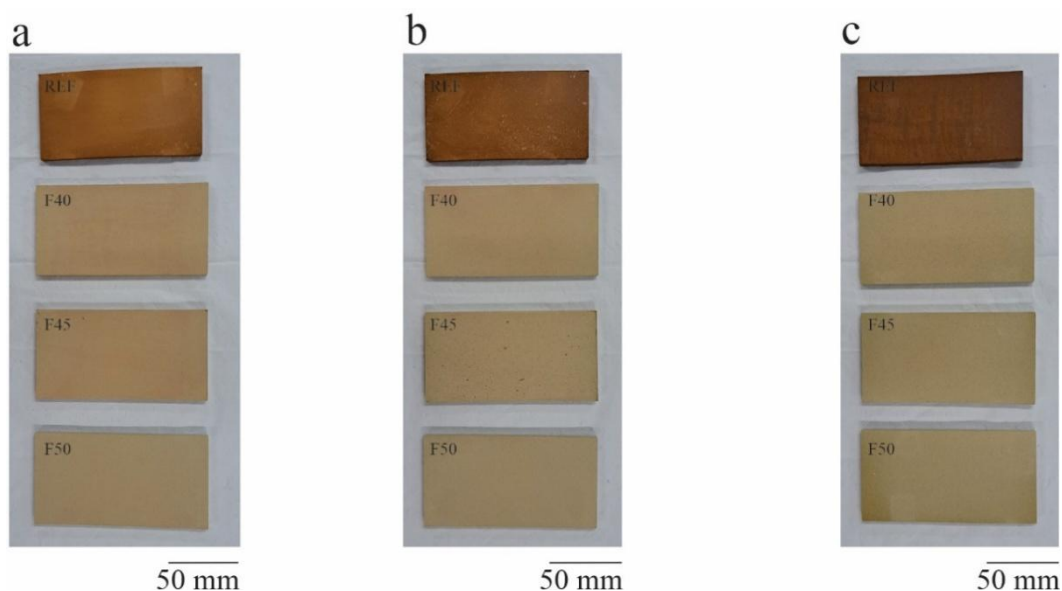
Tabela 5 - Número de corpos de prova utilizados no ensaio mecânico de flexão.

Formulações	Temperaturas (°C)			Número de corpos de prova
	1120	1140	1160	
REF	4	4	4	12
F40	4	4	4	12
F45	4	4	4	12
F50	4	4	4	12
Total				48

Fonte: Do Autor (2026).

A Figura 13 apresenta os corpos de prova retangulares que foram submetidos ao ensaio mecânico de flexão.

Figura 13 - Corpos de prova submetidos ao ensaio mecânico de flexão: A – corpos de prova retangulares queimados na temperatura 1120 °C, B – corpos de prova retangulares queimados na temperatura 1140 °C, C – corpos de prova retangulares queimados na temperatura 1160 °C.



Fonte: Do Autor (2026).

4.2.2.4 Caracterização Microestrutural

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos corpos cerâmicos queimados teve como objetivo avaliar as mudanças da microestrutura e a evolução da porosidade em função da quantidade de calcário incorporada e temperatura final de patamar. A avaliação da microestrutura e da porosidade para cada formulação (REF, F40, F45 e F50) foi realizada em microscópio eletrônico de varredura (MEV), marca Zeiss, modelo EVO MA10, no CerTec. Foram analisadas as quatro formulações (REF, F40, F45 e F50) submetidas às três temperaturas de queima (1120, 1140 e 1160 °C).

4.2.2.5 Caracterização Térmica

A condutividade térmica das formulações REF, F40, F45 e F50 estudadas nesta pesquisa foi avaliada.

Os materiais mais densos (menor porosidade) exibem valores de k mais altos, aumentando assim a condução de calor. No caso de isoladores porosos, os valores de k devem ser inferiores a 0,4 W/(m·K) (Vivaldini *et al.*, 2014).

Para determinar a condutividade térmica foram adotadas as recomendações do documento ASTM E 1530:2011 *Evaluating the Resistance to Thermal Transmission of Material by the Guarded Heat Flow Meter Technique*. Foi utilizado o equipamento DTC-300 Model 2022, do fabricante TA Instruments. Para este ensaio, foram utilizadas 36 amostras no formato de discos com diâmetro de aproximadamente 50 mm, espessura de 6 mm e massa aproximada de 24 g. Foram ensaiados três corpos de prova cerâmicos cilíndricos de cada formulação (REF, F40, F45, F50), queimadas nas três temperaturas (1120, 1140 e 1160 °C). A Tabela 6 apresenta o número total de corpos de prova utilizados no ensaio de condutividade térmica.

Tabela 6 - Número de corpos de prova utilizados no ensaio de condutividade térmica.

Formulações	Temperaturas (°C)			Número de corpos de prova
	1120	1140	1160	
REF	3	3	3	9
F40	3	3	3	9
F45	3	3	3	9
F50	3	3	3	9
Total				36

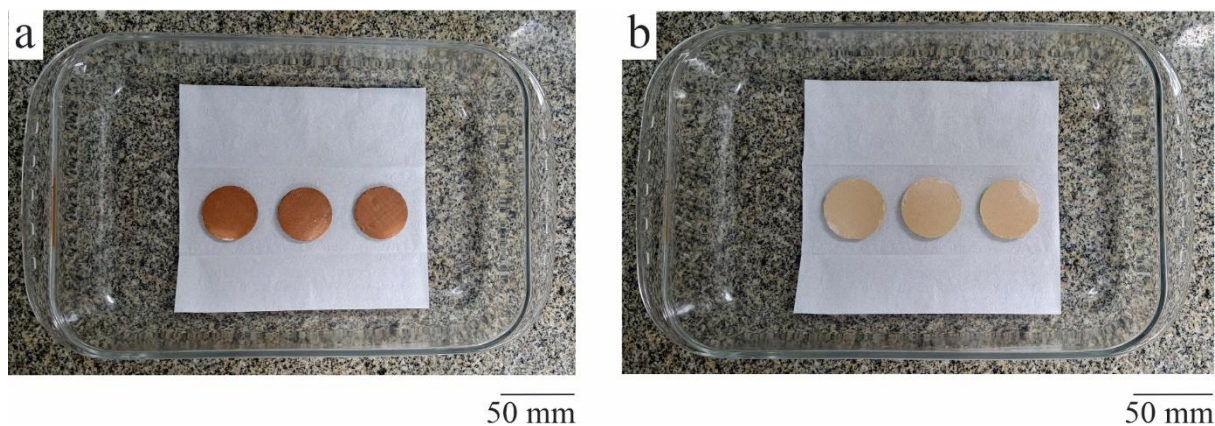
Fonte: Do Autor (2026).

Com o objetivo de reduzir a resistência térmica entre a amostra e o equipamento, os corpos de prova foram cobertos nas faces superior e inferior com pasta térmica. A medição da espessura é parâmetro básico para realização do teste, por isso, os valores foram determinados por meio da utilização de um paquímetro digital (Digimess MTK-5100 PRIME).

O ensaio de condutividade térmica foi executado no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente – CONSTRAMBI, na Universidade de São Paulo – USP, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos.

A Figura 14 mostra os corpos de prova submetidos ao ensaio de condutividade térmica.

Figura 14 - Corpos de prova submetidos ao ensaio de condutividade térmica: A – corpos de prova cilíndricos ($\varnothing$ 50 mm) REF, queimados na temperatura 1140 °C, B – corpos de prova cilíndricos ($\varnothing$ 50 mm) F50, queimados na temperatura 1140 °C.



Fonte: Do Autor (2026).

4.2.2.6 Caracterização Acústica

O objetivo da caracterização acústica foi avaliar o comportamento do coeficiente de absorção sonora (problema de reflexão) e da perda de transmissão sonora (problema de transmissão) das formulações (REF, F40, F45, F50), queimadas nas três temperaturas (1120, 1140 e 1160 °C) definidas por meio da curva de retração.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Vibrações e Acústica (LVA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

O procedimento experimental foi aplicado em um tubo de impedância padrão projetado de acordo com a implementação da ISO 10534-2 (*International Organization for Standardization*, 2001).

A Figura 15 apresenta o *setup* experimental utilizado nos ensaios.

Figura 15 - *Setup* experimental utilizado nos ensaios de absorção sonora.



Fonte: Do Autor (2026).

A lista e a quantidade de equipamentos utilizados nos ensaios de absorção sonora e ensaios de perda de transmissão sonora estão descritas na Tabela 7.

Tabela 7 - Lista e quantidade dos equipamentos utilizados no ensaio de absorção sonora (EAS) e ensaio de perda de transmissão sonora (EPTS).

Cód.	Equipamento	EAS Quant.	EPTS Quant.
1	Notebook Dell com os softwares BK Connect e Matlab e Amplificador B&K do tipo 2718	1	1
2	Tubo de impedância com diâmetro interno de 26 mm	1	1
3	Microfones de campo de pressão B&K do tipo 4971-H-041	2	4
4	Analisador B&K modelo LAN-XI tipo 3160-B-042	1	1
5	Medidor de temperatura e umidade relativa do ar	1	1
6	Calibrador B&K do tipo 4231	1	1
7	Amostras	3	3
-	Cabos coaxial-BNC	3	5

Fonte: Do Autor (2026).

Para os dois ensaios, foram utilizadas 36 amostras, as quais foram submetidas a duas condições de montagem distintas, problemas de reflexão e transmissão sonora. As amostras apresentavam diâmetro de 26 mm, espessura de 10 mm e massa aproximada de 11 g.

A Tabela 8 apresenta o número total de corpos de prova utilizados no ensaio de caracterização acústica.

Tabela 8 - Número de corpos de prova utilizadas na caracterização acústica a fim de avaliar o comportamento do coeficiente de absorção sonora e da perda de transmissão sonora.

Formulações	Temperaturas (°C)			Número de corpos de prova
	1120	1140	1160	
REF	3	3	3	9
F40	3	3	3	9
F45	3	3	3	9
F50	3	3	3	9
Total				36

Fonte: Do Autor (2026).

A Figura 16 mostra os corpos de prova submetidos a caracterização acústica.

Figura 16 - Corpos de prova submetidos a caracterização acústica: A – corpos de prova cilíndricos (Ø 26 mm) REF, queimados na temperatura 1140 °C, B – corpos de prova cilíndricos (Ø 26 mm) F50, queimados na temperatura 1140 °C.



Fonte: Do Autor (2026).

A caracterização das amostras ocorreu sob duas condições de montagem distintas utilizando um tubo de impedância cilíndrico com diâmetro interno de $\varnothing = 26 \text{ mm}$. Em ambas as condições de montagem a máxima frequência utilizada nas análises está abaixo da frequência de corte superior do tubo, a qual é calculada de acordo com a Equação 2.

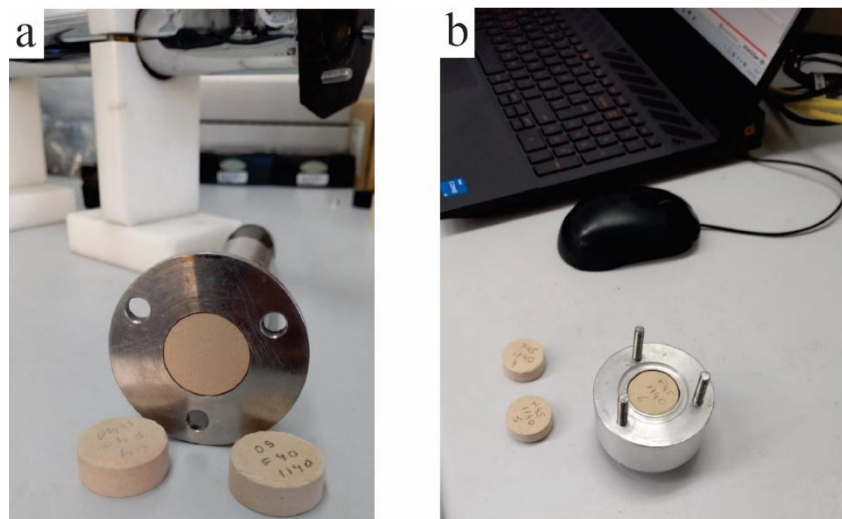
$$f_c = \frac{0,585 \times c_o}{\varnothing} = \frac{0,585 \times 343 \text{ m/s}}{0,026 \text{ m}} = 7717 \text{ Hz} \quad \text{Equação 2}$$

sendo c_o a velocidade do som no meio.

Sendo assim, a metodologia foi dividida em duas etapas: ensaio de absorção sonora e ensaio de perda de transmissão sonora.

A Figura 17 apresenta o posicionamento das amostras no porta-amostras do tubo de impedância, conforme o tipo de ensaio realizado.

Figura 17 - Amostra alojada no porta-amostra para ensaios: (a) Absorção sonora; (b) Perda de transmissão sonora.



Fonte: Do Autor (2026).

4.2.2.6.1 Ensaio de Absorção Sonora

Para o ensaio de absorção sonora a metodologia experimental baseia-se no método padrão de dois microfones, pela qual a decomposição do campo de interferência é obtida medindo as pressões acústicas complexas em dois pontos fixos no tubo. Todo o procedimento experimental

foi regido pela norma ISO 10534-2 (*International Organization for Standardization*, 2001).

Nos ensaios um sinal do tipo randômico (ondas planas) na faixa de 0 – 6400 Hz é gerado e amplificado a fim acionar um alto-falante acoplado na extremidade do tubo. A pressão sonora é medida por dois microfones condensadores de precisão posicionados ao longo do tubo, enquanto um sistema de aquisição de dados é usado para registrar e processar o sinal. Os sinais adquiridos foram exportados em formato de arquivo universal (*uff*) e pós-processados utilizando o *software Matlab*. Ressalta-se que, antes da realização dos ensaios, foi realizada a calibração da sensibilidade dos microfones com uso de um calibrador de nível sonoro padrão, operando a 1 kHz e 94 dB.

4.2.2.6.2 Ensaio de Perda de Transmissão Sonora

Os ensaios de perda de transmissão sonora foram conduzidos a partir da metodologia da matriz de transferência, utilizando o método das duas cargas, conforme especificado na norma ASTM E2611-09 (*American Society for Testing and Materials*, 2009). Este método envolve a realização de medições acústicas sob duas condições de contorno distintas aplicadas à terminação do tubo de medição: uma anecoica (absorvente) e outra rígida (refletora).

Um sinal randômico (ondas planas), na faixa de 0 a 6400 Hz, é gerado e amplificado para acionar um alto-falante posicionado na extremidade do tubo. A amostra cerâmica é acoplada na seção central do tubo, enquanto a extremidade oposta é configurada alternadamente com as duas condições de contorno (anecoica e rígida).

Quatro microfones condensadores de precisão, fixados em posições previamente determinadas ao longo do tubo, são utilizados para registrar a pressão sonora nos diferentes pontos. A aquisição e o processamento dos sinais foram realizados por meio de um sistema e os dados foram exportados em formato de arquivo universal (*uff*) para posterior análise no *software Matlab*.

Destaca-se que, previamente à realização dos ensaios, os microfones foram calibrados utilizando um calibrador acústico padrão, operando a 1 kHz com nível de referência de 94 dB, assegurando a precisão nas medições de pressão sonora.

Após a caracterização dos corpos de prova sinterizados, com os resultados de caracterização mineralógica, propriedade física estrutural, mecânica, térmica e acústica, foi definida a formulação que apresentou as melhores condições experimentais definida nos objetivos do presente trabalho, obtida como a melhor condição experimental com o intuito de

desenvolver uma massa cerâmica porosa com condições favoráveis para aplicação em fachada ventilada.

4.2.3 Avaliação das propriedades finais dos corpos de prova obtidos na condição experimental selecionada

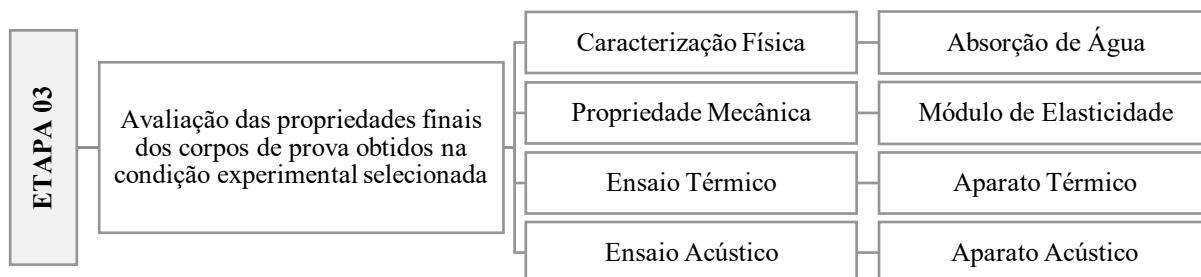
Após a definição da melhor condição experimental, foram produzidos corpos de prova a fim de se efetuar a avaliação do desempenho.

As placas foram obtidas em condições de produção descritas no item 4.2.1.2, seguindo os parâmetros de preparação da massa cerâmica, bem como o seu processamento, de acordo com as etapas descritas anteriormente.

Em seguida, os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de desempenho.

A Figura 18 mostra as fases relacionada a Etapa 03 – Avaliação das propriedades finais dos corpos de prova obtidos na condição experimental selecionada.

Figura 18 - Fluxograma detalhado das fases relacionadas a Etapa 03 – Avaliação das propriedades finais dos corpos de prova obtidos na condição experimental selecionada.



Fonte: Do Autor (2026).

4.2.3.1 Caracterização Física – Determinação da Absorção de Água

A determinação da absorção de água dos corpos cerâmicos foi executada seguindo os procedimentos descritos na norma ABNT NBR ISO 10545-4: 2020 - Placas cerâmicas - Parte

3: Determinação da absorção de água, porosidade aparente, densidade relativa aparente e densidade aparente. O ensaio foi executado no CerTec.

Foram ensaiados quatro corpos de prova cerâmicos da formulação utilizada como referência (REF) e quatro corpos de prova cerâmicos retangulares da melhor condição experimental. As amostras apresentavam dimensões médias de 120 mm x 62 mm x 6 mm e massa aproximada de 90 g, totalizando 8 amostras. A Tabela 9 apresenta o número total de corpos de prova utilizados para a determinação da absorção de água dos corpos cerâmicos.

Tabela 9 - Número de corpos de prova utilizados para a determinação da absorção de água dos corpos cerâmicos.

Formulações	Temperatura (°C)	Número de corpos de prova
REF	1140	4
Melhor Condição Experimental	1140	4
Total		8

Fonte: Do Autor (2026).

O valor de absorção de água (E_v) foi obtido por meio da Equação 3, segundo ABNT NBR ISO 10545-4: 2020 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020b).

$$E_v = 100 \times \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

E_v = absorção de água, em %;

m_1 = massa seca, em g;

m_2 = massa saturada, em g.

4.2.3.2 Propriedade Mecânica – Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade, também conhecido como Módulo de *Young*, é a medida da rigidez de um material.

A medida desta propriedade foi obtida utilizando-se um equipamento Sonelastic (ATCP Engenharia Física), localizado no CerTec. Este equipamento é um analisador de vibrações transitórias, o qual o *software* permite o cálculo dos módulos de elasticidade para as frequências

encontradas e selecionadas, utilizando dimensões de massa do corpo de prova. Este equipamento identifica quais são as frequências de vibração e os amortecimentos, mediante o processamento da resposta acústica do corpo a uma excitação mecânica por impulso.

Foram ensaiados quatro corpos de prova cerâmicos da formulação utilizada como referência (REF) e quatro corpos de prova cerâmicos retangulares referente a melhor condição experimental. A Tabela 10 apresenta o número total de corpos de prova submetidos à determinação do módulo de elasticidade.

As massas dos corpos de prova foram medidas em uma balança analítica Shimadzu, modelo AUY220, com leitura de 0,0001 g. Os 8 corpos de provas foram medidos conforme método geométrico, utilizando-se de um paquímetro digital Caliper 150 mm (6”).

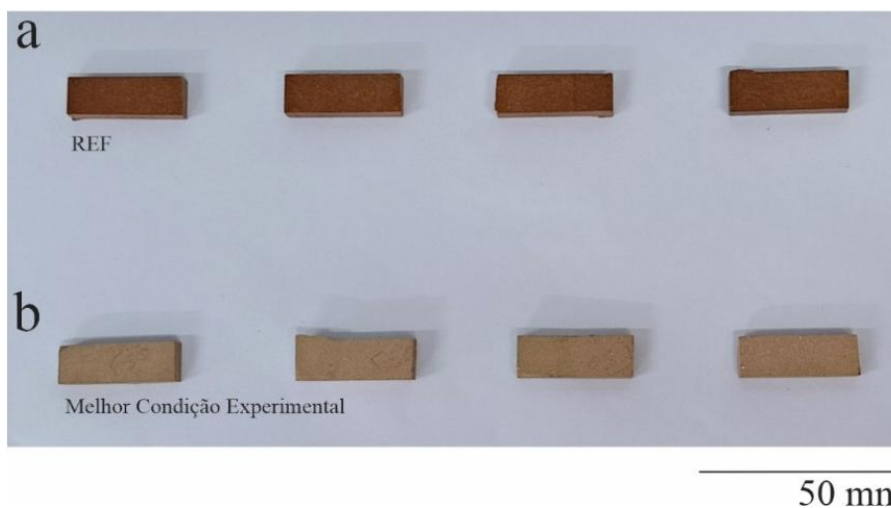
Tabela 10 - Número de corpos de prova submetidos à determinação do módulo de elasticidade.

Formulações	Temperatura (°C)	Número de corpos de prova
REF	1140	4
Melhor Condição Experimental	1140	4
Total		8

Fonte: Do Autor (2026).

As amostras apresentaram dimensões médias de 30 mm x 10 mm x 6 mm, conforme demonstrados na Figura 19.

Figura 19 - Corpos de prova submetidos a propriedade mecânica – módulo de elasticidade: A – corpos de prova retangulares REF, B – corpos de prova retangulares da melhor condição experimental.



Fonte: Do Autor (2026).

4.2.3.3 Ensaio Térmico

Com o objetivo de avaliar o desempenho térmico do material cerâmico em estudo, em especial o potencial no desempenho térmico em aplicações em fachada ventiladas, foi utilizado um aparato térmico previamente desenvolvido por Pizzatto *et al.* (2021c).

Este aparato tem como finalidade simular as condições de uma edificação equipada com o sistema de fachada ventilada, a fim de atestar a capacidade de isolamento térmico dos corpos cerâmicos e os efeitos no conforto térmico interno.

Para este sistema foram utilizadas amostras da formulação referência (REF) e corpos cerâmicos da melhor condição experimental como efeito de comparação. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Fundação I do Instituto de Desenvolvimento Tecnológico (Idt), localizado no IParque.

Para os ensaios foram utilizados 28 corpos de prova da formulação referência (REF) e 28 corpos de prova da melhor condição experimental. A Tabela 11 apresenta o número total de corpos de prova submetidos ao ensaio com o aparato térmico.

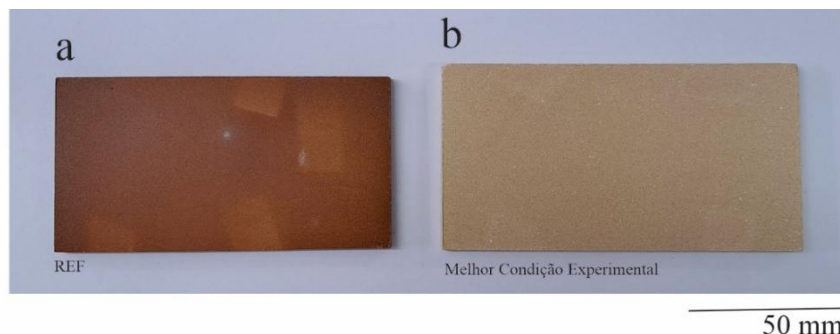
Tabela 11 - Número de corpos de prova submetidos ao ensaio com o aparato térmico.

Formulações	Número de corpos de prova
REF	28
Melhor Condição Experimental	28
Total	56

Fonte: Do Autor (2026).

As amostras apresentaram dimensões médias de 120 mm x 62 mm x 6 mm e massa aproximada de 90 g. A Figura 20 apresenta os corpos de prova retangulares que foram submetidos ao ensaio com o aparato térmico.

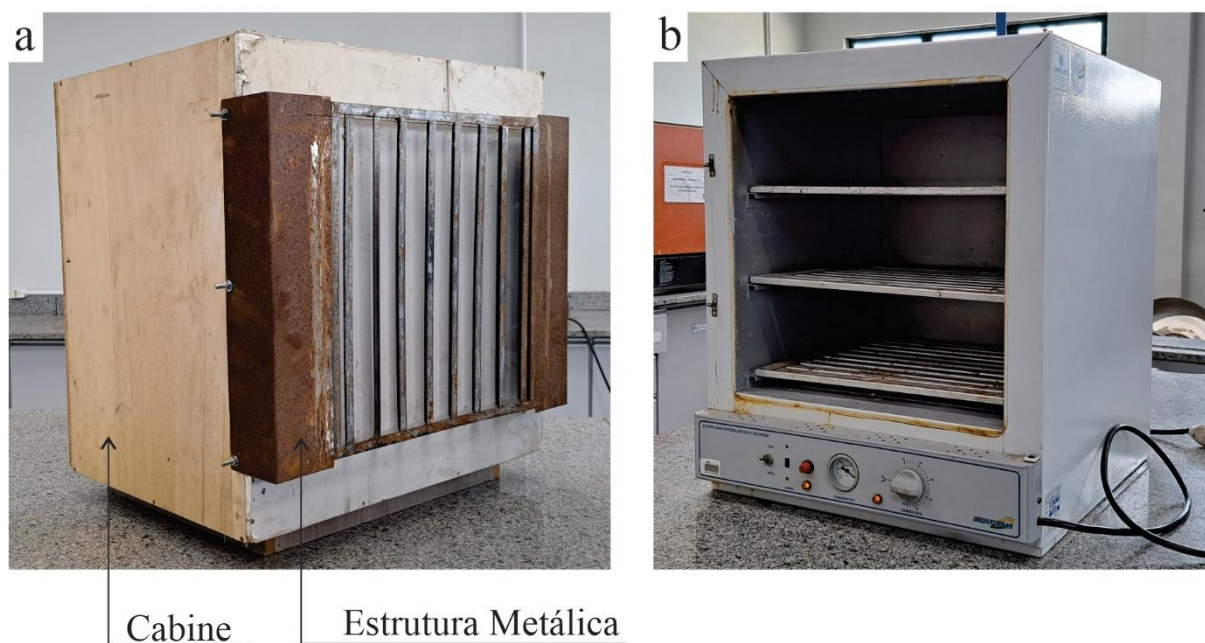
Figura 20 - Corpos de prova submetidos a determinação da absorção de água dos corpos cerâmicos: A – corpos de prova retangulares REF, B – corpos de prova retangulares da melhor condição experimental.



Fonte: Do Autor (2026).

O aparato térmico (Figura 21) foi composto por uma cabine construída em compensado de madeira, uma estrutura metálica de suporte e uma estufa odontológica Odontobrás, modelo EL – 1.3. Para medição da temperatura, utilizou-se 5 termopares do tipo K. O módulo de leitura e registro de variáveis utilizadas foi o FieldLogger – Data Logger Industrial Multicanais – Novus.

Figura 21 - Componentes do aparato térmico: A – cabine construída em compensado de madeira com a estrutura metálica de suporte fixada, B – estufa odontológica Odontobrás, modelo EL – 1,3.

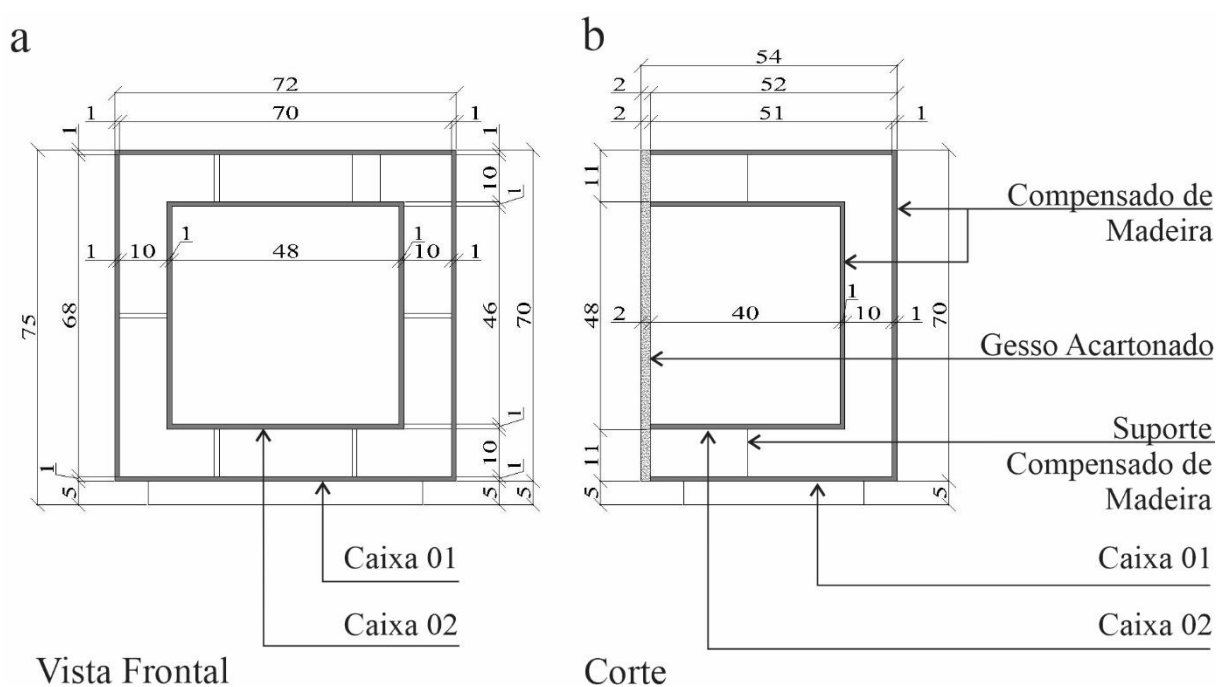


Fonte: Do Autor (2026).

A cabine construída em compensado de madeira (Figura 23) foi composta por duas caixas. A “caixa 01” foi projetada para simular uma edificação e minimizar interferências térmicas do ambiente externo. A “caixa 02”, posicionada ao centro, dentro da caixa 01, foi projetada para simular um cômodo dentro da edificação. Ambas as caixas foram projetadas com uma das faces em material cerâmico, simulando uma parede em alvenaria. O material empregado foi o gesso acartonado, com espessura de 2 cm, escolhido pela facilidade de corte e manuseio da peça. As demais faces foram projetadas em compensado de madeira.

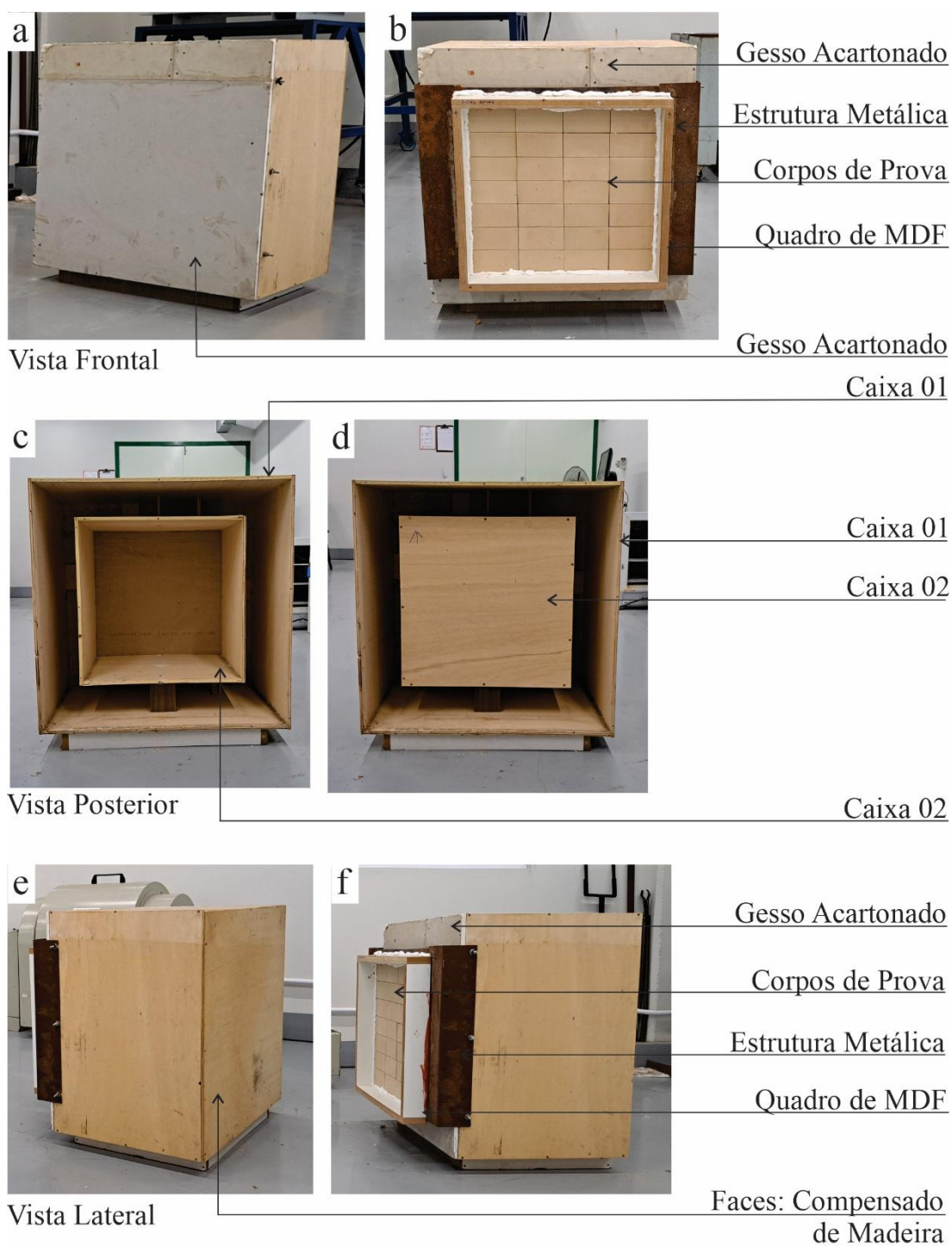
A Figura 22 mostra as dimensões da cabine e a Figura 23 mostra as especificações da cabine em compensado de madeira.

Figura 22 - Detalhe da Cabine em compensado de madeira, medidas e especificações: A – Vista Frontal, B – Corte da cabine de madeira em compensado de madeira.



Fonte: Do Autor (2026).

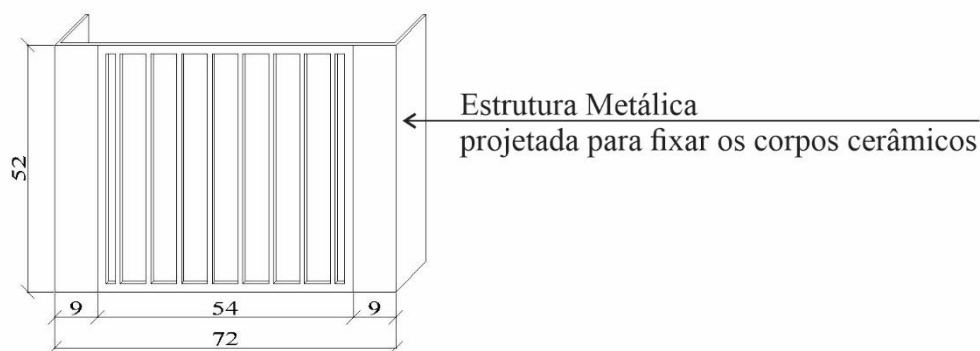
Figura 23 - Cabine em compensado de madeira: A – vista frontal da cabine mostrando a face em gesso acartonado, B – vista frontal mostrando a cabine e a estrutura metálica de suporte com os corpos de prova fixados, C e D – vista posterior, mostrando a caixa 01 representando uma edificação e a caixa 02, simulando um cômodo interno, E e F – vista lateral, mostrando as faces da caixa 01 em compensado de madeira e a face frontal em gesso acartonado.



Fonte: Do Autor (2026).

A estrutura metálica de suporte foi projetada para fixar os corpos cerâmicos desenvolvidos na presente pesquisa, com o intuito de simular o sistema de fachada ventilada. A Figura 24 mostra as dimensões e especificações da estrutura metálica de suporte.

Figura 24 - Detalhe da estrutura metálica de suporte, medidas e especificações.



Fonte: Do Autor (2026).

Para simular o efeito chaminé, foi estabelecida a distância para a câmara de ar em relação à superfície da cabine de 5 cm. A distância de 5 cm foi definida de acordo com a metodologia do estudo de (Pizzatto *et al.*, 2021c). Pizzatto *et al.* (2021c) avaliaram o efeito chaminé em três distâncias (d) entre as placas estudadas na pesquisa e a Caixa 1. As distâncias testadas foram: 5, 7,5 e 10 cm. Os resultados atestaram que o desempenho térmico das fachadas ventiladas testadas é invariável com d . Portanto, optou-se por utilizar o $d = 5$ cm.

Para simular adequadamente o efeito chaminé, a câmara de ar foi mantida aberta em suas extremidades inferior e superior, permitindo a circulação contínua de ar no sentido vertical, com a entrada de ar frio pela base e a saída de ar aquecido pela parte superior.

A estufa utilizada foi ajustada para temperatura constante de 85 °C, apresentando precisão de controle térmico da ordem de $\pm 3,9$ °C, considerando a variabilidade observada nos três ensaios realizados. Embora as temperaturas máximas mensuradas em fachadas na região, durante o verão, sejam da ordem de 70 °C, adotou-se 85 °C como condição mais severa, a fim de avaliar o desempenho do material sob cenário térmico extremo. A sala onde foram realizados os ensaios foi controlada com temperatura de 21 °C, para evitar variações nos dados.

Para a realização dos ensaios, a porta frontal da estufa foi removida, permitindo o acoplamento direto do aparato térmico à sua abertura.

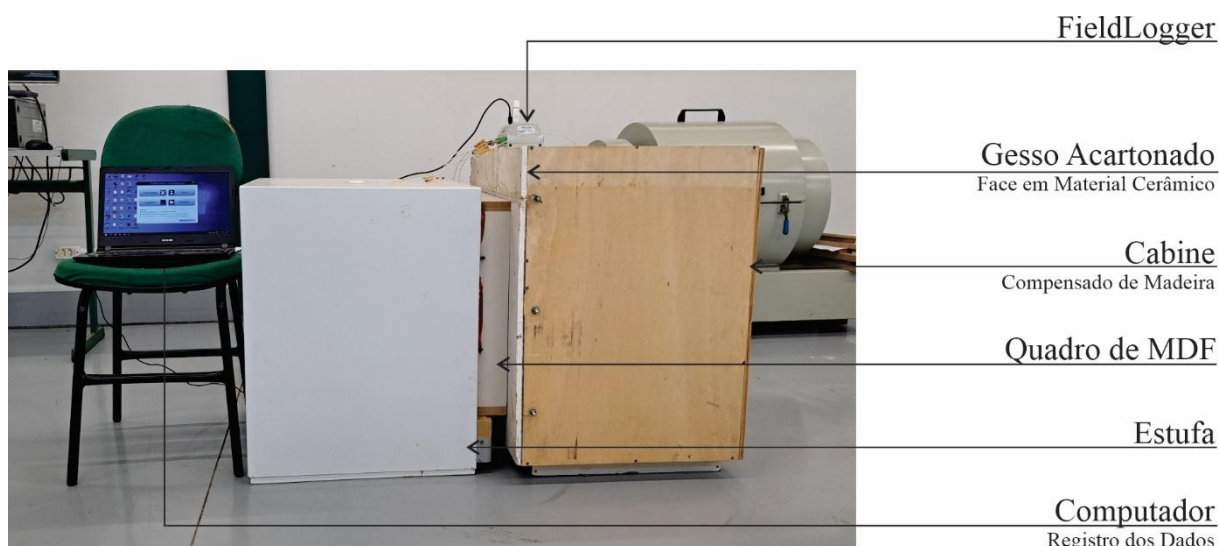
Com o objetivo de avaliar o desempenho térmico dos corpos de prova desenvolvidos na presente pesquisa foram executados três ensaios com o aparato térmico.

O primeiro ensaio denominado como ensaio térmico simulando uma fachada tradicional teve como finalidade simular as condições de uma fachada convencional, caracterizada pela ausência do efeito chaminé. Nesta configuração foram empregados a cabine em compensado de madeira e a estufa.

Com o propósito de eliminar as perdas de calor no sistema, foi acoplado um suporte em MDF (*Medium Density Fiberboard*) entre a estufa, posicionada frontalmente à sua abertura (boca da estufa), e a cabine em compensado de madeira, estando vedada por meio de lã de rocha e por selante refratário (silicone marca Tekbond®) nas extremidades dos componentes.

A Figura 25 mostra os componentes do aparato térmico utilizado no ensaio térmico simulando uma fachada tradicional.

Figura 25 - Componentes do aparato térmico utilizado no ensaio térmico simulando uma fachada tradicional: cabine em compensado de madeira e estufa.



Fonte: Do Autor (2026).

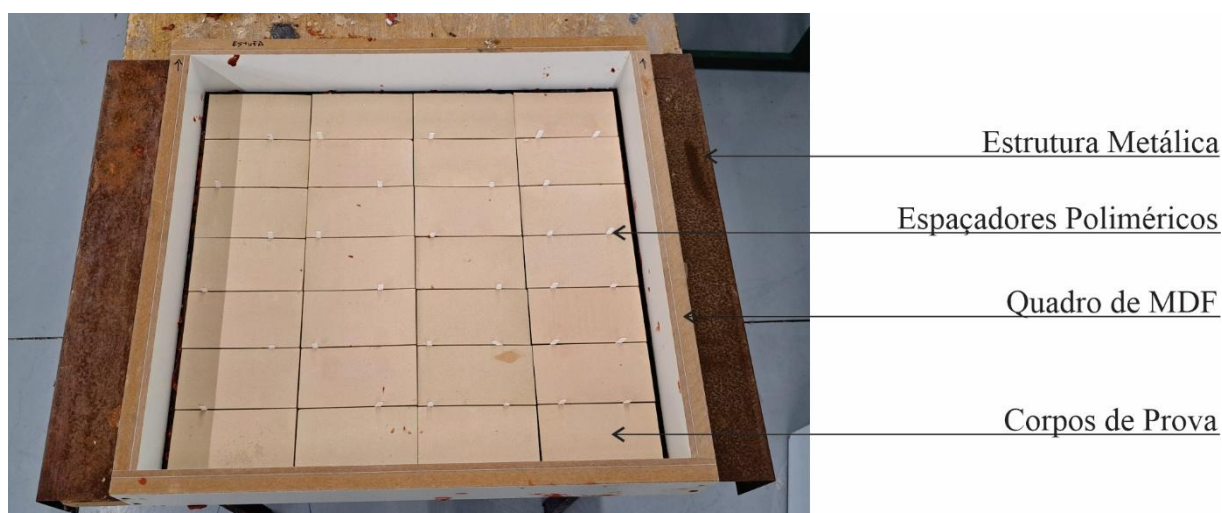
O segundo ensaio intitulado como ensaio térmico simulando uma fachada ventilada – REF, utilizou-se o sistema completo do aparato térmico composto pela cabine em compensado de madeira, a estrutura metálica de suporte e a estufa simulando um sistema de fachada ventilada, com a presença do efeito chaminé. Para este, foram utilizados os corpos de prova com a formulação referência fixados na estrutura metálica.

Por fim, o terceiro ensaio, denominado como ensaio térmico simulando uma fachada ventilada – Melhor Condição Experimental, também foi conduzido com o sistema completo do aparato térmico, sendo utilizados os corpos de prova com a melhor condição experimental.

Referente aos ensaios térmicos simulando uma fachada ventilada, a cabine em compensado de madeira foi acoplada à estrutura metálica de suporte e posicionada de frente a abertura (boca) da estufa. Com o propósito de eliminar as perdas de calor no sistema, foi acoplado um suporte em MDF (*Medium Density Fiberboard*) entre a estufa, posicionada frontalmente à sua abertura (boca da estufa), e a estrutura metálica de suporte, estando vedada por meio de lã de rocha e por selante refratário (silicone marca Tekbond®) nas extremidades dos componentes.

Para os ensaios foi padronizado 1 mm como junta de dilatação entre os corpos de prova e as juntas permaneceram abertas. Foram utilizados espaçadores poliméricos, para simular os espaçadores comerciais. A Figura 26 mostra os corpos de prova fixados na estrutura metálica de suporte com os espaçadores. Para a fixação dos corpos de prova na estrutura metálica de suporte foi empregado silicone de alta temperatura, do tipo silicone RTV (*Room Temperature Vulcanizing*), monocomponente, de cura acética, na cor vermelha, marca Tekbond® (*Saint-Gobain*).

Figura 26 - Corpos de prova (melhor condição experimental) fixados na estrutura metálica de suporte com os espaçadores poliméricos.

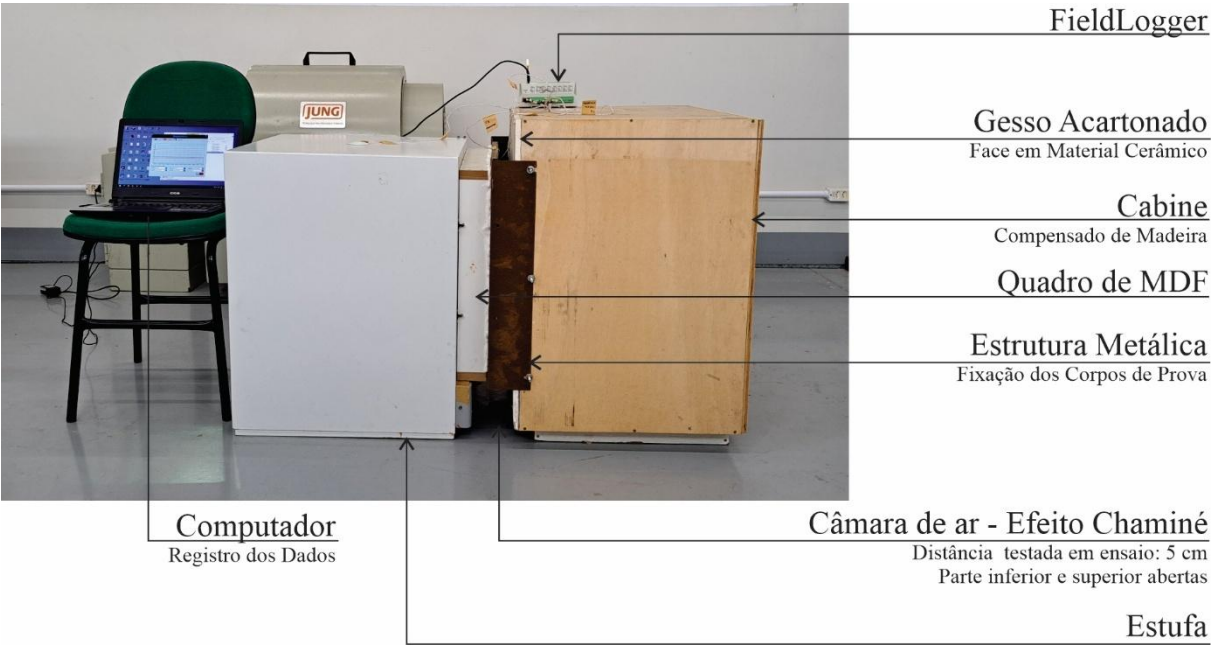


Fonte: Do Autor (2026).

Após a colagem, os corpos de prova permaneceram em repouso por um período de 24 h, a fim de assegurar a completa cura do material antes da realização dos ensaios.

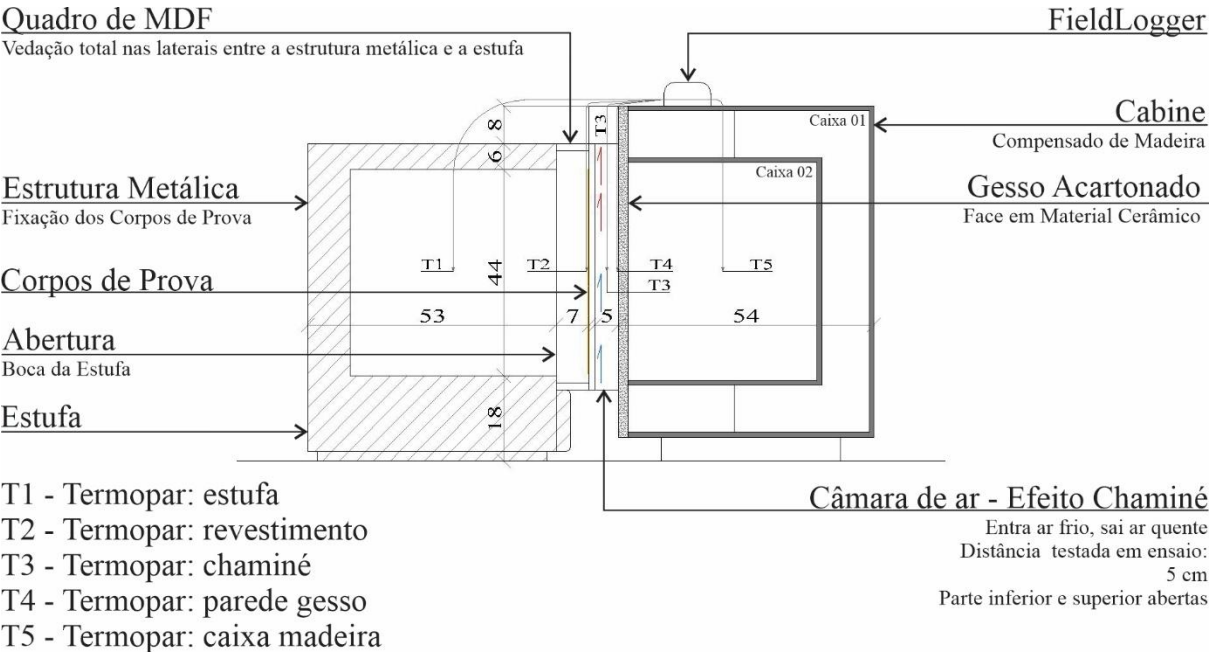
A Figura 27 mostra os componentes do aparato térmico e a Figura 28 apresenta o corte longitudinal mostrando o sistema completo do aparato térmico utilizado no ensaio térmico simulando uma fachada ventilada.

Figura 27 - Componentes do aparato térmico utilizado no ensaio térmico simulando uma fachada ventilada; cabine em compensado de madeira, estrutura metálica de suporte e estufa.



Fonte: Do Autor (2026).

Figura 28 - Corte longitudinal, referente ao sistema completo do aparato térmico: cabine em compensado de madeira, estrutura metálica de suporte e estufa.



Corte Longitudinal

Fonte: Do Autor (2026).

A medição das temperaturas foi realizada com cinco termopares tipo K, acoplados a um sistema de aquisição de dados FieldLogger – Data Logger Industrial Multicanais, da Novus. Cada ensaio conduzido teve duração de 30 minutos.

Previamente à realização dos ensaios, os cinco termopares tipo K foram calibrados. Cada um foi conectado ao FieldLogger – Data Logger Industrial Multicanais – Novus para coletar os dados da medição das temperaturas da calibração.

Num recipiente refratário, foi aquecido cerca de 200 mL de água, até o ponto de ebulição (100 °C). Foi mergulhado cada termopar na água. Com o FieldLogger – Data Logger foi medido a temperatura da água. Em um outro recipiente Bécker, foram adicionados cubos de gelo e água, obtendo-se temperatura de fusão da água (0 °C). Com o FieldLogger – Data Logger, foi medido a temperatura da água para cada termopar. Foi feito o gráfico da diferença de temperatura no termopar em função da temperatura da água. Utilizando os resultados do ajuste dos dados a uma reta do tipo $y = \alpha x + \beta$, pode-se encontrar o valor da temperatura de referência. A Tabela 12 demonstra as temperaturas de calibração dos 5 termopares.

Tabela 12 - Tabela de calibração dos termopares. Temperatura real e temperaturas dos termopares em °C.

T Real	T1 Estufa	T2 Revestimento	T3 Chaminé	T4 Parede Gesso	T5 Caixa Madeira
0	1,24	1,57	1,28	1,47	2,27
100	100,4	100,8	100,79	100,13	101,67

Fonte: Do Autor (2026).

Em seguida, definiu-se a localização dos cinco termopares conforme a Figura 28.

Para o ensaio simulando a fachada tradicional, foram utilizados três termopares, um termopar foi posicionado dentro da estufa, no centro, um termopar, no centro da parede de gesso acartonado e, por fim, um termopar, no interior da caixa 02, também posicionado na região central.

Para o ensaio simulando a fachada ventilada, foram utilizados cinco termopares, um termopar foi posicionado dentro da estufa, no centro, um termopar no centro do revestimento cerâmico avaliado, um termopar no centro da câmara de ar (região correspondente ao efeito chaminé), um termopar, no centro da parede de gesso acartonado e, por fim, um termopar, no interior da caixa 02, também posicionado na região central.

Primeiramente, foi conduzido o ensaio térmico simulando uma fachada tradicional, ou seja, sem a utilização da estrutura metálica de suporte que representa o sistema de fachada ventilada. O objetivo foi simular uma fachada convencional e estabelecer parâmetros comparativos. Nessa configuração, utilizaram-se três termopares. As medições de temperatura foram registradas por meio do sistema FieldLogger – Data Logger durante 30 min.

Na sequência, foi realizado o ensaio com os corpos cerâmicos da formulação REF, utilizados como amostras de referência para fins de comparação dos resultados obtidos. Para o ensaio foram utilizados os 5 termopares e para o efeito chaminé foi simulada a distância de 5 cm, com todos os dados das temperaturas sendo coletados por meio do FieldLogger – Data Logger durante 30 min.

Posteriormente, foi realizado o ensaio com a fachada ventilada, utilizando amostras com a formulação obtida como sendo a melhor condição experimental. Nessa etapa, os cinco termopares foram alocados conforme os pontos definidos previamente. Para simular o efeito chaminé, foi simulada a distância entre a câmara de ar e a superfície da cabine de 5 cm, com o monitoramento das temperaturas por meio do sistema FieldLogger – Data Logger durante 30 min.

Para análise dos dados extraídos dos termopares T2 - revestimento, T4 – parede de gesso e T5 – caixa madeira e registrados pelo FieldLogger – Data Logger, foi calculado a variação Δ que representa a redução de temperatura de cada termopar em relação a temperatura do termopar T1 – estufa, de acordo com a Equação 4.

$$\Delta T = \bar{T}_1 - \bar{T}_i \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

ΔT = variação média de temperatura (°C), que representa a redução de temperatura de cada termopar analisado em relação a temperatura do termopar T1 – estufa;

$\bar{T}_1$ = média aritmética da temperatura (°C) registrada pelo termopar T1, instalado na estufa;

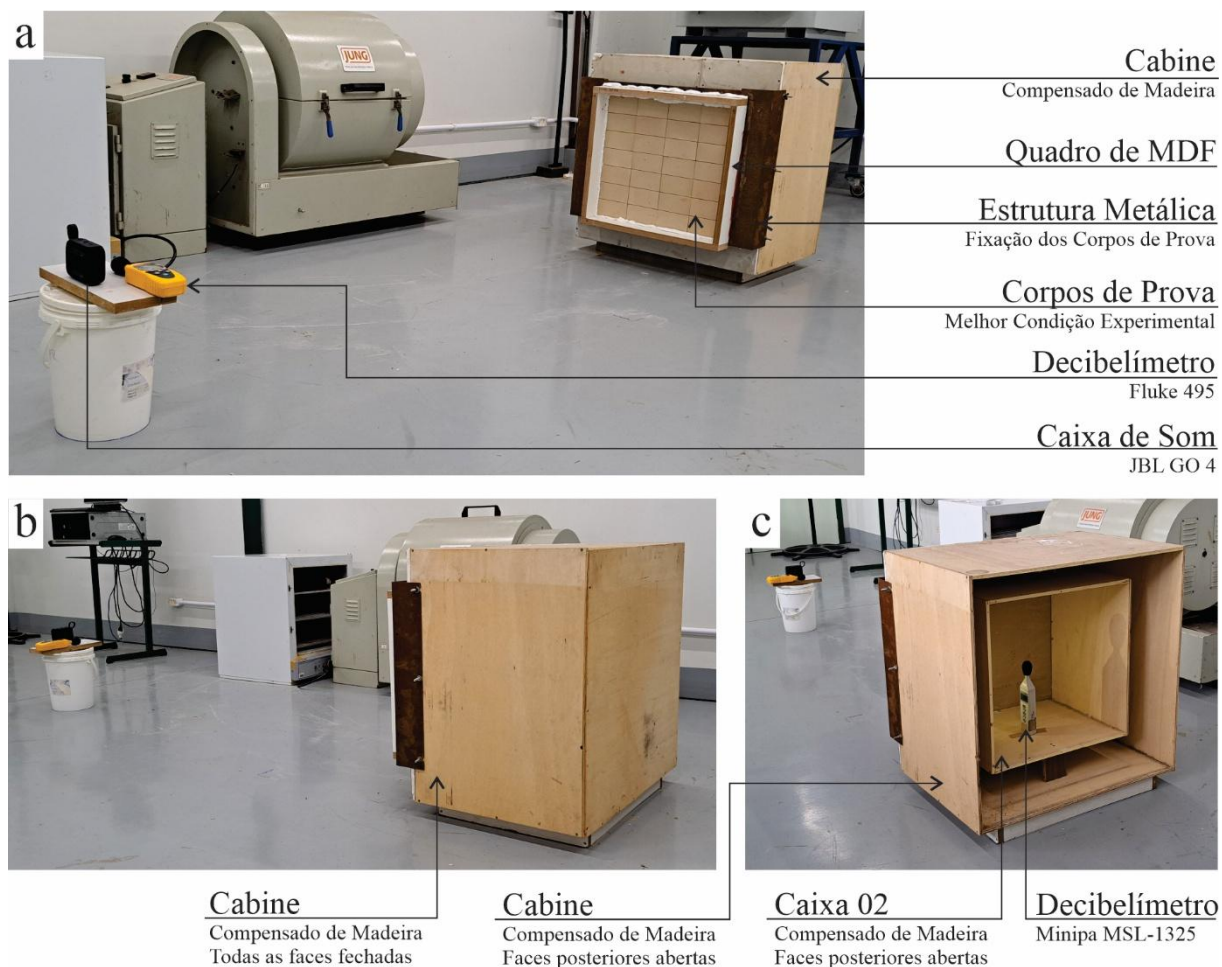
$\bar{T}_i$ = média aritmética da temperatura (°C) registrada pelo termopar analisado, sendo $i \in \{T2, T4, T5\}$, posicionados, respectivamente, no revestimento, na parede de gesso e na caixa de madeira.

4.2.3.4 Ensaio Acústico

O ensaio acústico foi conduzido com o objetivo de avaliar a capacidade de isolamento sonoro do material cerâmico poroso em estudo, no contexto de sua aplicação como componente de fachadas ventiladas. Para tal, foi projetado um aparato acústico experimental. O aparato acústico visa simular, de maneira controlada, condições próximas às reais de uso do sistema construtivo, permitindo a análise do desempenho acústico em situações práticas de aplicação.

O aparato acústico foi composto pela cabine em compensado de madeira, a estrutura metálica de suporte e o quadro em MDF, ambos os componentes desenvolvidos em Pizzatto *et al.* (2021c). Estes componentes foram utilizados nesta pesquisa como componentes do aparato térmico utilizado para a realização dos ensaios térmicos (4.2.3.3). Para aferição dos níveis de pressão sonora durante os ensaios acústicos, foram utilizados dois decibelímetros. Um decibelímetro digital Minipa MSL-1325, classificado como Tipo II, em conformidade com a norma IEC 651. Este equipamento é adequado para medições em ambientes com controle moderado de ruído, com faixa de medição baixa de 32 – 80 dB, média de 50 – 100 dB e alta de 80 – 130 dB e um decibelímetro digital Fluke 945. Este equipamento também atende aos requisitos de normas internacionais para instrumentos de medição de som com faixas de medição com ponderação A (ruído ambiental) de 30 a 130 dB e faixa de medição com ponderação C (ruído mecânico) de 35 a 130 dB. Para a reprodução dos arquivos de áudio utilizados nos ensaios acústicos, foi utilizada uma caixa de som portátil JBL GO 4, da marca Harman, com resposta de frequência entre 180 Hz – 20 kHz. A Figura 29 mostra o aparato acústico e seus componentes.

Figura 29 - Componentes do aparato acústico: A – cabine construída em compensado de madeira com a estrutura metálica de suporte fixada, decibelímetro Fluke 495 e caixa de som JBL GO 4, B – vista posterior mostrando a cabine com todas as faces fechadas, C – cabine com as faces posteriores abertas mostrando o decibelímetro Minipa MSL -1325.



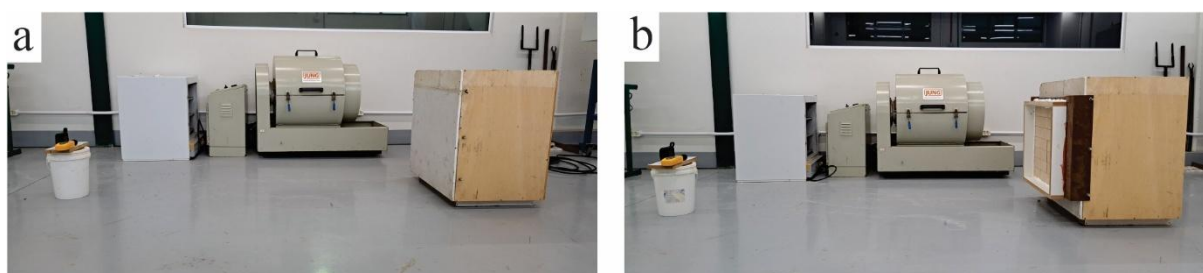
Fonte: Do Autor (2026).

Com o objetivo de avaliar o desempenho acústico dos corpos de prova desenvolvidos nesta pesquisa, foram realizados três tipos ensaios utilizando o aparato acústico.

O primeiro, denominado ensaio acústico simulando uma fachada tradicional, teve como finalidade representar as condições de uma fachada convencional, caracterizada pela ausência do efeito chaminé. Nessa configuração, foi empregada apenas a cabine construída em compensado de madeira, os decibelímetros e a caixa de som JBL. Este ensaio foi utilizado como referência comparativa para os demais, permitindo a avaliação do impacto da presença e da ausência do efeito chaminé no sistema. A Figura 30 (a) exemplifica o cenário do ensaio acústico simulando uma fachada tradicional.

O segundo ensaio, intitulado ensaio acústico simulando uma fachada ventilada – REF, foi conduzido com o sistema completo do aparato acústico, composto pela cabine de madeira, os decibelímetros, caixa de som JBL e a estrutura metálica de suporte, simulando uma fachada ventilada com a presença do efeito chaminé. Nesse caso, foram utilizados corpos de prova com a formulação de referência (REF), fixados à estrutura metálica. Por fim, o terceiro ensaio, denominado ensaio acústico simulando uma fachada ventilada – Melhor Condição Experimental, foi realizado com a mesma configuração estrutural do ensaio anterior, sendo empregados os corpos de prova que apresentaram a melhor condição experimental ao longo da pesquisa. A Figura 30 (b) mostra os cenários dos ensaios acústicos simulando uma fachada ventilada.

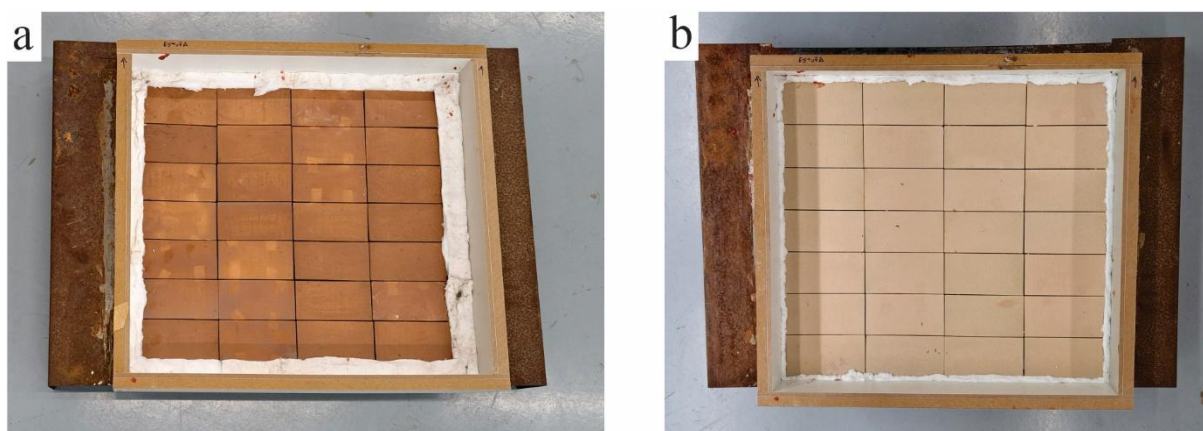
Figura 30 - Cenários representando os dois tipos de ensaios acústicos: A - ensaio acústico simulando uma fachada tradicional, B - ensaio acústico simulando uma fachada ventilada – REF e Melhor Condição Experimental.



Fonte: Do Autor (2026).

Os corpos de prova utilizados nos ensaios acústicos foram os mesmos utilizados no ensaio térmico com o aparato térmico (4.2.3.3). Foram utilizados num total de 56 amostras, sendo, 28 amostras da formulação referência (REF) e 28 corpos cerâmicos da melhor condição experimental como efeito de comparação. A Figura 31 mostra os corpos de prova utilizados no ensaio acústico.

Figura 31 - Corpos de prova utilizados no ensaio acústico A – corpos de prova da formulação referência (REF), B – corpos cerâmicos da melhor condição experimental.

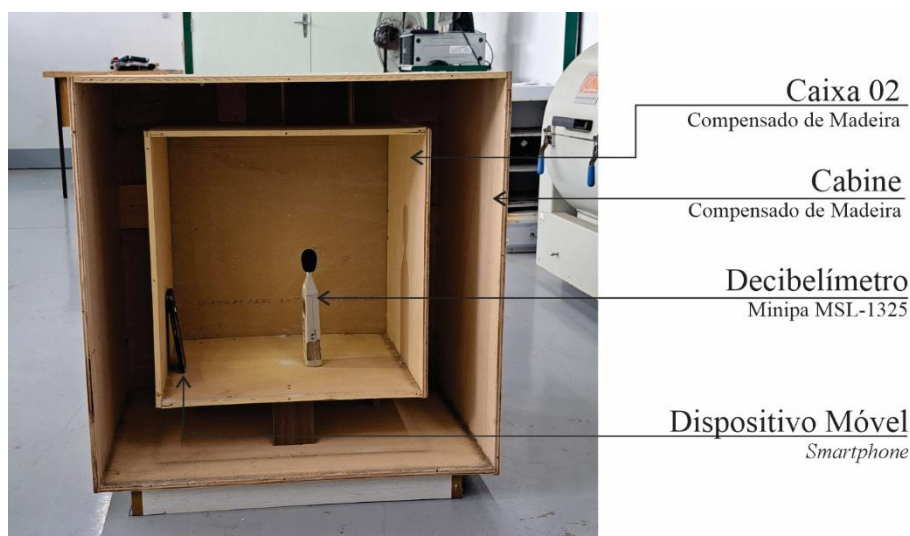


Fonte: Do Autor (2026).

A leitura dos dados de nível de pressão sonora foi realizada manualmente pela executora do ensaio em todas as condições avaliadas. Para os pontos de medição localizados fora da cabine em compensado de madeira, as leituras foram feitas diretamente nos decibelímetros, e os valores registrados manualmente em planilhas de controle.

No caso das medições realizadas no interior da cabine em compensado de madeira, adotou-se uma abordagem alternativa, devido à limitação de acesso simultâneo ao espaço durante a execução dos ruídos. Dois dispositivos móveis (*smartphones*) foram posicionados dentro da cabine. Um deles foi utilizado com o intuito de realizar a gravação em vídeo dos valores exibidos no decibelímetro durante os ensaios e o outro teve como a função fornecer iluminação adicional por meio do uso da lanterna integrada, garantindo visibilidade dos instrumentos de medição no ambiente interno da cabine. Posteriormente, os dados registrados na gravação foram extraídos manualmente e transcritos para as planilhas de dados, assegurando a rastreabilidade e uniformidade dos registros. A Figura 32 mostra a cabine em compensado de madeira com as faces posteriores abertas mostrando os equipamentos utilizados para a aferição dos dados de controle. Para a realização dos ensaios acústicos todas as faces da caixa 01 e 02 foram devidamente lacradas.

Figura 32 - Cabine em compensado de madeira com as faces posteriores abertas mostrando os equipamentos utilizados para a aferição dos dados de controle.



Fonte: Do Autor (2026).

Para a realização de todos os tipos de ensaios acústicos, foram selecionados cinco tipos de ruídos externos e três tipos de ruídos internos comumente identificados como fontes de incômodo sonoro por usuários de edificações localizadas em ambientes urbanos. A seleção dos ruídos foi definida pela autora da pesquisa e visou representar situações típicas de exposição sonora em contextos reais, permitindo uma avaliação representativa do desempenho de isolamento acústico do sistema de fachada ventilada.

Os arquivos de áudio utilizados nos ensaios foram obtidos de maneira aleatória a partir de fontes públicas disponíveis na *internet*, especialmente na plataforma *YouTube*, sendo todos de acesso livre e sem restrições de uso para fins acadêmicos e não comerciais. O tempo de reprodução dos áudios para cada ensaio foi de 30 s.

A Tabela 13 apresenta os títulos dos arquivos de áudio correspondentes aos ruídos externos e internos utilizados nos ensaios acústicos, conforme disponibilizados em plataformas públicas de compartilhamentos, indicando a faixa de frequência predominante de cada ruído sonoro e sua correspondente classificação em bandas de frequência. A classificação das bandas de frequência adotadas segue os dados apresentados em Liu, Chen e Zhang (2014), no qual as faixas correspondem a baixa frequência ($20 \leq f < 500$ Hz), média frequência ($500 \leq f < 2000$ Hz) e alta frequência ($2000 \leq f < 15.000$ Hz), respectivamente.

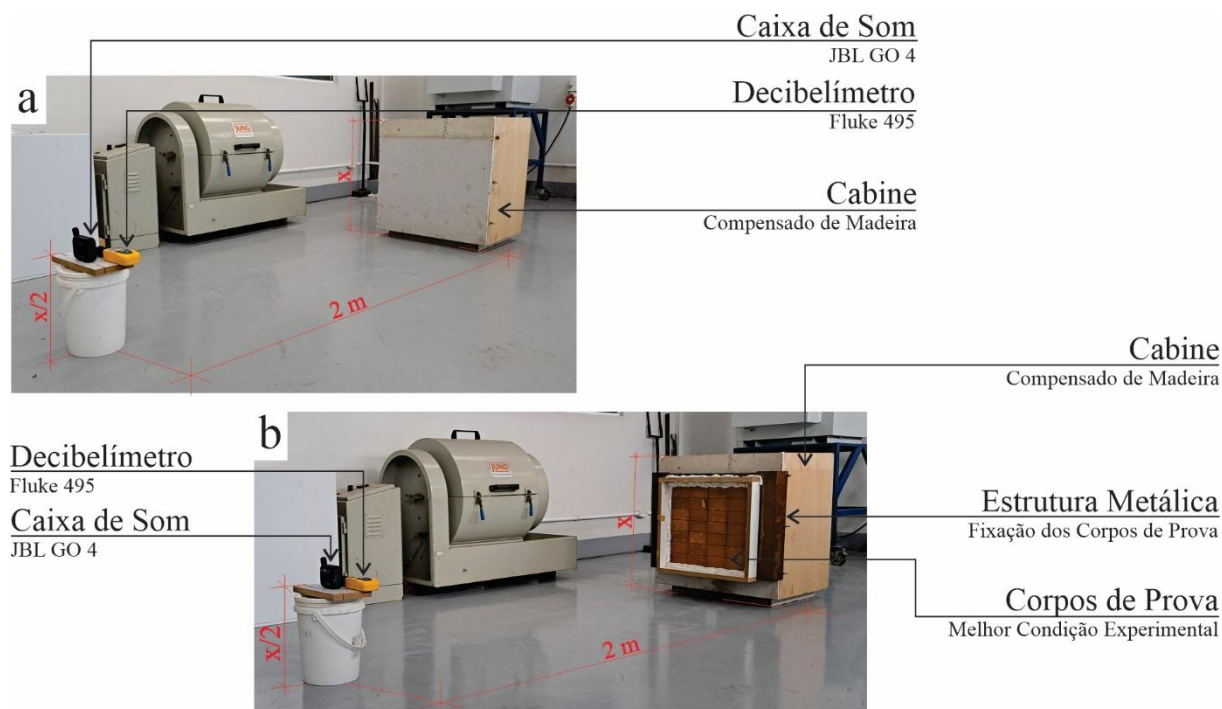
Tabela 13 - Títulos dos arquivos de áudio correspondentes aos ruídos externos e internos utilizados nos ensaios acústicos.

Categoria do Ruído	Tipos de Ruídos Reproduzidos	Faixa de Frequência Predominante	Banda	Referência
Ruídos Externos	Som Ambiente de Construção	160 – 1600 Hz Cravação de estacas	Baixa e média frequência	Fausti <i>et al.</i> , (2016)
	Som Ambiente Barulho de Trânsito Urbano	500 – 2500 Hz Ruído de Tráfego	Média (com extensão à alta)	Wang; Cai; Cui, (2019)
	Som Ambiente de Bar	500 – 1600 Hz Bares e pubs	Média frequência	Dimitrijević; Mijić; Šumarac Pavlović, (2020)
	Som Ambiente de Feira	500 – 2000 Hz Ruído antropogênico	Média frequência	Ramón-Turner <i>et al.</i> , (2025)
	Som Ambiente de Crianças Brincando	500 – 4000 Hz Pátio, playground, quadra	Média e alta frequência	Kemp <i>et al.</i> , (2014)
Ruídos Internos	Som Ambiente de Festa	50 – 3000 Hz Eventos festivos	Baixa e média frequência (com extensão à alta)	Ballesteros; Fernández; Ballesteros, (2015)
	Som Ambiente Choro de Bebê	200 – 2000 Hz Choro infantil, quadros mais longos	Baixa e média frequência	Reggiannini <i>et al.</i> , (2013)
	Som Ambiente de Bateria	140 – 900 Hz, com extensão significativa até cerca de 3800 Hz	Média frequência (predominante)	Tronchin, (2005)

Fonte: Do Autor (2026).

Para a simulação dos ruídos externos, a fonte sonora (caixa de som JBL) foi posicionada frontalmente a cabine, a uma distância de 2,0 m e centralizada verticalmente em relação a face frontal, conforme ilustrado na Figura 33. Nesta condição, o desempenho acústico foi analisado a partir dos dados do decibelímetro Minipa MSL-1325, posicionado no interior da Caixa 02, a fim de comparar a redução do nível de ruído entre os três tipos de fachadas ensaiadas.

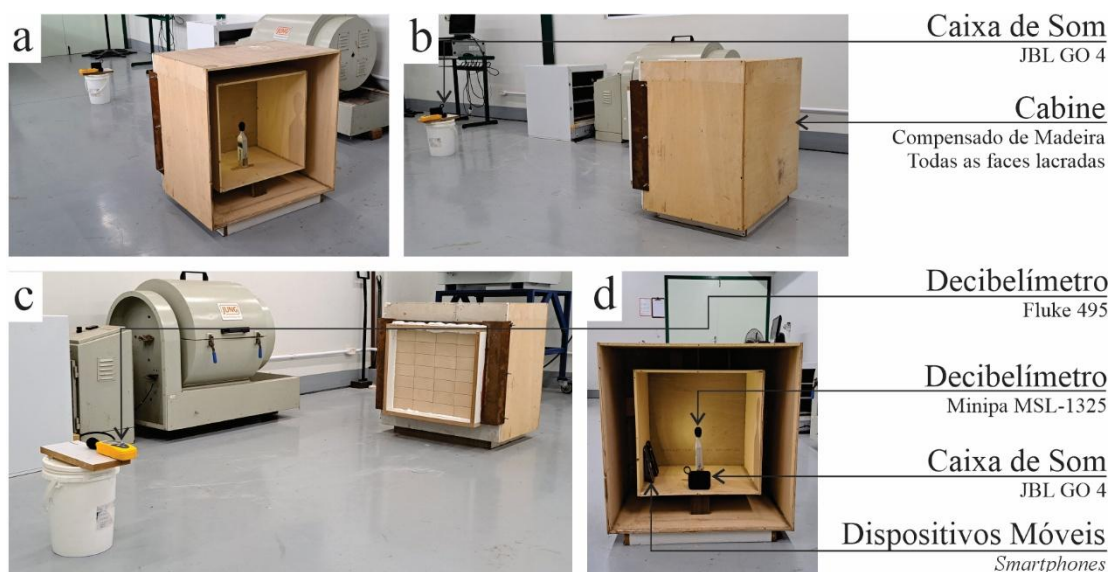
Figura 33 - Cenários dos dois tipos de ensaios mostrando as distâncias dos elementos que compõe o aparato acústico: A – ensaio acústico simulando uma fachada tradicional, B: ensaio acústico simulando uma fachada ventilada.



Fonte: Do Autor (2026).

Para a simulação com os ruídos internos, a mesma fonte sonora foi posicionada no interior da caixa 02, posicionada centralizada em relação a caixa 02. Nesta condição, o desempenho acústico externo foi avaliado a partir dos dados do decibelímetro Fluke 495, posicionado frontalmente à cabine, a fim de estimar o nível de ruído no entorno imediato da cabine, que simula uma edificação. O padrão de posicionamento da fonte sonora foi mantido para todos os ensaios realizados, tanto para o ensaio acústico simulando uma fachada tradicional, bem como para os dois ensaios acústicos simulando uma fachada ventilada. A Figura 34 ilustra as especificações relativas ao posicionamento da fonte sonora nos diferentes cenários de ensaio.

Figura 34 - Posição da fonte sonora (caixa de som JBL): A e B – ensaios acústicos com os ruídos externos, C e D – ensaios acústicos com os ruídos internos.



Fonte: Do Autor (2026).

Em todas as condições de medição, foram utilizados dois decibelímetros simultaneamente, ambos devidamente calibrados pelos seus fabricantes. O decibelímetro de referência teve por finalidade verificar a influência do volume sonoro e a consistência das diferenças observadas entre os tipos de fachada. Nos ensaios de ruído externo, o decibelímetro de referência foi o Fluke 495; nos ensaios de ruído interno, o Minipa MSL-1325. Um dos equipamentos foi posicionado externamente à cabine, a 2 metros de distância e centralizado verticalmente em relação a face frontal da cabine; e o outro alocado no interior da cabine, dentro da caixa 02, centralizado, conforme mostra a Figura 34.

A distância de 2,0 m adotada para o decibelímetro externo, foi definida seguindo o critério normativo da ABNT NBR ISO 16283-3:2021 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021), que estabelece a medição do nível de pressão sonora externo com o microfone posicionado a 2,0 m da fachada em avaliações de isolamento acústico de fachadas.

Por meio dos ensaios com o aparato acústico, foram aferidos os níveis de pressão sonora em dois sentidos: do ambiente externo para o ambiente interno e do ambiente interno para o externo, possibilitando uma avaliação do desempenho no isolamento acústico. Para o ensaio acústico simulando uma fachada tradicional o objetivo foi estabelecer uma condição de referência para os sistemas não ventilados, ou seja, sem o efeito chaminé, possibilitando uma análise comparativa com os resultados alcançados nos ensaios simulando uma fachada

ventilada. No caso dos ensaios acústicos simulando fachadas ventiladas, os resultados permitiram a comparação entre a formulação de referência (REF) e o corpo cerâmico poroso com a melhor condição experimental. Os dados obtidos contribuem para a análise do desempenho do material poroso desenvolvido na pesquisa em atender os requisitos de conforto acústico em edificações.

Para a realização de todos os ensaios com o aparato acústico, foi executado a definição e calibração prévia dos níveis sonoros da fonte, com o objetivo de garantir reprodutibilidade, comparabilidade dos resultados e controle das condições experimentais, sendo que, para a realização dos ensaios acústicos, foi executada a calibração dos níveis sonoros previamente aos ensaios com o intuito de definir os volumes adotados a serem padronizados em todas as medições. Foram definidos quatro níveis de volume da fonte sonora.

O volume 0 foi estipulado como a condição sem emissão sonora, correspondente ao ruído de fundo (RF) do ambiente. Ruído de fundo (RF) refere-se a qualquer som indesejado no ambiente, incluindo vozes humanas, ruído de equipamentos, sistemas de ventilação ou sons externos de tráfego ou construção (Bhandari; Tadepalli; Gopalakrishnan, 2024). O RF foi utilizado como ponto de referência para comparação com os demais níveis. O volume 30 foi padronizado como o nível sonoro equivalente a 65 dB(A). A adoção desse valor foi fundamentada em referências que indicam sua representatividade em contextos de uso cotidiano. De acordo com Dias, Santos e Mariano (2019), o nível habitual da fala é da ordem de 60 dB, podendo alcançar aproximadamente 65 dB em ambientes como salas de aula. De acordo com Carvalho, Pedreira e Aguiar (2005), o eixo hipotálamo-hipófise-adrenal é sensível ao ruído a 65 dB(A) em adultos. Ressalta-se, entretanto, que o nível de 65 dB(A) adotado nos ensaios não corresponde a um critério de conforto acústico para ambientes internos. Conforme a ABNT NBR 10152:2017 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017c), os valores de referência indicados para dormitórios e salas respectivamente são de 35 – 45 dB(A) e 40 – 50 dB(A) e referem-se aos níveis máximos admissíveis de ruído no interior das edificações em condições normais de uso. No presente estudo, o nível de 65 dB(A) foi adotado como nível de excitação sonora controlado da fonte externa, com a finalidade de assegurar adequada relação sinal-ruído (SNR) e permitir a avaliação do desempenho de isolamento acústico do sistema construtivo. A relação sinal-ruído (SNR) é a diferença entre o som desejado (tipos de ruídos reproduzidos) e o som indesejado (RF). A adoção de níveis de excitação superiores aos limites de conforto interno foi aplicada pois, a análise baseia-se na diferença entre os níveis sonoros, e não no atendimento direto aos critérios de conforto. Dessa maneira, o uso do nível de 65 dB(A)

possibilitou medições representativas, sem comprometer a interpretação dos resultados em relação aos limites normativos de desempenho.

O volume 50 foi definido como o nível sonoro equivalente a 82 dB(A), e foi adotado como uma condição de excitação sonora elevada, representativa em cenários reais de ruído externo intenso, tais como atividades de construção civil e tráfego urbano pesado. Singh e Mishra (2021) expõem que a OMS relatou que uma das principais fontes de poluição sonora é o tráfego rodoviário. Dados de ruídos de trajeto coletados em Peirce, Weiner e Vesilind (1998) mostram que os níveis sonoros chegam a 75 dB(A). Segundo Islam *et al.* (2024) os níveis mais altos de poluição sonora são encontrados em áreas comerciais (82 dB(A)), seguidas por áreas industriais (80,4 dB(A)), áreas mistas (81,3 dB(A)) e áreas residenciais (72,7 dB(A)). Desta maneira, o nível de 82 dB(A) adotado nos ensaios mostrou-se compatível com situações reais de ruído externo intenso, permitindo avaliar o desempenho de isolamento acústico do sistema construtivo. Além disso, a utilização desse nível teve como objetivo assegurar uma adequada relação sinal-ruído (SNR) e ampliar a faixa de análise do desempenho acústico do sistema.

O volume 100 foi adotado como o nível máximo de emissão sonora alcançado pela fonte sonora utilizada, e corresponde ao máximo volume operacional da caixa de som JBL. Esses quatro níveis foram adotados de maneira padronizada em todos os ensaios, tanto para medições com os ruídos externos, bem como com as medições com os ruídos internos com o aparato acústico.

Para a calibração foi empregado e reproduzido um sinal de ruído rosa (*pink noise*). Existem três tipos básicos de ruído na natureza, o ruído branco, o ruído rosa e o ruído marrom. O ruído rosa (ruído 1/f) se distribui aleatoriamente na faixa de baixa frequência com densidade espectral $S(f)$ proporcional a $1/f^\gamma$, com expoente γ igual a 1 (Nigg *et al.*, 2024; Zhou *et al.*, 2012). O ruído rosa é um sinal aleatório, caracterizado por uma diminuição na intensidade à medida que a frequência aumenta (Rijmen; Wiersema, 2024). O ruído rosa é encontrado em sistemas biológicos (frequência cardíaca humana, DNA), astronômicos (emissões de quasares), cognitivos (cognição humana) e geofísicos (vazão de rios) (Zhou *et al.*, 2012). Em razão dessa característica espectral, o ruído rosa pode ser empregado em ensaios acústicos e medições de isolamento sonoro.

Inicialmente, o decibelímetro digital Fluke 945 foi posicionado a uma distância de 2 m da caixa de som JBL Go 4, em alinhamento frontal com o centro da caixa de som. Em seguida, a fonte sonora (caixa de som JBL) foi comandada via conexão *Bluetooth* por um computador, sendo reproduzido ruído rosa contínuo por um período de 30 s, mantendo-se constantes as condições ambientais e o posicionamento dos equipamentos.

Com o sinal em reprodução, o volume da caixa de som foi gradualmente aumentado por meio do computador, responsável pelo comando da fonte sonora via *Bluetooth*, até que o decibelímetro registrasse o nível desejado de pressão sonora contínuo equivalente ponderado em A (nível equivalente ajustado à percepção humana).

Para o volume 30, o ajuste foi interrompido quando o decibelímetro indicou 65 dB(A), valor que passou a corresponder ao nível sonoro de referência para esse volume. Para o volume 50, o procedimento foi repetido até que o decibelímetro registrasse 82 dB(A). Para o volume 100, o volume da fonte foi elevado até atingir o máximo nível sonoro mensurável, correspondente a 100 dB(A), representando a condição de máxima emissão sonora da caixa de som utilizada. Após a obtenção de cada nível, o valor do volume correspondente foi registrado e mantido fixo, sendo posteriormente utilizado em todos os ensaios realizados com o aparato acústico.

Desta maneira, foram executados um total de 96 ensaios acústicos, sendo 60 ensaios com excitação por ruídos externos e 36 com excitação por ruídos internos. A Tabela 14 detalha todos os ensaios realizados com o aparato acústico com a finalidade de avaliar o desempenho acústico do sistema em estudo.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Fundação I do Instituto de Desenvolvimento Tecnológico (Idt), localizado no Iparque em período noturno, com o objetivo de reduzir a influência de ruídos ambientais não controlados.

Tabela 14 - Totalidade e descrição dos ensaios realizados com o aparato acústico com a finalidade de avaliar o desempenho acústico do sistema em estudo.

Tipo de ensaio	Categoria dos Ruídos	Tipos de Ruídos Reproduzidos	Volume	Total de ensaios
Ensaio Acústico Simulando uma Fachada Tradicional	Externo	Som ambiente de construção	Volume 0	04
			Volume 30	
			Volume 50	
			Volume 100	
		Som ambiente barulho de trânsito urbano	Volume 0	04
			Volume 30	
			Volume 50	
			Volume 100	
		Som ambiente de bar	Volume 0	04
			Volume 30	
			Volume 50	
			Volume 100	
		Som ambiente de feira	Volume 0	04
			Volume 30	
			Volume 50	
			Volume 100	
	Interno	Som ambiente de crianças brincando	Volume 0	04
			Volume 30	
			Volume 50	
			Volume 100	
		Som ambiente de festa	Volume 0	04
			Volume 30	
			Volume 50	
			Volume 100	
Som ambiente choro de bebê	Volume 0	04		
	Volume 30			
	Volume 50			
	Volume 100			
Som ambiente de bateria	Volume 0	04		
	Volume 30			
	Volume 50			
	Volume 100			
Total - Ensaio acústico simulando uma fachada tradicional				32
Externo		Volume 0	04	

Ensaio Acústico Simulando uma Fachada Ventilada - REF	Interno	Som ambiente de construção	Volume 30	04
			Volume 50	
			Volume 100	
		Som ambiente barulho de trânsito urbano	Volume 0	04
			Volume 30	
			Volume 50	
		Som ambiente de bar	Volume 100	04
			Volume 0	
			Volume 30	
		Som ambiente de feira	Volume 50	04
			Volume 100	
			Volume 0	
	Som ambiente de crianças brincando	Volume 30	04	
		Volume 50		
		Volume 100		
	Externo	Som ambiente de festa	Volume 0	04
			Volume 30	
			Volume 50	
		Som ambiente choro de bebê	Volume 100	04
			Volume 0	
Volume 30				
Som ambiente de bateria		Volume 50	04	
		Volume 100		
	Volume 0			
Total - Ensaio acústico simulando uma fachada ventilada - REF			32	
Ensaio Acústico Simulando uma Fachada Ventilada – Melhor Condição Experimental	Externo	Som ambiente de construção	Volume 0	04
			Volume 30	
			Volume 50	
		Som ambiente barulho de trânsito urbano	Volume 100	04
Volume 0				
			Volume 30	

Interno	Som ambiente de bar	Volume 50	04
		Volume 100	
		Volume 0	
		Volume 30	
	Som ambiente de feira	Volume 50	04
		Volume 100	
		Volume 0	
		Volume 30	
	Som ambiente de crianças brincando	Volume 50	04
		Volume 100	
		Volume 0	
		Volume 30	
	Som ambiente de festa	Volume 50	04
		Volume 100	
		Volume 0	
		Volume 30	
	Som ambiente choro de bebê	Volume 50	04
		Volume 100	
		Volume 0	
		Volume 30	
	Som ambiente de bateria	Volume 50	04
		Volume 100	
		Volume 0	
		Volume 30	
Total - Ensaio acústico simulando uma fachada ventilada – Melhor Condição Experimental		32	
Total de Ensaios com o Aparato Acústico		96	

Fonte: Do Autor (2026).

Após a realização dos ensaios, os dados foram transcritos manualmente para as planilhas de controle. Em seguida, foi executada a análise estatística dos dados obtidos nos ensaios acústicos, com o objetivo de quantificar o desempenho de isolamento sonoro obtido pelas diferentes configurações de fachada avaliadas, bem como estimar a incerteza associada às medições experimentais.

Inicialmente, para cada condição experimental analisada, considerando o tipo de fachada, a condição sonora (tipo de ruído reproduzido), o nível de volume da fonte sonora (30, 50 e 100)

e a condição de ponto zero (V_0), foram calculados a média aritmética do nível de pressão sonora, o número de medições e o desvio padrão amostral.

Na sequência, foi determinada a relação sinal-ruído (SNR) para cada condição experimental. A relação sinal-ruído (SNR) é definida como a diferença entre o sinal acústico de interesse, representado pelos diferentes tipos de ruído reproduzidos pela caixa de som e o ruído indesejado, correspondente ao ruído de fundo (RF) do ambiente experimental. Dessa maneira, O SNR foi obtido por meio da diferença entre as médias aritméticas dos níveis de pressão sonora medidos nas condições com emissão sonora e sem emissão sonora de acordo com a Equação 5. O valor resultante foi adotado como o ruído efetivo transmitido pelo sistema de fachada.

$$\Delta SNR = \bar{L}_{Vi} - \bar{L}_{V0} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

ΔSNR = diferença da relação sinal-ruído para cada condição experimental analisada;

$\bar{L}_{Vi}$ = média aritmética do nível de pressão sonora para cada condição experimental, sendo $i \in \{30, 50, 100\}$;

$\bar{L}_{V0}$ = média aritmética do nível de pressão sonora associada ao ruído de fundo do ambiente experimental (RF).

Considerando que as medições realizadas nas condições com emissão sonora e sem emissão sonora são estatisticamente independentes, a variância da diferença entre as médias foi estimada por meio da propagação das variâncias, de acordo com a Equação . Como a variância da média é expressa por meio da equação s^2/n , obtém-se a Equação . O erro-padrão da diferença das médias (SE) foi então obtido como a raiz quadrada da variância, quantificando a incerteza estatística associada à estimativa do ruído efetivo, conforme a Equação .

$$Var(\Delta SNR) = Var(\bar{L}_{Vi}) + Var(\bar{L}_{V0}) \quad \text{Equação 6}$$

$$Var(\Delta SNR) = \frac{S_{Vi}^2}{n_{Vi}} + \frac{S_{V0}^2}{n_{V0}} \quad \text{Equação 7}$$

$$SE(\Delta SNR) = \sqrt{\frac{S_{Vi}^2}{n_{Vi}} + \frac{S_{V0}^2}{n_{V0}}} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

$Var(\Delta SNR)$ = variância da diferença da relação sinal-ruído para cada condição experimental analisada;

$Var(\bar{L}_{Vi})$ = variância da média do nível de pressão sonora para o nível de volume i ;

$Var(\bar{L}_{V0})$ = variância da média do nível de pressão sonora do ruído de fundo (RF);

S_{Vi} = desvio padrão amostral das medições do nível de pressão sonora para o nível de volume i ;

S_{V0} = desvio padrão amostral das medições do nível de pressão sonora para o ruído de fundo (RF);

n_{Vi} = número total de medições realizadas para o nível de volume i ;

n_{V0} = número total de medições realizadas para o ruído de fundo (RF);

$SE(\Delta SNR)$ = erro-padrão da diferença da relação sinal-ruído para cada condição experimental analisada.

Para a construção dos intervalos de confiança, os graus de liberdade (df) foram estimados pelo método simples de aproximação, de acordo com a Equação .

$$df = n_{Vi} + n_{V0} - 2 \quad \text{Equação 9}$$

Após estimar o (df), ocorreu a determinação do valor crítico de t de todos os elementos correspondentes a cada condição experimental, que foi obtido a partir da tabela da distribuição t de *Student*, considerando o nível de confiança de 95 % e o teste bicaudal ($\alpha = 0,05, \alpha/2 = 0,025$). Em sequência, foi calculada a margem de erro (ME) associada ao ruído efetivo, por meio da Equação 2.

$$ME = t \times SE(\Delta SNR) \quad \text{Equação 2}$$

O intervalo de confiança de 95 % ($IC_{95\%}$) para o ruído efetivo para cada condição experimental analisada foi determinado seguindo a Equação 3. Esse intervalo representa a faixa

de valores estatisticamente compatíveis, considerando a variabilidade experimental e o nível de confiança adotado.

$$IC_{95\%} = \Delta SNR \pm ME \quad \text{Equação 3}$$

Com o objetivo de avaliar diferenças estatisticamente significativas entre os valores obtidos para os diferentes tipos de fachadas investigadas (fachada tradicional, fachada ventilada REF e Fachada ventilada melhor condição experimental) e os níveis de volume (30, 50 e 100 dB) analisados, foi aplicada a análise de variância bifatorial (ANOVA *two-way*). A ANOVA foi calculada considerando como fatores independentes o tipo de fachada e o nível de volume da fonte sonora, e como variável dependente o valor da média de ΔSNR (diferença da relação sinal-ruído para cada condição experimental analisada). As análises estatísticas foram realizadas no *software* Origin 2021, adotando como critério de significância estatística o valor de p , com nível de significância de 5 % ($\alpha = 0,05$), correspondente a um intervalo de confiança de 95 %. Desta maneira, valores inferiores a 0,05 indicaram a rejeição da hipótese nula, mostrando diferenças estatisticamente significativas entre os grupos analisados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados e analisados os resultados obtidos a partir da caracterização das formulações cerâmicas desenvolvidas, com ênfase nas propriedades físicas, mecânicas, térmicas e acústicas. A discussão é conduzida a partir da comparação entre as diferentes formulações testadas (F40, F45 e F50), incluindo a formulação de referência (REF), a fim de compreender o desempenho dos materiais em relação aos requisitos técnicos para aplicação em sistemas de fachadas ventiladas.

5.1 AVALIAÇÃO DO EFEITO DO TEOR DE CALCÁRIO NA MICROESTRUTURA DO MATERIAL OBTIDO

Com o objetivo de compreender a composição química das matérias-primas empregadas nas formulações cerâmicas desenvolvidas nesta pesquisa, foram realizadas análises por fluorescência de raios X (FRX).

Neste tópico também foram analisados os resultados para compreender o impacto da incorporação de calcário nas formulações cerâmicas. Foram realizadas análises químicas e térmicas das formulações. A caracterização química foi conduzida por fluorescência de raios X (FRX), e o comportamento térmico foi avaliado por meio da análise da curva de retração.

5.1.1 Caracterização Química das Matérias-primas

Na Tabela 15 está sendo apresentado os elementos constituintes de cada material.

Tabela 15 - Composição química (% em massa) das matérias-primas comerciais.

Elementos	Materiais		
	Pó Porcelânico	Argila Plástica – Bentonita	Calcário
SiO ₂	66,60	60,44	6,33
Al ₂ O ₃	19,59	19,67	1,66
TiO ₂	0,46	0,18	0,08
Fe ₂ O ₃	2,73	4,40	0,61
CaO	0,67	2,93	48,14
MgO	0,62	2,45	2,61
Na ₂ O	1,85	2,32	0,13
K ₂ O	2,70	0,59	0,52
P ₂ O ₅	—	0,10	—
MnO	—	< 0,05	—
Perda ao Fogo	4,78	6,89	39,92

Fonte: Do Autor (2026).

A composição química das matérias-primas utilizadas, pó porcelânico, bentonita e calcário revela características distintas. O pó porcelânico e a argila plástica bentonita apresentam elevados teores de sílica (SiO₂) e alumina (Al₂O₃). O pó porcelânico contém 66,60 % de SiO₂ e 19,59 % de Al₂O₃, enquanto a bentonita apresenta 60,44 % de SiO₂ e 19,67 % de Al₂O₃. O Dióxido de silício (SiO₂), mais conhecido como sílica, se apresenta em associações minerais que dão origem a feldspatos e é amplamente utilizada na indústria cerâmica como matéria-prima na formação de fase vítrea, além de ser utilizado em refratários e isolantes térmicos (Della *et al.*, 2006). A sílica cristalina pode estar presente sob a estrutura de quartzo, na qual os átomos adotam arranjos ordenados e repetitivos, formando estruturas tridimensionais periódicas (Martínez Angel *et al.*, 2009). A presença do quartzo foi confirmada por difração de raios X (DRX), conforme descrito na Figura 36 e Figura 37. A incorporação da alumina tem o intuito de intensificar a formação da fase cristalina como a mulita que é favorável em cerâmicas refratárias (Quevedo *et al.*, 2022). Os demais elementos podem ser caracterizados como quantidade residuais. O pó porcelânico apresenta baixa perda ao fogo e a bentonita apresenta classificação moderada.

O calcário é formado majoritariamente de cálcio (CaO), com 48,14 %. O elevado teor deste elemento favorece a formação de anortita, wollastonita e gehlenita, conforme detectado por difração de raios X, Figura 37. O calcário apresentou elevada perda ao fogo (39,92 %),

devido principalmente à liberação de CO_2 (dióxido de carbono), proveniente da decomposição do carbonato de cálcio (calcita), resultando na formação de CaO (óxido de cálcio) (Chávez Guerrero *et al.*, 2017; Erans; Manovic; Anthony, 2016; Escardino *et al.*, 2013; Karunadasa *et al.*, 2019; Torres *et al.*, 2020). A decomposição térmica da calcita ocorre entre 700 °C e o desaparecimento completo da fase de calcita ocorre por volta de 800 °C (KARUNADASA *et al.*, 2019).

5.1.2 Caracterização das Massas Cerâmicas

As caracterizações das massas cerâmicas foram realizadas por meio da caracterização química das formulações REF, F40, F45 e F50, visando identificar a composição elementar dos óxidos presentes e compreender a influência no comportamento durante a sinterização e no desenvolvimento das fases cristalinas. A Tabela 16 apresenta os elementos constituintes de cada formulação.

Para as formulações estudadas, verifica-se que as formulações REF, F40, F45 e F50 apresentam variações significativas na composição de óxidos refratários (Grambálová; Vadász; Petřík, 2013), que diminuíram gradativamente em quantidade com o aumento do calcário nas formulações, refletindo em diferentes proporções de matérias-primas e influenciando no comportamento térmico e estrutural dos corpos cerâmicos. A formulação REF, que foi utilizada como referência, apresenta alto teor de SiO_2 (63,75 %) e Al_2O_3 (25,95 %), características de sistemas altamente vitrificáveis e estáveis (Lima *et al.*, 2022). As formulações F40, F45 e F50 apresentam uma redução progressiva de sílica, de 46,71 para 41,95 % e a alumina, de 21,17 para 19,12 %. O cálcio, que atua como agente de fluxo, aumentou progressivamente de F40 para F50, 23,92 para 30,80 %, o que evidencia a crescente incorporação de calcário nas formulações. Estes elementos podem modificar o comportamento térmico do material, aumentando a retração linear, ou seja, aumentando a sinterabilidade da massa (Simão *et al.*, 2015).

Esta alteração composicional sugere uma transição do sistema sílica/alumina para um sistema com maior teor de cálcio, o que favorece a formação de fases como a anortita, wollastonita e gehlenita, conforme confirmado pelas análises de DRX (Figura 37). Para este trabalho, a intenção é aumentar a porosidade por meio da descarbonatação causada pelo aumento do teor de calcita, gerando pequenos poros.

Tabela 16 - Composição química das formulações REF, F40, F45 e F50 determinada por FRX.

Elementos	Formulações			
	REF	F40	F45	F50
SiO ₂	63,75 %	46,71 %	45,02 %	41,95 %
Al ₂ O ₃	25,95 %	21,17 %	19,00 %	19,12 %
TiO ₂	0,42 %	0,39 %	0,38 %	0,38 %
Fe ₂ O ₃	3,12 %	2,72 %	2,70 %	2,58 %
CaO	1,44 %	23,92 %	27,62 %	30,80 %
MgO	1,59 %	1,77 %	1,87 %	1,83 %
Na ₂ O	1,80 %	1,50 %	1,48 %	1,36 %
K ₂ O	1,46 %	1,14 %	1,12 %	1,09 %
P ₂ O ₅	0,09 %	0,06 %	0,06 %	0,08 %
Mn ₂ O ₃	0,06 %	0,05 %	0,05 %	0,05 %
Cl	0,02 %	0,08 %	0,12 %	0,15 %
SO ₃	0,26 %	0,37 %	0,43 %	0,46 %
ZnO	0,01 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %
SrO	0,01 %	0,10 %	0,12 %	0,13 %
Soma	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %

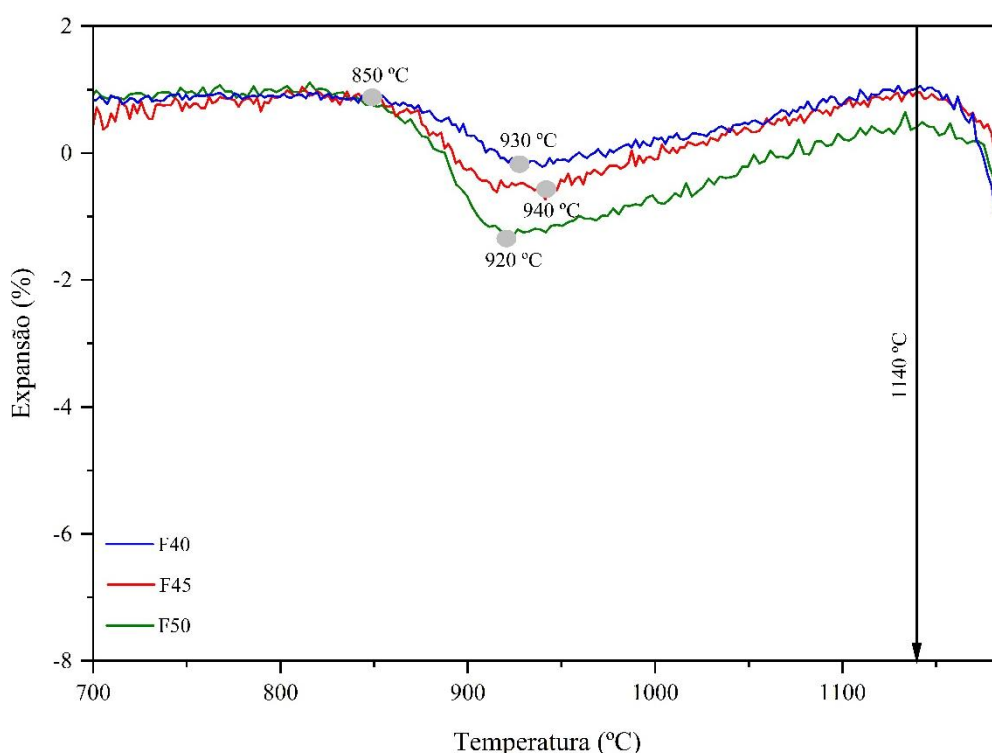
Fonte: Do Autor (2026).

5.1.3 Caracterização Térmica

As temperaturas de queima foram definidas experimentalmente, por meio do ensaio de dilatométrica óptica, conforme mostrado na Figura 35. A expansão térmica sofre alterações ao longo das diferentes faixas de temperatura. Observa-se que, até aproximadamente 850 °C, as formulações F40, F45 e F50 apresentam comportamento semelhante, com pequenas variações dimensionais. A partir dessa temperatura, inicia-se uma retração mais acentuada, sendo mais intensa para a formulação F50, seguida por F45 e F40. Pode-se observar que, a aproximadamente 850 °C para as formulações F40, F45 e F50, o material inicia o processo de sinterização e atinge a menor expansão em 920 °C para F50, 930 °C para F40 e 940 °C para F45. A partir das temperaturas de menor expansão, verifica-se a inversão do comportamento dimensional, caracterizada pelo aumento da expansão térmica, mais acentuado nas formulações com maior teor de calcário, até aproximadamente 1100 °C, seguida por nova retração decorrente da intensificação do processo de sinterização. A sinterização deve ocorrer por fase líquida considerando a presença de agentes de fluxo (CaO), conforme explanado anteriormente.

A fase líquida é transitória e pode fluir para as fases sólidas, desta maneira é inevitável em altas temperaturas a formação de poros (Zhao *et al.*, 2019). Na sinterização por fase líquida, um líquido está presente, seja por meio da fusão de um dos constituintes do material, seja como resultado de reações químicas entre os constituintes, sendo o responsável maior pela redução da porosidade (Silva; Alves Júnior, 1998).

Figura 35 - Curva de expansão linear das formulações.



Fonte: Do Autor (2026).

Ao atingir a mínima expansão durante o aquecimento (máxima retração), cada formulação volta a apresentar expansão térmica, indicando um aumento na porosidade do material. Ocorre o fenômeno de aprisionamento de gases gerados durante a queima, em especial a liberação de CO_2 oriundo da decomposição do carbonato de cálcio (CaCO_3) presente no calcário, que atua como agente porogênico (Escardino *et al.*, 2013; Rangel *et al.*, 2018). À medida que a temperatura aumenta, esses gases se expandem no interior do corpo cerâmico e também ocorre o fechamento dos poros. A porosidade fechada acompanha a evolução do processo de densificação, aumentando com a temperatura (Conte *et al.*, 2022). Essa expansão é favorecida pela presença de fases amorfas na microestrutura. Diversos estudos relatam a criação da distribuição bimodal do tamanho dos poros durante a calcinação. Durante a

calcinação, pequenos poros são formados devido à liberação de CO_2 . Os poros maiores podem estar presentes no material inicial e também podem ser formados no processo de sinterização, que impulsionada pela minimização da energia superficial, transforma poros menores em poros maiores (Erans; Manovic; Anthony, 2016).

A partir das curvas de expansão apresentadas na Figura 35, as temperaturas de queima selecionadas foram 1120, 1140 e 1160 °C. As temperaturas escolhidas situam-se após a completa sinterização, com o intuito de garantir a formação da fase líquida rica em CaO. A escolha das temperaturas visa avaliar o efeito do aumento gradual da temperatura na densificação no fechamento de poros e no equilíbrio entre retração e expansão, sem comprometer o desempenho físico e mecânico. Esse controle tem por objetivo estabelecer um equilíbrio no qual a resistência mecânica não seja comprometida por aumentos indesejáveis na porosidade residual.

No que se refere a Etapa 01 do trabalho, os resultados demonstram que o teor de calcário incorporado às formulações exerce influência direta e determinante na microestrutura dos corpos cerâmicos desenvolvidos. O aumento progressivo do teor de calcário nas formulações promoveu a formação de fases ricas em cálcio, como anortita, wollastonita e gehlenita. A decomposição térmica da calcita, associada à elevada perda ao fogo do calcário (39,92 %), resultou na liberação de CO_2 durante a sinterização, contribuindo para a geração de porosidade. A análise dilatométrica indicou que a presença de calcário altera o comportamento de retração e expansão das massas cerâmicas, resultando em sinterização por presença de fase líquida, aprisionamento de gases e formação de porosidade em temperaturas elevadas.

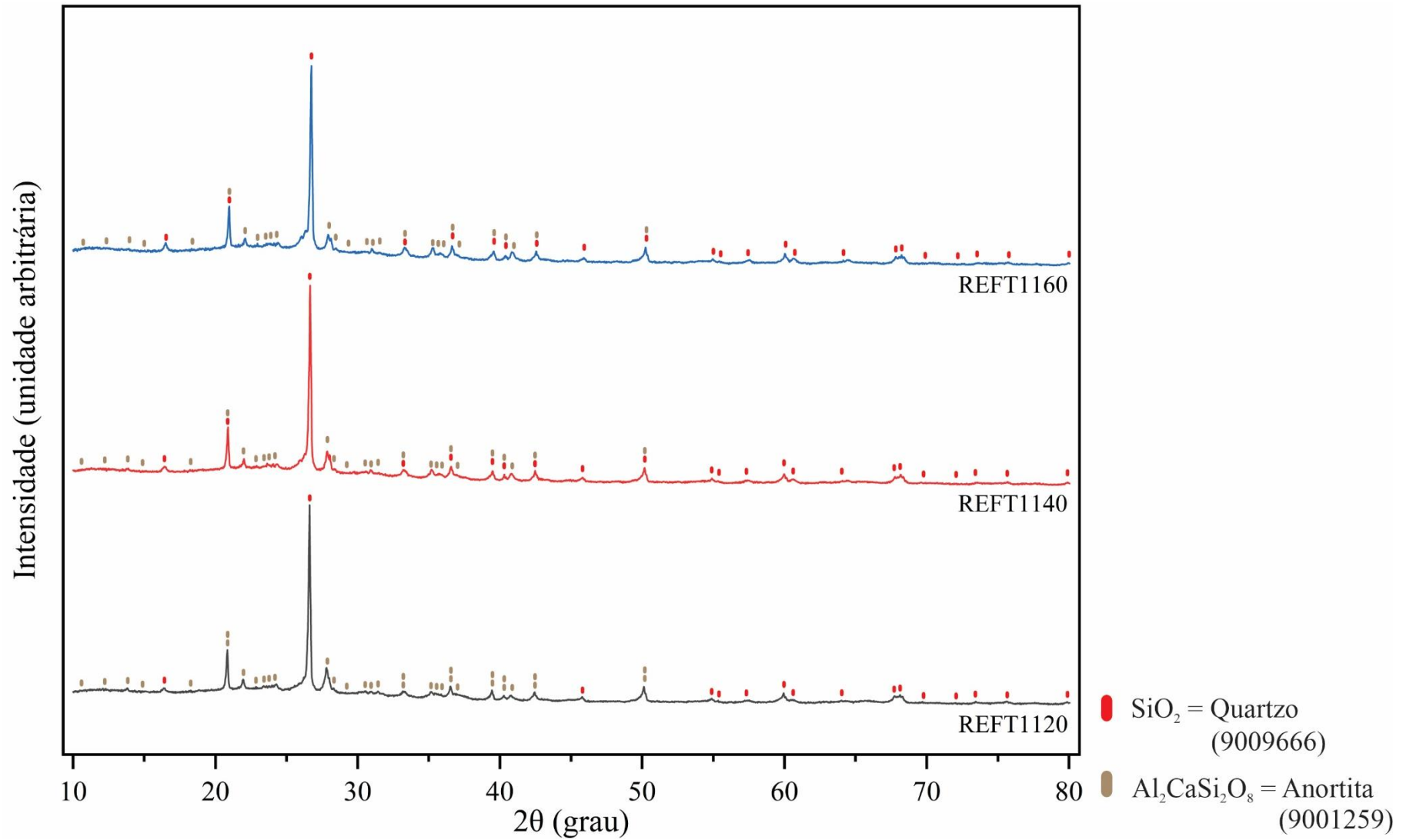
5.2 INVESTIGAÇÃO DO EFEITO DA MICROESTRUTURA NO COMPORTAMENTO MECÂNICO, TÉRMICO E ACÚSTICO DOS CORPOS DE PROVA OBTIDOS NAS CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS TESTADAS

A seguir, são apresentadas e discutidas as análises obtidas, das caracterizações mineralógica, física estrutural (porosidade), mecânica (flexão), térmica (condutividade térmica) e acústica (tubo de impedância), com o objetivo de avaliar a influência da microestrutura no desempenho dos corpos de prova, com o propósito de estabelecer relações entre a composição, a morfologia e as propriedades funcionais dos materiais cerâmicos desenvolvidos com o objetivo na aplicação em fachadas ventiladas.

5.2.1 Caracterização Mineralógica

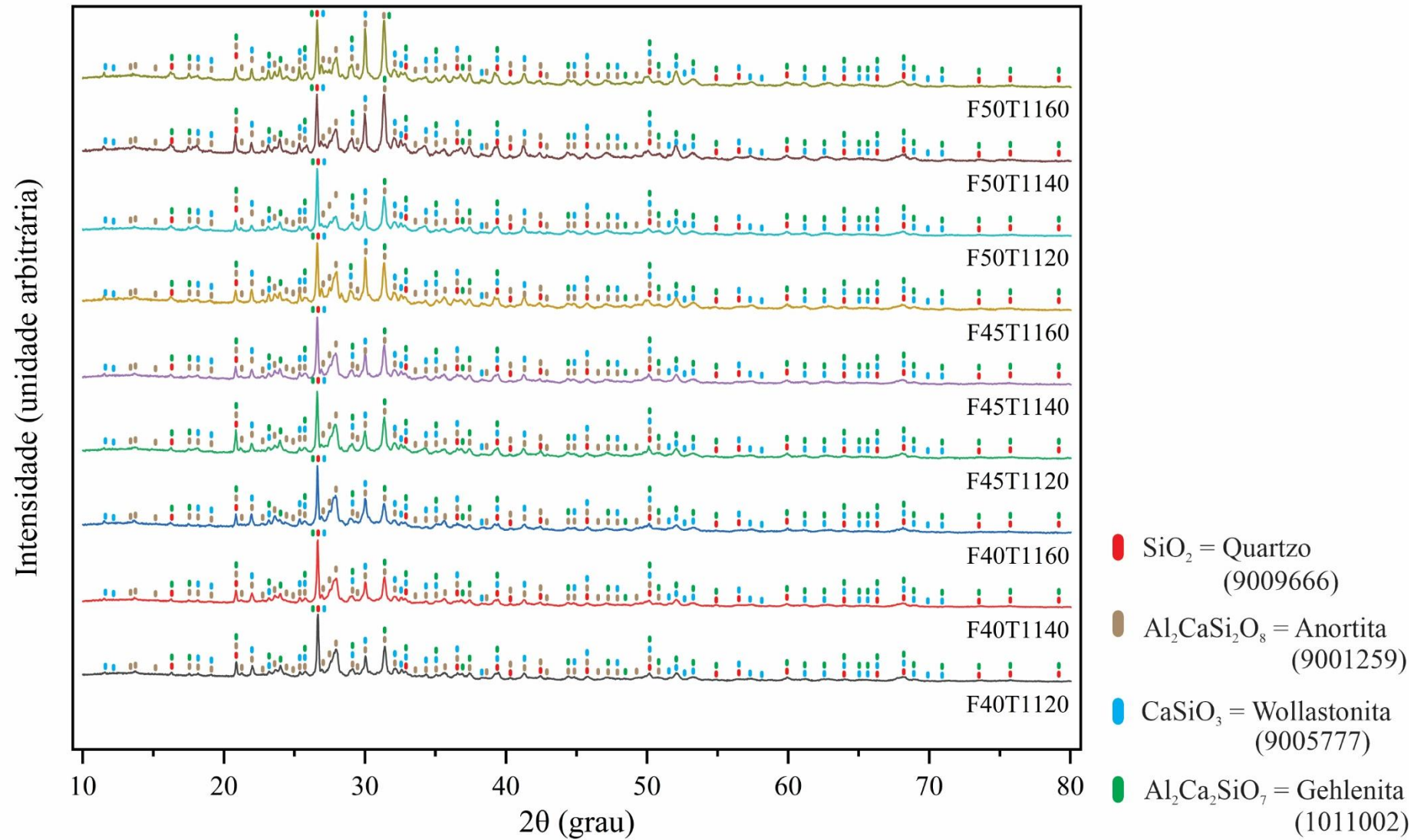
A análise mineralógica da formulação REF, submetida às temperaturas de queima de 1120, 1140 e 1160 °C, é apresentada na Figura 36, e a Figura 37 apresenta a análise das formulações F40, F45 e F50, também submetidas a essas mesmas temperaturas.

Figura 36 - Difratomogramas de raios X da formulação REF submetidas as temperaturas 1120, 1140 e 1160 °C.



Fonte: Do Autor (2026).

Figura 37 - Difratomogramas de raios X das formulações F40, F45 e F50 submetidas as temperaturas 1120, 1140 e 1160 °C.



Fonte: Do Autor (2026).

De acordo com os picos característicos, foi constatado a presença de quartzo (SiO_2) em todas as formulações.

Para as formulações REFT1120, REFT1140 e REFT1160 foram identificadas como mineral associado a anortita ($\text{Al}_2\text{CaO}_8\text{Si}_2$).

As formulações F40T1120, F40T1140, F40T1160, F45T1120, F45T1140, F45T1160, F50T1120, F50T1140 e F50T1160 indicam a evolução de fases no sistema $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$, com minerais associados anortita ($\text{Al}_2\text{CaO}_8\text{Si}_2$), wollastonita (CaO_3Si), e gehlenita ($\text{Al}_2\text{Ca}_2\text{O}_7\text{Si}$). De acordo com Mukherjee e Das (2013), a wollastonita, anortita e gehlenita são as principais fases cristalinas presentes no sistema $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$. O arranjo de fases, como wollastonita, anortita e gehlenita, é formada pela cristalização de fundidos localizados no campo de cristalização da wollastonita, pertencentes ao triângulo wollastonita-anortita-gehlenita (Ottonello *et al.*, 2013; Tulyaganov *et al.*, 2024). Esta combinação é característica de materiais cerâmicos pelo qual coexistem oxidação, decomposição e cristalização a altas temperaturas. O CaCO_3 contribui para a redução da temperatura de sinterização e promove a formação de uma nova fase mineralógica na massa queimada, a anortita. A anortita diminui o coeficiente de expansão térmica linear e aumenta a resistência mecânica do material (módulo de ruptura) das massas sinterizadas (Sokolar; Nguyen, 2022).

Este comportamento é coerente com a composição química das formulações, evidenciado na caracterização elementar, conforme Tabela 16.

A anortita é um mineral baseado no sistema alumina-sílica; é o primeiro composto ternário, que funde congruentemente a 1553°C . É obtida a alta temperatura a partir de misturas de caulim e carbonato de cálcio, minerais estes encontrados nas formulações em estudo. A anortita, na natureza, se apresenta como um mineral formador de rochas comum, de caráter triclinico, com densidade de $2,74 - 2,76 \text{ g/cm}^3$. A anortita pertence aos silicatos de estrutura formados por tetraedros SiO_4 e AlO_4 entre os quais estão localizados cátions Ca com números de coordenação 6 e 7. A presença de anortita aumenta a resistência e a estabilidade química do material e diminui o coeficiente de expansão térmica, eleva a resistência a choques térmicos e reduz a constante dielétrica (Rouabhia; Nemamcha; Moumeni, 2018; Tulyaganov *et al.*, 2024).

A wollastonita é um composto binário do sistema $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ com composição de 48,3 % em peso de CaO e 51,7 % em peso de SiO_2 (Merkit; Toplan; Toplan, 2018; Tulyaganov *et al.*, 2024). A wollastonita se caracteriza por uma estrutura fibrosa de cristais aciculares, apresentando baixa condutividade térmica e alta estabilidade dimensional, sendo usinável, biocompatível e relativamente barata. A wollastonita funde congruentemente a 1544°C e apresenta densidade de $2,86 - 3,09 \text{ g/cm}^3$. A wollastonita natural, bem como a artificial reduzem

a retração durante a secagem e a queima, promovem menor umidade e expansão térmica do produto queimado e aumentam a resistência à queima. A wollastonita compete com carbonatos, feldspato, cal e sílica como fonte de cálcio e sílica e é usada dependendo da formulação da massa cerâmica e do método de queima (Tulyaganov *et al.*, 2024).

O segundo composto ternário do sistema $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ é a gehlenita, que cristaliza na forma tetragonal e tem ponto de fusão de 1593 °C (Tulyaganov *et al.*, 2024) e apresenta densidade de 3,02 g/cm³ (Webmineral, 2026). A gehlenita pertence à família da melilita e forma soluções sólidas contínuas com a akermanita. Tanto a gehlenita quanto a akermanita são sorossilicatos. As unidades básicas de sua estrutura são formadas pelo compartilhamento de oxigênios dos vértices dos tetraedros, resultando em grupos diorto (Tulyaganov *et al.*, 2024).

A análise dos difratogramas revela a evolução da cristalinidade e das fases minerais nas formulações F40, F45 e F50 em relação ao aumento da temperatura de queima (1120, 1140 e 1160 °C). À medida que a temperatura aumenta, observa-se intensificação dos picos relativos às fases cristalinas, como anortita, wollastonita e gehlenita. As intensidades de reflexão na anortita aumentaram e as do quartzo diminuíram, indicando uma variação na quantidade da fase formada com o aumento da temperatura (Pizzatto *et al.*, 2021d). De acordo com os difratogramas apresentados na Figura 37, a anortita apresenta picos mais intensos e definidos influenciadas pela temperatura mais elevada. Este comportamento é o esperado para materiais cerâmicos com esta tipologia de composição. Zaiou *et al* (2016) apresentaram padrões de difração de raios X de amostras de anortita sinterizadas em diferentes temperaturas, pela qual atesta a evolução no número de intensidade dos picos de difração com o aumento da temperatura (aumento de cristalinidade).

5.2.2 Propriedades Físicas e Microestruturais

A Tabela 17 apresenta as médias dos resultados experimentais de densidade aparente a seco, densidade real e porosidade total dos corpos de prova para as formulações em estudo, mostrando a influência do teor de calcário e da temperatura de queima.

Tabela 17 - Resultados do ensaio de densidade aparente (g/cm^3), densidade real (g/cm^3) e de porosidade total (%) para teor de calcário versus temperatura de queima para as formulações em estudo.

Formulação	Propriedade	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)		
		1120	1140	1160
REF	Densidade Aparente (g/cm^3)	$2,34 \pm 0,01$	$2,32 \pm 0,04$	$2,33 \pm 0,04$
	Densidade Real (g/cm^3)	$2,68 \pm 0,01$	$2,65 \pm 0,00$	$2,64 \pm 0,01$
	Porosidade Total (%)	$12,98 \pm 0,52$	$12,43 \pm 1,62$	$12,17 \pm 1,14$
F40	Densidade Aparente (g/cm^3)	$1,70 \pm 0,01$	$1,70 \pm 0,01$	$1,70 \pm 0,01$
	Densidade Real (g/cm^3)	$2,84 \pm 0,00$	$2,85 \pm 0,00$	$2,85 \pm 0,00$
	Porosidade Total (%)	$40,26 \pm 0,23$	$40,29 \pm 0,35$	$40,42 \pm 0,19$
F45	Densidade Aparente (g/cm^3)	$1,66 \pm 0,01$	$1,65 \pm 0,01$	$1,64 \pm 0,01$
	Densidade Real (g/cm^3)	$2,89 \pm 0,00$	$2,88 \pm 0,00$	$2,91 \pm 0,01$
	Porosidade Total (%)	$42,69 \pm 0,51$	$42,84 \pm 0,35$	$43,82 \pm 0,50$
F50	Densidade Aparente (g/cm^3)	$1,60 \pm 0,01$	$1,59 \pm 0,01$	$1,58 \pm 0,01$
	Densidade Real (g/cm^3)	$2,95 \pm 0,00$	$2,96 \pm 0,01$	$2,96 \pm 0,00$
	Porosidade Total (%)	$45,88 \pm 0,48$	$46,41 \pm 0,29$	$46,57 \pm 0,18$

Fonte: Do Autor (2026).

Os materiais de isolamento térmico têm demonstrado grande potencial na construção civil. Esses materiais apresentam alta porosidade, resultando em materiais leves (Suthabanditpong *et al.*, 2019). Os dados da Tabela 17 mostram que, à medida que o teor de calcário aumenta nas formulações, ocorre a redução na densidade. As formulações sem a incorporação de calcário (REF) apresentam maior densidade quando comparadas com todas as formulações estudadas. A partir dos dados é possível identificar que as maiores densidades aparentes ($\approx 2,33\text{--}2,34 \text{ g/cm}^3$) e densidades reais ($\approx 2,64\text{--}2,68 \text{ g/cm}^3$) são observadas pela formulação REF, indicando uma estrutura mais compacta e com menor presença de poros. É possível concluir também que o efeito da temperatura não provocou alterações significativas na densidade aparente nos resultados de REF.

À medida que aumenta a incorporação de calcário nas formulações, observa-se uma redução progressiva da densidade aparente. Os menores valores de densidade aparente entre as formulações foram observados pela F50T1140 e F50T1160, com $1,59 \pm 0,01$ e $1,58 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$, respectivamente, fenômeno atribuído ao aumento da fase líquida e a liberação de CO_2 , resultando no aumento da porosidade. A introdução de calcário reduziu a densidade, beneficiando assim o design leve (Roy, 2025). Esses resultados estão em conformidade com o

objetivo deste trabalho, que visa o desenvolvimento de placas cerâmicas mais leves, adequadas para aplicação em fachadas ventiladas. A densidade relativamente alta pode limitar o uso de revestimentos porcelânicos em aplicações inovadoras, como para a fabricação de fachadas ventiladas (Pérez; Romero, 2014).

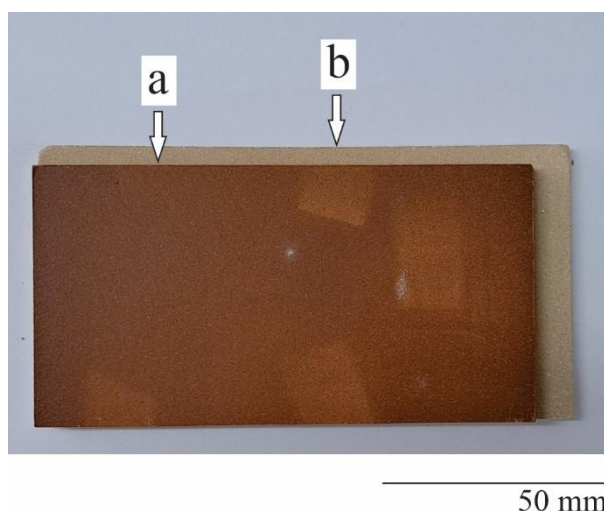
O efeito da temperatura também influencia nos resultados de densidade, pois favorece a formação de fase líquida durante a sinterização, intensificando a geração de poros. Para as formulações F45 e F50, o aumento da temperatura de queima favoreceu a redução da densidade aparente que passou de $1,66 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$ (F45T1120) para $1,64 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$ (F45T1160) e de $1,62 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$ (F50T1120) para $1,58 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$ (F50T1160). Para a F40, a densidade aparente manteve-se constante, com $1,70 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

Com a incorporação de calcário nas formulações, foi observado um pequeno aumento da densidade real, atingindo $2,96 \text{ g/cm}^3$ na formulação F50. Este comportamento corrobora com a presença de fases ricas em Ca, como gehlenita e wollastonita, conforme identificado nos difratogramas de raios X mostrados na Figura 37.

As formulações REF apresentaram porosidade total entre $12,17 \pm 1,14$ e $12,98 \pm 0,52 \%$, resultados inferiores aos observados nas formulações F40, F45 e F50, indicando uma sinterização eficiente e maior fechamento dos poros. O porcelanato é um material cerâmico que apresenta menor porosidade em comparação com outros revestimentos cerâmicos (Pérez; Romero, 2014). Para as formulações F40, F45 e F50, que receberam a incorporação de calcário, observa-se o aumento na porosidade total. À medida que aumenta teor de calcário, os valores de porosidade acompanham a tendência, passando de $40,26 \pm 0,23 \%$ para F40T1120 e $46,57 \pm 0,18 \%$ para a F50T1160. No entanto, pode-se dizer que a porosidade dos corpos de prova de F40, F45 e F50 é invariável com a temperatura, na faixa de temperatura avaliada. Na literatura, cerâmicas porosas são entendidas como materiais com porosidade superior a 30 % (Obada *et al.*, 2016).

A expansão dimensional verificada nos corpos de prova das formulações F40, F45 e F50, está associada ao aumento da porosidade gerada durante a sinterização, decorrente da liberação de CO_2 , resultando na redução da densidade aparente em relação à formulação REF, conforme pode ser observado na Figura 38. Na prática, esse comportamento resulta em maior área superficial por corpo cerâmico após a queima, permitindo a utilização de um menor número de peças das formulações F40, a F45 e a F50 para o revestimento de uma mesma área, quando comparado à formulação REF, o que representa redução de custo de material.

Figura 38 - Corpo de prova cerâmico após a sinterização, mostrando a menor contração dimensional associada ao aumento da porosidade nas formulações com incorporação de calcário: A – Formulação REF, B – Formulação F50.



Fonte: Do Autor (2026).

5.2.3 Caracterização Mecânica

Os resultados de resistência mecânica à flexão são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Resultados do ensaio de resistência mecânica à flexão (MPa) para teor de calcário versus temperatura de queima para as formulações em estudo.

Formulação	Temperatura (°C)		
	1120	1140	1160
REF	35,60 ± 3,74	36,16 ± 1,82	38,90 ± 8,80
F40	19,66 ± 2,99	20,63 ± 1,32	23,31 ± 4,87
F45	17,42 ± 0,78	19,83 ± 0,66	23,54 ± 3,68
F50	16,96 ± 2,33	20,39 ± 1,52	19,64 ± 1,83

Fonte: Do Autor (2026).

Os resultados de resistência mecânica à flexão (RMF) mostram que a formulação REF apresenta os maiores valores de resistência entre todas as amostras, variando de 35,60 ± 3,74 MPa (REFT1120) a 38,90 ± 8,80 MPa (REFT1160). Este desempenho está correlacionado à maior densidade aparente (2,33–2,34 g/cm³) e menor porosidade total (12,17–12,98 %), quando

comparado com as demais formulações em estudo. À medida que a porosidade do material aumenta, sua resistência mecânica diminui (Bragança; Bergmann, 2004; Pérez; Romero, 2014).

À medida que aumenta o teor de calcário nas formulações (F40, F45 e F50), observa-se redução progressiva da resistência mecânica, devido ao aumento da porosidade e a diminuição da densidade aparente. A formulação F40 apresentou RMF de $19,66 \pm 2,99$ MPa (F40T1120) a $23,31 \pm 4,87$ MPa (F40T1160), com pequeno aumento na resistência com o aumento da temperatura, possivelmente associada ao maior grau de cristalização (até 66,6 %) e presença de fases como wollastonita e gehlenita, conforme observado nos difratogramas de raios X das formulações.

A formulação F45 segue tendência semelhante, com valores de RMF entre $17,42 \pm 0,78$ e $23,54 \pm 3,68$ MPa, indicando sensibilidade à microestrutura porosa formada com o aumento do calcário. Já a formulação com maior teor de calcário (50 %), apresenta os menores valores de resistência à flexão, de $16,96 \pm 2,33$ MPa (F50T1140) a $19,64 \pm 1,83$ MPa (F50T1160). Esses resultados estão coerentes com os maiores índices alcançados na pesquisa para a porosidade total, atingindo até 46,57 %, e densidade aparente mais baixa ($1,58 \pm 0,01$ g/cm³), indicando que o aumento da porosidade gerada pelo calcário compromete a integridade mecânica da cerâmica.

A temperatura de queima influenciou pouco a resistência mecânica à flexão das amostras analisadas. Os melhores resultados de resistência mecânica foram alcançados em temperaturas mais elevadas (formulações REFT1160, F40T1160 e F45T1160). A explicação é que, com o aumento da temperatura, a fase contínua do material atinge maior densificação e apresenta maior resistência mecânica. É importante ressaltar que na temperatura 1140 °C também foram obtidos valores satisfatórios de resistência, com destaque para a formulação F50 T1140, que apresentou $20,39 \pm 1,52$ MPa. Este desempenho pode estar relacionado a uma microestrutura com porosidade e formação de fase líquida controladas, o que favorece a integridade mecânica do material, mesmo com alto teor de calcário.

Estes valores mostram-se adequados à aplicação da proposta, considerando os dados reportados na literatura. Pizzatto *et al.* (2021a) desenvolveram placas cerâmicas porosas a partir da incorporação de resíduo de vidro e lama de cal e avaliaram sua aplicação em fachadas ventiladas, obtendo valores de tensão de ruptura à flexão de 7,25 MPa. Pizzatto *et al.* (2021d) investigaram o efeito da composição e da temperatura de queima sobre a porosidade e a resistência à flexão de placas cerâmicas porosas obtidas a partir dos subprodutos basalto e lama de cal para uso em fachadas ventiladas e obtiveram valores de resistência à flexão de $5,1 \pm 1,3$ MPa. Claramunt e Ardanuy (2017) relataram o comportamento de placas cimentícias e as

propriedades cerâmicas dessas argilas. Esses materiais podem ser utilizados em sistemas de fachadas ventiladas, as quais devem suportar uma força mínima aplicada equivalente à ação do vento com pressão de $0,5 \text{ kN/m}^2$, considerando um fator de segurança de 1,5. Dessa maneira, placas quadradas com dimensões de $100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ devem apresentar resistência à flexão mínima de 9 MPa.

5.2.4 Caracterização Microestrutural

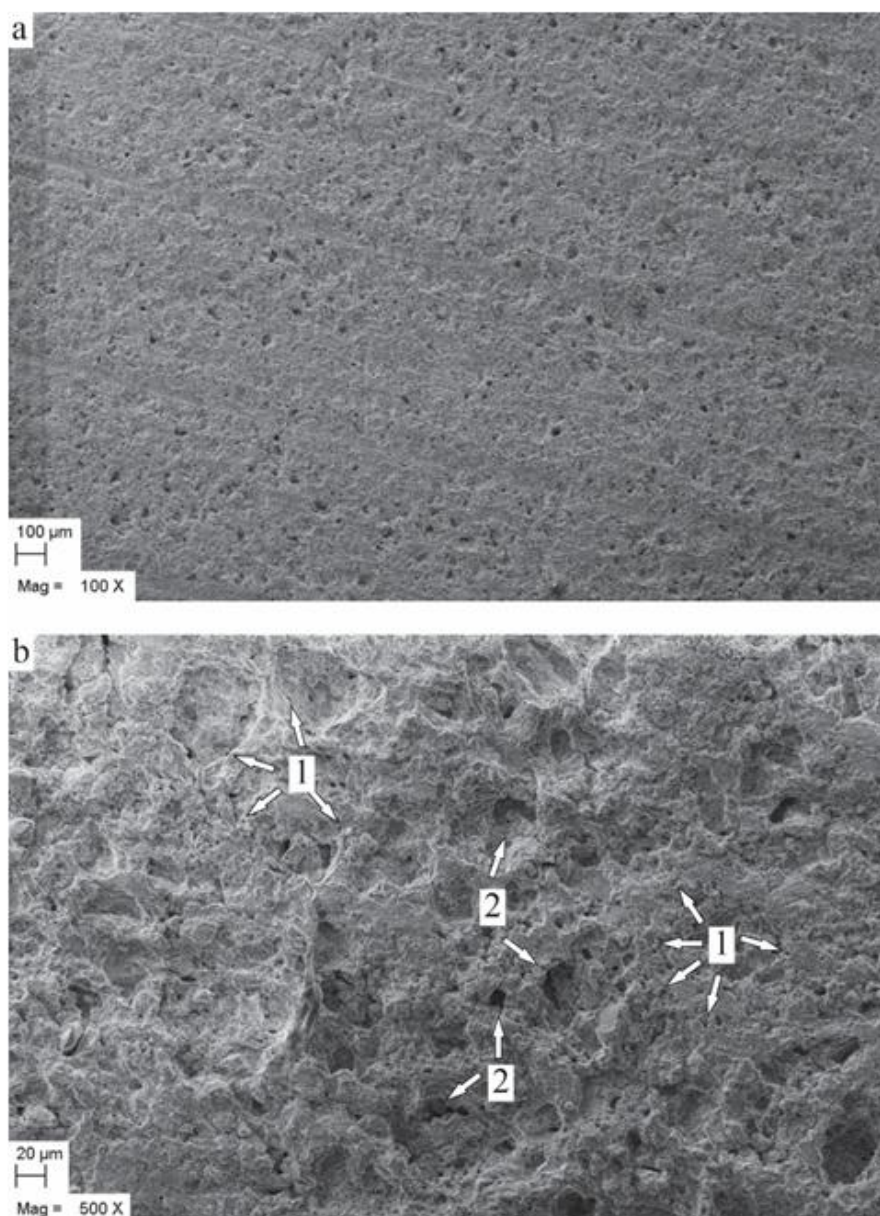
Com o objetivo de se analisar a porosidade do material, os corpos de prova foram rompidos e a superfície fraturada foi avaliada. Por meio das imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV), foi possível verificar a influência da composição e da temperatura na microestrutura do corpo cerâmico.

A sinterização é a alteração na forma e contração dos poros e o crescimento dos grãos que as partículas de CaO sofrem durante o aquecimento (Erans; Manovic; Anthony, 2016). Em suma, para as cerâmicas especialmente aquelas com CaO liberado pela decomposição de carbonatos como o calcário, a sinterização envolve três fenômenos interdependentes. No primeiro, ocorre a densificação da microestrutura, pelo qual as partículas se aproximam e os poros se contraem. No segundo, ocorre o fechamento de poros intermediários e a interconexão dos poros menores, contribuindo para a redução da porosidade aberta. No terceiro, ocorre o crescimento de grãos cristalinos, como anortita e wollastonita, promovendo a reorganização da fase sólida. Estas fases foram identificadas nas formulações (F40, F45 e F50) por meio da análise de difração de raios X (DRX), confirmando sua formação durante a sinterização.

A porosidade aberta é a que tem contato com a superfície externa do material; os poros são interconectados (vazios abertos interconectados). São poros resultantes do processo de descarbonatação, que são circulares e de tamanho semelhante. A porosidade fechada é a que se encontra dentro do material; os poros são isolados e irregulares, e residuais, provenientes do processo de compactação (prensagem) (Bennacer; Abahri; Belarbi, 2016; Pizzatto *et al.*, 2021d; Schuller; Bianchi; Aguiar, 2008; Sun *et al.*, 2025). Ambas as porosidades são importantes para diferentes aplicações do material na engenharia (Schuller; Bianchi; Aguiar, 2008).

A microestrutura do F50T1140 é mostrada na Figura 39. A microestrutura é homogênea, apresenta um elevado número de poros e bem distribuídos. A Figura 39 mostra dois tipos de poros, os poros residuais de formato irregular provenientes do processo de compactação (prensagem uniaxial) e os poros resultantes do processo de descarbonatação, que são circulares e de tamanho semelhante.

Figura 39 - Micrografia (MEV) de F50T1140: A - microestrutura do corpo cerâmico a 100× de aumento, indicando microestrutura com grande de poros, B - micrografia a 500× de aumento mostrando os diferentes tipos de poros identificados: (1) poros gerados pela decomposição do carbonato de cálcio, (2) poros residuais gerados pelo processo de conformação (prensagem).



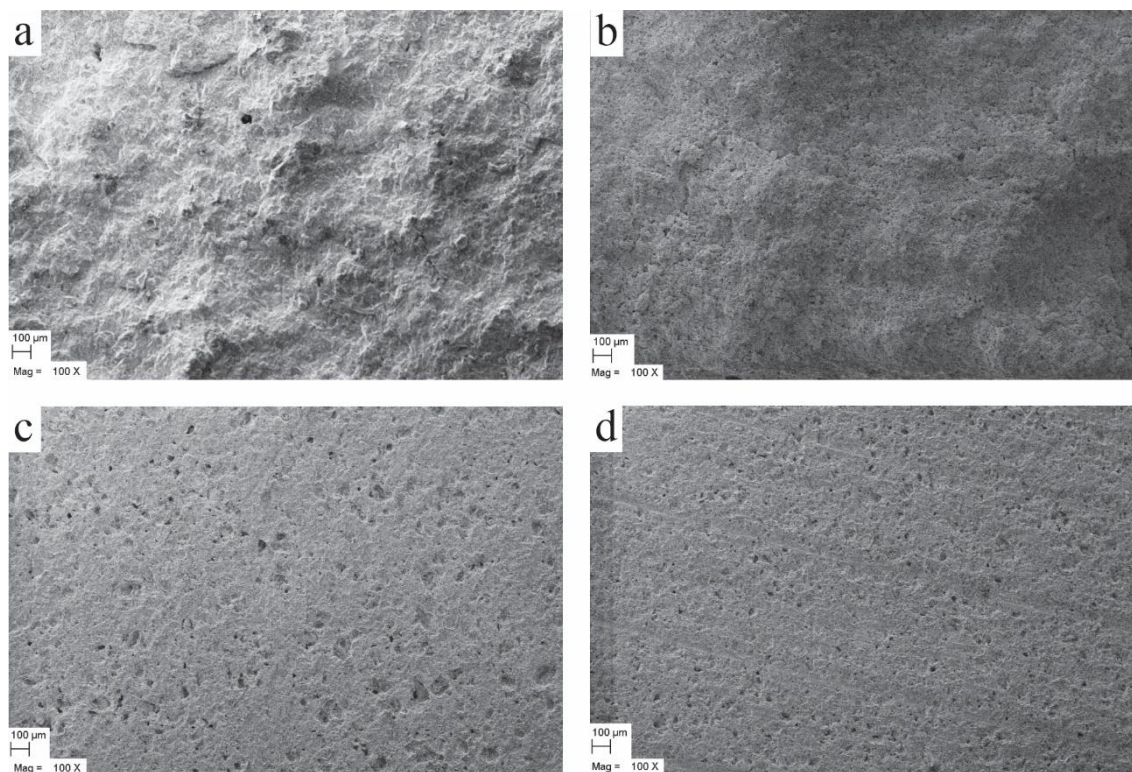
Fonte: Do Autor (2026).

Esta pesquisa aborda duas variáveis importantes nas formulações, a temperatura de queima e o teor de calcário, ambos com impacto direto na evolução da microestrutura do material cerâmico.

Com o objetivo de avaliar o teor de calcário sobre a morfologia e a distribuição dos poros em relação a temperatura de queima, foram realizadas análises por microscopia eletrônica de

varredura (MEV). A Figura 40 apresenta micrografias das formulações em estudo queimadas na temperatura 1120 °C.

Figura 40 - Micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) das formulações em estudo queimadas a 1120 °C: A – REF, B - F40, C - F45, D - F50.



Fonte: Do Autor (2026).

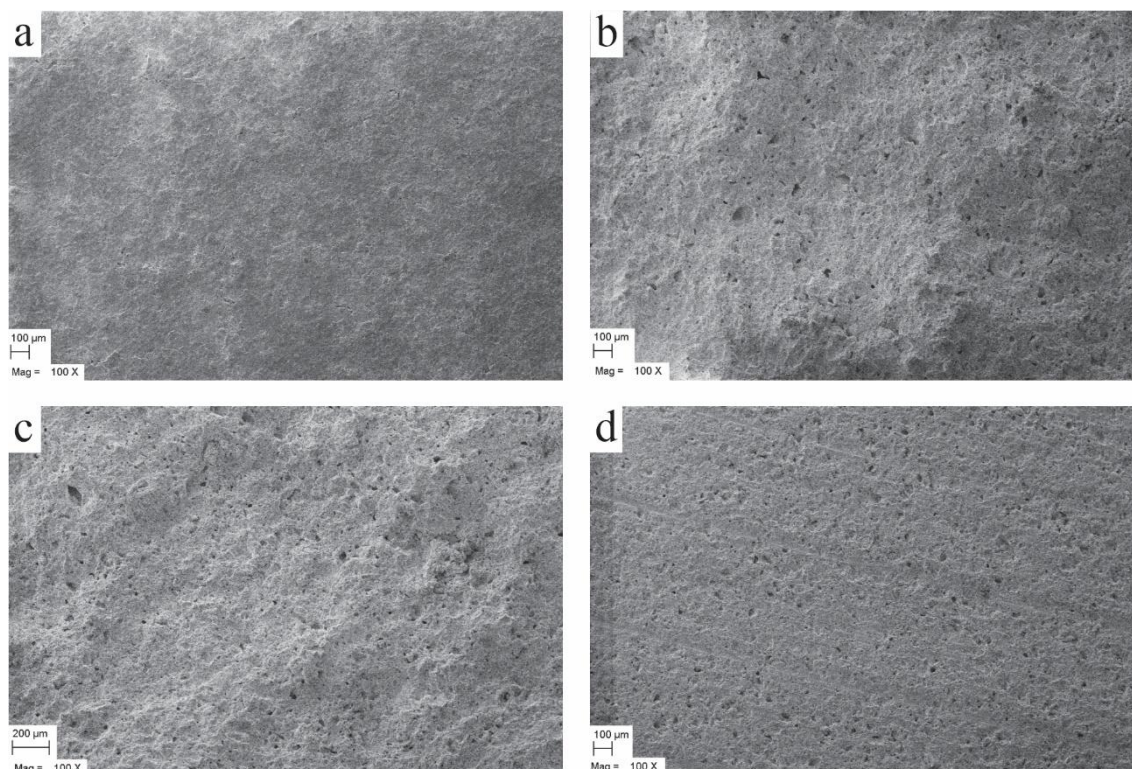
A formulação REFT1120, sem adição de calcário, apresenta uma microestrutura compacta e densa, com porosidade relativamente baixa e distribuição de poros não uniforme, quando comparada com as demais. Esse comportamento está relacionado à maior densificação durante a sinterização, o que se reflete nos altos valores de densidade aparente ($2,34 \pm 0,01$ g/cm³) e resistência mecânica ($35,60 \pm 3,74$ MPa).

Na F40T1120 ocorre um aumento da porosidade total e distribuição não homogênea dos poros. Isso ocorre em razão da liberação de CO₂ durante a decomposição do CaCO₃, que promove expansão da estrutura e aprisionamento de gases, dificultando a completa densificação (Pizzatto *et al.*, 2021d). A resistência mecânica é reduzida para $19,66 \pm 2,99$ MPa em consequência da presença dos poros.

Nas formulações F45T1120 e F50T1120, a microestrutura se torna ainda mais porosa.

As micrografias das formulações em estudo queimadas a 1140 °C são apresentadas na Figura 41. A partir das micrografias é possível observar o impacto progressivo do aumento do teor de calcário na microestrutura dos corpos cerâmicos. A REFT1140, com ausência de calcário, apresenta uma microestrutura densa e homogênea, com baixa quantidade de poros.

Figura 41 - Micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) das formulações em estudo queimadas a 1140 °C: A – REF, B - F40, C - F45, D - F50.



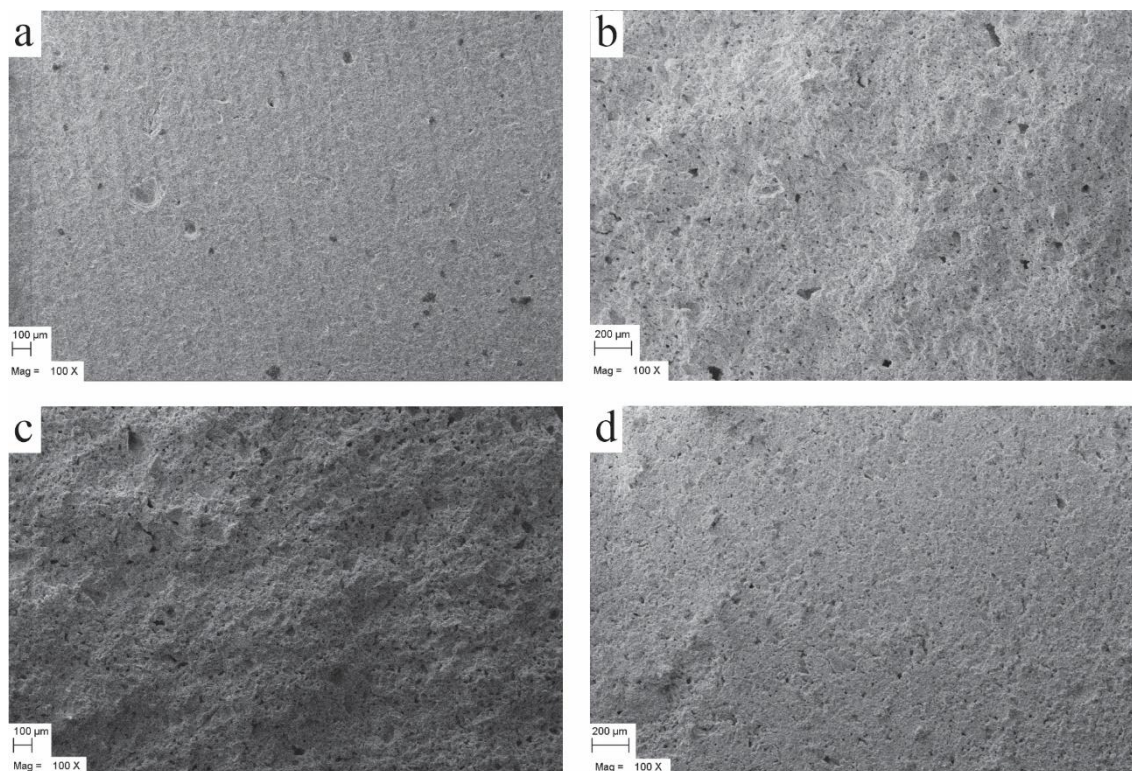
Fonte: Do Autor (2026).

À medida que o teor de calcário aumenta nas formulações F40T1140 e F45T1140, observa-se uma elevação gradual na quantidade de poros. Essa característica indica a presença significativa de poros resultantes do processo de descarbonatação, resultante da decomposição do CaCO_3 e liberação de CO_2 durante a sinterização (Pizzatto *et al.*, 2021d).

Na formulação F50T1140, a microestrutura torna-se significativamente mais porosa, com distribuição homogênea, com maior volume de poros abertos. Essa configuração favorece propriedades como absorção acústica (Sun *et al.*, 2025). A presença de poros uniformes e circulares sugere uma microestrutura em equilíbrio.

As micrografias das formulações estudadas, queimadas a 1160 °C são mostradas na Figura 42.

Figura 42 - Micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) das formulações em estudo queimadas a 1160 °C: A – REF, B - F40, C - F45, D - F50.



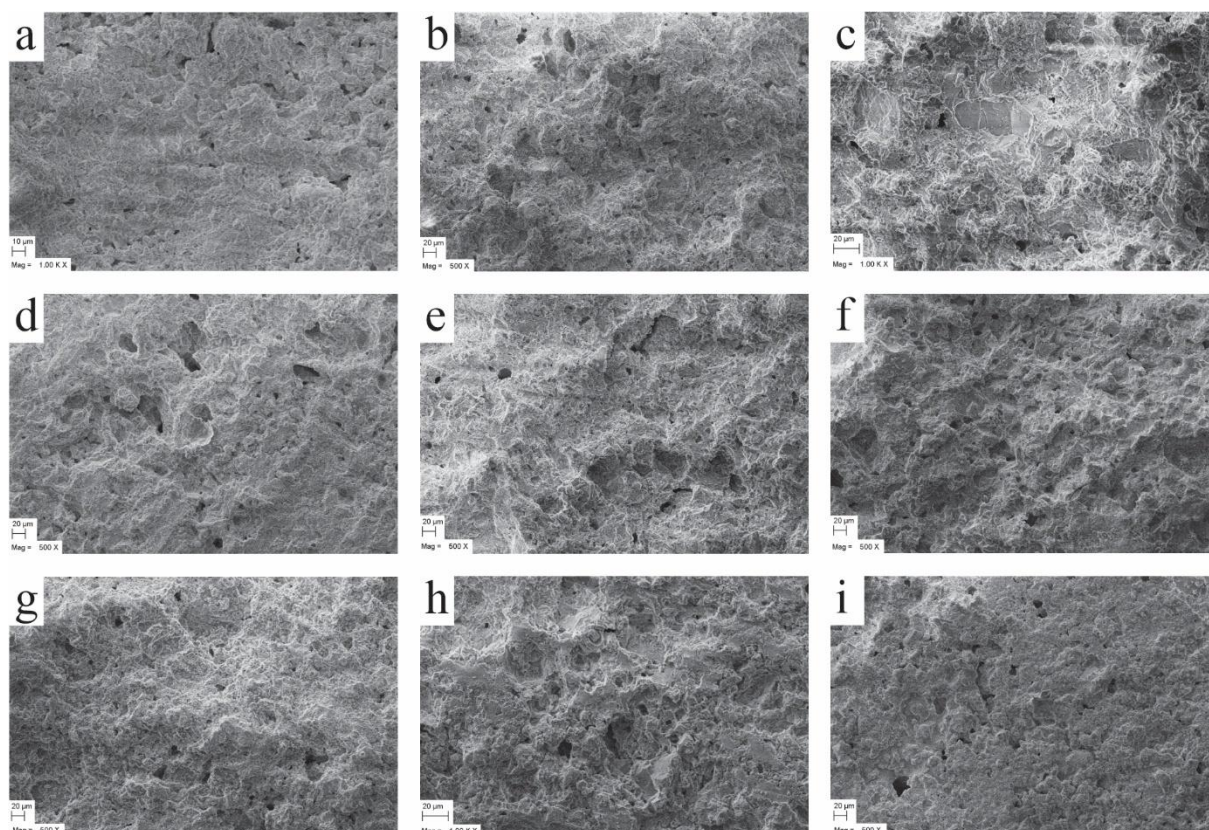
Fonte: Do Autor (2026).

A formulação REFT1160, apresenta a microestrutura mais densa entre todas as amostras, com porosidade reduzida e distribuição homogênea. Essa condição resulta em maior resistência mecânica ($38,90 \pm 8,80$ MPa), confirmando a sinterização e fechamento de poros.

A F40T1160, apresenta um discreto aumento na quantidade de poros, uniformemente distribuídos. Nas formulações F45T1160 e F50T1160, ocorre um aumento significativo de poros, com predominância de poros abertos e interconectados, resultado da maior liberação de CO₂ durante a queima. Isso compromete a compactação do corpo cerâmico, ocasionando a queda da resistência mecânica ($19,64 \pm 1,83$ MPa para F50T1160).

Com o objetivo de avaliar o efeito da temperatura sobre a morfologia e a distribuição dos poros, foi realizada análise microestrutural por MEV em amostras sinterizadas nas diferentes temperaturas estudadas. A Figura 43 apresenta as microestruturas das formulações em estudo após a queima nas temperaturas 1120, 1140 e 1160 °C, mostrando as alterações morfológicas resultantes do processo de sinterização em diferentes condições térmicas.

Figura 43 - Micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) das formulações em estudo queimadas nas diferentes temperaturas: A – F40 queimada a 1120 °C, B – F40 queimada a 1140 °C, C – F40 queimada a 1160 °C, D – F45 queimada a 1120 °C, E – F45 queimada a 1140 °C, F – F45 queimada a 1160 °C, G – F50 queimada a 1120 °C, H – F50 queimada a 1140 °C, I – F50 queimada a 1160 °C, mostrando a evolução da microestrutura com o aumento da temperatura.



Fonte: Do Autor (2026).

A partir das micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) para as formulações F40, F45 e F50, queimadas nas temperaturas de 1120, 1140 e 1160 °C, observa-se que o aumento da temperatura resulta na redução da porosidade e no aumento da densificação da matriz cerâmica.

As microestruturas mostradas na temperatura de 1120 °C caracterizam-se pela presença, em maior quantidade, de poros residuais oriundos da prensagem, com distribuição relativamente homogênea, refletindo estágios iniciais de sinterização e justificando os menores valores de resistência mecânica observados nas formulações. Com o aumento da temperatura para 1140 °C, observa-se o efeito da fase líquida formada, resultando em contornos de poros mais arredondados e aumento gradual da densificação. Com o aumento da temperatura de

sinterização, a porosidade diminui, porém a resistência mecânica aumenta (Shakir *et al.*, 2025). Na temperatura de 1160 °C, as microestruturas apresentam estágio mais avançado de sinterização, com matriz significativamente mais compacta, presença de regiões densificadas e maior fração de poros resultantes do aprisionamento dos gases liberados durante a descarbonatação. Isso se reflete em maiores valores de resistência mecânica para as formulações F40 e F45, que atingiram $23,31 \pm 4,87$ e $23,54 \pm 3,68$ MPa, respectivamente. Para a formulação F50, em particular, a elevada porosidade, resultante do aprisionamento de CO₂ durante a sinterização, reduziu a resistência mecânica, que apresentou valor de $19,64 \pm 1,83$ MPa.

Portanto, é possível concluir que o aumento do teor de calcário impacta diretamente a evolução da microestrutura, promovendo o aprisionamento de CO₂ e formação de poros, cujo comportamento depende fortemente da temperatura de queima.

5.2.5 Caracterização Térmica

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**¹⁹ apresenta os resultados de condutividade térmica das formulações em estudo.

Tabela 19 - Resultados do ensaio de condutividade térmica (W/(m·K)) para teor de calcário versus temperatura de queima para as formulações em estudo.

Formulação	Temperatura (°C)		
	1120	1140	1160
REF	$0,51 \pm 0,18$	$0,44 \pm 0,15$	$0,60 \pm 0,09$
F40	$0,36 \pm 0,06$	$0,25 \pm 0,06$	$0,41 \pm 0,03$
F45	$0,28 \pm 0,03$	$0,24 \pm 0,02$	$0,36 \pm 0,02$
F50	$0,26 \pm 0,01$	$0,21 \pm 0,02$	$0,42 \pm 0,03$

Fonte: Do Autor (2026).

A eficiência energética de isolantes térmicos cerâmicos é definida pela condutividade térmica (k) do material (Vivaldini *et al.*, 2014).

A estratégia mais eficaz para alcançar uma condutividade térmica baixa é introduzir uma grande quantidade de porosidade, visto que a condutividade térmica do ar é 0,024 W/(m·K) à temperatura ambiente e pressão atmosférica (Roy, 2025).

Esses materiais de isolamento térmico desenvolvidos apresentam alta porosidade, resultando em materiais leves. Em consequência, reduzem a taxa de transferência de calor entre o sistema que os utiliza e o ambiente, o que explica sua baixa condutividade térmica (Suthabanditpong *et al.*, 2019). A condutividade térmica de cerâmicas está relacionada a composição e microestrutura da porção sólida do material, a porosidade total e ao tamanho de poros, pois, quanto maior a fração volumétrica de poros, menor a condutividade térmica e ao mecanismo de transferência de calor, principalmente condução por fônons em cerâmicas e, em elevadas temperaturas, radiação térmica entre os poros (Vivaldini *et al.*, 2014).

A partir dos dados mostrados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, conclui-se que a formulação REF apresentou os maiores valores de condutividade térmica em comparação às demais formulações em estudo, com valores de $0,51 \pm 0,18$ W/(m·K) para REFT1120 e $0,60 \pm 0,09$ W/(m·K) para REFT1160. Este comportamento pode estar atribuído aos menores valores de porosidade total observados para a formulação REF (entre 12,17 e 12,98 %), bem como aos maiores valores de densidade aparente ($\approx 2,33$ – $2,34$ g/cm³). Materiais mais densos (menor porosidade) apresentam valores de k mais altos, aumentando assim a condutividade térmica (Pizzatto *et al.*, 2021a, 2021c).

As formulações F40, F45 e F50 apresentaram os menores valores de condutividade térmica. A F50T1140 apresentou o menor valor $0,21 \pm 0,02$ W/(m·K) entre todas as formulações. Materiais com porosidade maior apresentam condutividade térmica menor do que os materiais densos. No caso de isolantes porosos, valores adequados de condutividade podem ser considerados abaixo de $0,4$ W/(m·K) (Vivaldini *et al.*, 2014).

A redução da condutividade térmica nestas formulações está relacionada ao aumento da porosidade total (atingindo até 46,57 % em F50T1160) e à diminuição da densidade aparente (até $1,58$ g/cm³), o que dificulta a transferência de calor por condução (Vivaldini *et al.*, 2014). A presença de porosidade cria barreiras térmicas naturais, pois o ar aprisionado nos poros é um isolante térmico, justificando os valores mais baixos observados.

O efeito da temperatura também é avaliado, de acordo com os dados da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** No entanto, pode-se observar que os menores valores de condutividade térmica para todas as formulações analisadas, ocorreram a 1140 °C. Essa temperatura pode representar um ponto de equilíbrio entre a densificação e a formação de poros, resultando em uma microestrutura porosa para aumentar o isolamento, mas sem a presença de fases cristalinas excessivas que conduzam o calor. A 1160 °C, ocorre a intensificação da sinterização por fase líquida, favorecendo a condução de calor e elevando os valores de condutividade térmica (k). Com o aumento da temperatura de sinterização das cerâmicas

porosas, a porosidade tende a diminuir, conforme relatado por Yang *et al.* (2012), Mouiya *et al.* (2019) e Shakir *et al.* (2025).

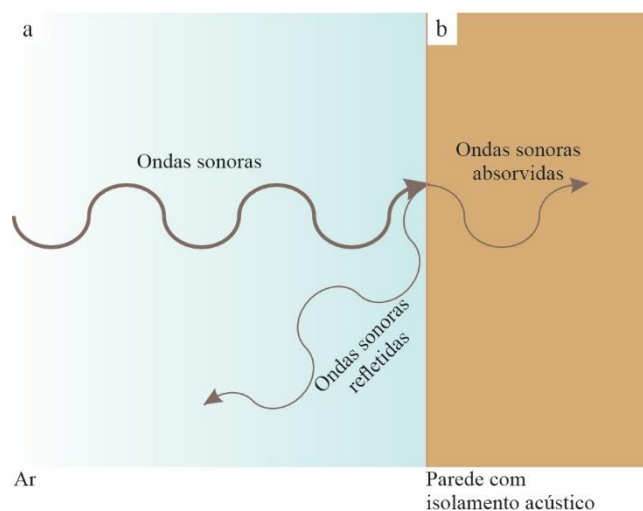
5.2.6 Caracterização Acústica

Neste tópico, estão apresentadas as análises referentes a avaliação do comportamento do coeficiente de absorção sonora e perda de transmissão sonora das formulações desenvolvidas na presente pesquisa.

5.2.6.1 Ensaio de Absorção Sonora

A absorção sonora refere-se à quantidade de energia removida da onda sonora ao passar por um material de determinada espessura, ou seja, é a capacidade de um material absorver o som presente no ar (Li; Ren, 2011). A Figura 44 ilustra os mecanismos de absorção e reflexão sonora em uma parede isolante. Ao se propagar do ar para um material absorvente, parte da onda sonora é refletida de volta ao meio original, enquanto a outra parte é absorvida, perdendo energia e experimentando efeitos de amortecimento (Li; Ren, 2011).

Figura 44 - Representação esquemática da interação de ondas sonoras com uma parede isolante. Ao atingir a interface entre o ar (a) e a superfície do material isolante (b), parte da energia sonora é refletida de volta ao ambiente e parte é absorvida pelo material, perdendo energia e experimentando efeitos de amortecimento.



Fonte: Adaptado de Li e Ren (2011).

O mecanismo de absorção sonora envolve três principais fenômenos físicos. O primeiro, quando a onda sonora incide sobre o material poroso, parte da energia da onda sonora é convertida em calor devido ao atrito entre o ar e a estrutura porosa do material. Segundo, é um processo isotérmico, ocorre transferência de calor devido à diferença de temperatura entre as diferentes partes, causada pelo atrito. Esse processo dissipa ainda mais a energia sonora. Terceiro, a vibração do ar dentro do material faz com que suas fibras também vibrem, contribuindo para a atenuação do som. Em geral, a propriedade de absorção sonora é melhor em altas frequências do que em baixas frequências (Li; Ren, 2011; Vigé, 2010).

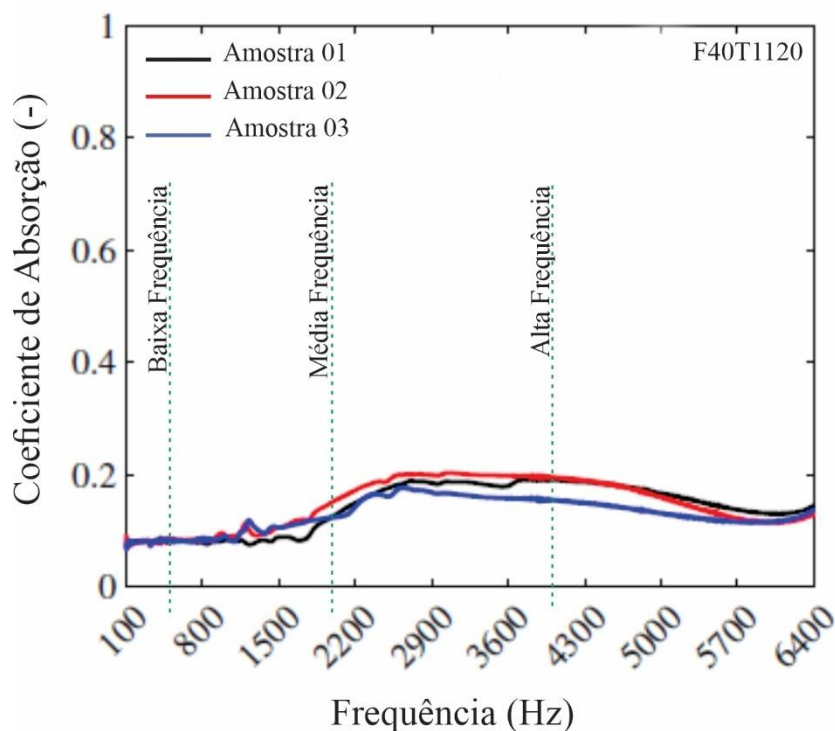
A capacidade de absorção sonora de um material é medida pelo coeficiente de absorção sonora. Quanto maior o coeficiente de absorção sonora, maior a capacidade de absorção do material. Coeficiente de absorção é a razão entre a energia absorvida e a energia incidente (Walter; Gürsoy, 2022).

O comportamento dos materiais absorventes de som está diretamente relacionado à propriedades físicas como o tamanho das fibras, a porosidade, a espessura e a densidade do material (Walter; Gürsoy, 2022). Estes materiais são normalmente dois tipos de materiais porosos, as fibras e as espumas. As fibras inorgânicas como lã de rocha, lã de vidro têm uma ampla gama de aplicações devido às suas propriedades (Li; Ren, 2011). A lã de vidro apresenta uma porosidade significativa, próxima de 97 % (Marmoret *et al.*, 2016).

Para a medição da absorção sonora das formulações em estudo, foi utilizado um tubo de impedância. Dentre as formulações em estudo, a formulação REF apresenta os menores valores de porosidade (12,17 a 12,98 %) e os maiores valores de densidade aparente (2,32 a 2,34 g/cm³). A formulação F50 (com maior teor de calcário incorporado) apresenta maiores valores de porosidade (45,88 a 46,57 %), valores considerados altos quando comparados aos materiais cerâmicos convencionais, e menores valores de densidade aparente (1,58 a 1,60 g/cm³).

O comportamento do coeficiente de absorção sonora (α) da F40T1120 é apresentado na Figura 45.

Figura 45 - Comportamento do coeficiente de absorção sonora (α) da formulação F40, queimada à 1120 °C, obtido por meio de ensaio em tubo de impedância.



Fonte: Do Autor (2026).

A Figura 45 apresenta um dos gráficos com os resultados de absorção sonora obtido por meio dos ensaios em tubo de impedância. Os demais gráficos estão representados no Apêndice A. Os valores de α , assim como as frequências, foram obtidos por meio de análise visual das curvas correspondentes às diferentes formulações (REF, F40, F45 e F50) do material cerâmico, queimadas nas temperaturas de 1120, 1140 e 1160 °C. Foram considerados os valores máximos de α observados, no intervalo de frequência entre 100 – 4000 Hz, faixa de interesse para a aplicação do material em fachadas ventiladas, por concentrar a maior sensibilidade auditiva humana e a energia da fala.

A faixa de frequência auditiva humana varia de 20 Hz a 20 kHz (Jiang; Gan, 2018), sendo a sensibilidade auditiva humana variável ao longo desse espectro. As baixas frequências ($20 \leq f < 500$ Hz) estão relacionadas a sons graves, as frequências médias ($500 \leq f < 2000$ Hz) correspondem à percepção da fala humana e as altas frequências ($2000 \leq f < 15.000$ Hz) estão relacionadas aos sons agudos (Liu; Chen; Zhang, 2014; Yost, 2002). Do ponto de vista da percepção auditiva, o ouvido humano apresenta maior sensibilidade das faixas médias e altas

frequências. De acordo com Yost (2002), o limite superior da audição, ou seja, o nível em que o som se torna desconfortavelmente alto é de cerca de 130 dB. Desta maneira, a faixa dinâmica da audição é de cerca de 130 dB na região de frequência entre 500 e 4000 Hz.

Para a extração dos dados dos gráficos, tomou-se como critério a definição da faixa de frequência entre 100 a 4000 Hz, subdividida em três faixas: baixa, média e alta frequência. Em cada faixa, foram considerados os valores máximos do coeficiente de absorção sonora para cada amostra, a partir dos quais foram calculados a média e desvio padrão de cada formulação. As tabelas completas, com todos os dados extraídos dos gráficos, estão apresentadas no Apêndice B. Desta tabela, foram extraídos apenas as médias e desvios padrão, que são apresentados na Tabela 20.

A Tabela 200 mostra o comportamento do coeficiente de absorção sonora para as formulações em estudo. O coeficiente de absorção sonora, denominado de α , é uma medida adimensional que varia de 0 a 1, pelo qual α de 0 significa nenhuma absorção sonora, enquanto um α de 1 indica absorção sonora total (Moges *et al.*, 2024).

Tabela 20 - Valores médios e desvios padrão do coeficiente de absorção sonora (α) das formulações cerâmicas REF, F40, F45 e F50, para as faixas de baixa, média e alta frequência, nas temperaturas de queima de 1120, 1140 e 1160 °C.

Formulação	Temperatura (°C)								
	1120			1140			1160		
	Baixa Frequência	Média Frequência	Alta Frequência	Baixa Frequência	Média Frequência	Alta Frequência	Baixa Frequência	Média Frequência	Alta Frequência
REF	0,06 ± 0,02	0,05 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,08 ± 0,02	0,14 ± 0,04	0,12 ± 0,02	0,07 ± 0,02	0,10 ± 0,04	0,11 ± 0,02
F40	0,09 ± 0,00	0,13 ± 0,01	0,19 ± 0,01	0,07 ± 0,02	0,08 ± 0,02	0,12 ± 0,01	0,07 ± 0,02	0,11 ± 0,04	0,14 ± 0,02
F45	0,09 ± 0,02	0,12 ± 0,02	0,12 ± 0,03	0,08 ± 0,01	0,13 ± 0,02	0,16 ± 0,03	0,09 ± 0,01	0,13 ± 0,02	0,16 ± 0,01
F50	0,08 ± 0,01	0,12 ± 0,03	0,14 ± 0,03	0,10 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,21 ± 0,04	0,09 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,15 ± 0,01

Fonte: Do Autor (2026).

A Tabela 20 mostra que a temperatura de queima não apresenta efeito estatisticamente significativo no coeficiente de absorção sonora (α); se observa uma tendência de elevação de α com o aumento da porosidade. No entanto, os níveis de porosidade obtidos não foram suficientes para resultar em diferenças significativas no comportamento acústico das formulações, demonstrando que a porosidade, isoladamente, não consegue aumentar o desempenho acústico do material. Ainda assim, a formulação F50, queimada a 1140 °C, apresenta, estatisticamente, valores de α superiores aos das demais formulações, indicando melhor desempenho acústico em altas frequências, na faixa de 2000 a 4000 Hz, correspondente à região de maior sensibilidade auditiva humana.

5.2.6.2 Ensaio de Perda de Transmissão Sonora

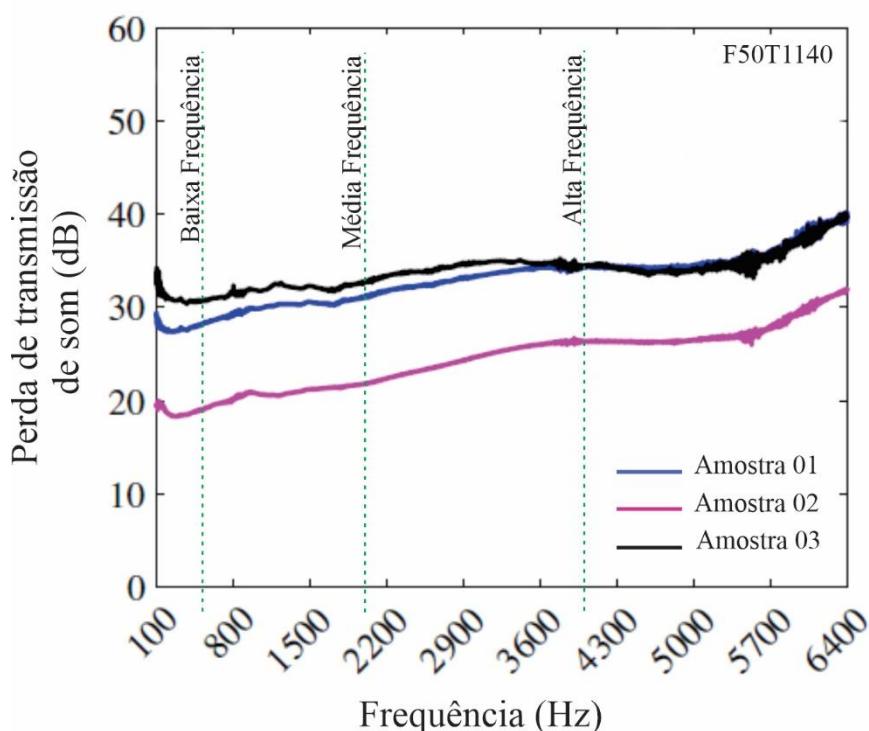
Na acústica, reflexão sonora é um aspecto importante, caracterizado pelo retorno das ondas sonoras ao se depararem com obstáculos ou superfícies, ocasionando o fenômeno em que as vozes retornam como ecos (Moges *et al.*, 2024).

Os ecos podem ser criados em grandes ambientes, como salas, com extensas superfícies, devido à significativa reflexão das ondas sonoras. A perda de transmissão é uma medida da redução da intensidade sonora ao passar por um material ou estrutura, ou seja, mede a eficácia de um material em bloquear o som. É padronizada na literatura acústica como *Transmission Loss* (TL). É expressa em decibéis (dB) e quantifica a eficácia dos materiais de isolamento acústico. Ela quantifica a redução da energia sonora por meio de materiais como paredes, pisos, janelas em diversos ambientes. A perda de transmissão é altamente dependente da frequência, pois diferentes frequências sonoras interagem de maneira única com os materiais, devido ao seu comprimento de onda e distribuição de energia (Moges *et al.*, 2024; Saha *et al.*, 2025).

Para aplicações voltadas ao conforto acústico em edificações, o desempenho da perda de transmissão sonora está relacionado nas frequências médias e médias-altas, nas quais se concentram a maior sensibilidade auditiva humana e a energia da fala, concentrando-se principalmente na região de frequência entre 500 e 4000 Hz (Yost, 2002). Ao contrário da reflexão, a absorção refere-se à maneira de como os materiais consomem energia, em detrimento da reflexão (Moges *et al.*, 2024).

O comportamento da perda de transmissão sonora (TL) da F50T1140 é apresentado na Figura 46.

Figura 46 - Comportamento da perda de transmissão sonora (TL) da formulação F50, queimada à 1140 °C, obtido por meio de ensaio em tubo de impedância.



Fonte: Do Autor (2026).

A Figura 46 apresenta um dos gráficos com os resultados de perda de transmissão sonora obtido por meio dos ensaios em tubo de impedância. Os demais gráficos estão representados no Apêndice C. Os valores de TL foram obtidos por meio da análise visual das curvas das formulações cerâmicas REF, F40, F45 e F50, queimadas a 1120, 1140 e 1160 °C.

Para a extração dos dados dos gráficos, tomou-se como critério a definição da faixa de frequência entre 100 a 4000 Hz, faixa relevante para aplicação em fachadas ventiladas e subdividida em baixa frequência ($20 \leq f < 500$ Hz), média frequência ($500 \leq f < 2000$ Hz) e alta frequência ($2000 \leq f < 15.000$ Hz). Em cada faixa, foram considerados os valores máximos de TL para cada amostra, a partir dos quais foram calculados a média e desvio padrão de cada formulação. As tabelas completas com todos os dados extraídos dos gráficos estão apresentadas no Apêndice D. Desta tabela, foram extraídos apenas as médias e desvios padrão, que foram apresentados na Tabela 211.

Tabela 21 - Valores médios e desvios padrão da perda de transmissão sonora (dB) das formulações cerâmicas REF, F40, F45 e F50, para as faixas de baixa, média e alta frequência, nas temperaturas de queima de 1120, 1140 e 1160 °C.

Formulação	Temperatura (°C)								
	1120			1140			1160		
	Baixa Frequência	Média Frequência	Alta Frequência	Baixa Frequência	Média Frequência	Alta Frequência	Baixa Frequência	Média Frequência	Alta Frequência
REF	26,5 ± 3,00	29,5 ± 1,73	32,17 ± 1,89	20,83 ± 6,53	25,17 ± 5,01	28,50 ± 4,00	20,17 ± 5,84	22,33 ± 4,25	26,33 ± 3,33
F40	48,67 ± 11,93	43,67 ± 10,02	44,00 ± 7,40	36,17 ± 8,13	33,33 ± 6,93	36,67 ± 5,35	21,33 ± 9,61	24,33 ± 7,01	27,83 ± 5,58
F45	36,33 ± 6,64	34,50 ± 5,22	36,67 ± 3,40	41,00 ± 9,54	35,33 ± 5,58	39,00 ± 5,29	40,33 ± 6,81	36,67 ± 5,51	39,00 ± 2,65
F50	38,83 ± 5,62	34,67 ± 3,88	36,00 ± 4,58	27,67 ± 7,09	28,83 ± 5,97	32,00 ± 4,77	37,00 ± 24,58	38,67 ± 23,25	41,17 ± 20,23

Fonte: Do Autor (2026).

Os resultados apresentados na Tabela 21 mostram que a temperatura de queima e a porosidade não influenciaram significativamente na perda de transmissão sonora. Portanto, é possível concluir que, nas condições avaliadas, as diferentes formulações apresentaram desempenho semelhante de isolamento acústico, especialmente na faixa de frequência mais relevante para a audição humana (2000–4000 Hz). Assim, as variações microestruturais relacionadas à porosidade e às fases formadas não foram suficientes para resultar em diferenças expressivas na capacidade de atenuação sonora do material.

Na Etapa 02 da pesquisa, os resultados demonstraram que a microestrutura dos corpos cerâmicos exerce influência direta no comportamento mecânico, térmico e acústico das formulações avaliadas. Microestruturas mais densas, como a formulação de referência (REF), apresentaram maiores valores de resistência mecânica à flexão ($38,90 \pm 8,80$ MPa) e menor condutividade térmica ($0,60 \pm 0,09$ W/(m·K)). Em contrapartida, o aumento da porosidade resultou em redução da densidade aparente, diminuição da resistência mecânica à flexão e redução da condutividade térmica, acompanhadas por aumento do coeficiente de absorção sonora e da perda de transmissão sonora. A temperatura de queima de 1140 °C mostrou-se a mais adequada, ao estabelecer um equilíbrio entre porosidade ($46,41 \pm 0,29$ %) e níveis compatíveis de resistência mecânica ($20,39 \pm 1,52$ MPa), associados aos menores valores de condutividade térmica ($0,21 \pm 0,02$ W/(m·K)) e os maiores coeficiente de absorção sonora ($0,21 \pm 0,04$ para altas frequências). Esses resultados confirmam que o controle da microestrutura constitui um parâmetro determinante para o desempenho funcional dos corpos cerâmicos.

5.3 DEFINIÇÃO DA MELHOR FORMULAÇÃO

Os resultados de densidade aparente, porosidade, resistência mecânica à flexão, resultados de condutividade térmica, absorção sonora e perda de transmissão sonora das três formulações estudadas das três temperaturas de queima foram analisados, com o objetivo de definir a melhor condição experimental a ser adotada para o presente trabalho. Essa análise considerou os objetivos da pesquisa, que é a obtenção de uma placa cerâmica porosa que apresente desempenho satisfatório com resistência mecânica, térmica e acústica atendendo os requisitos de aplicação em sistemas de fachadas ventiladas, nos quais são importantes a leveza do material, o isolamento térmico e acústico, sem que ocorra o comprometimento da integridade estrutural do material. Na Tabela 22 estão apresentados os resultados correspondentes à Etapa 02 desta pesquisa.

Tabela 22 - Resultados do ensaio de densidade aparente e real (g/cm^3), porosidade total (%), resistência mecânica a Flexão (MPa), condutividade térmica ($\text{W/(m}\cdot\text{K)}$), absorção sonora e perda de transmissão sonora (dB) para teor de calcário versus temperatura de queima para as formulações em estudo.

Formulação	Propriedade	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)		
		1120	1140	1160
F40	Porosidade Total (%)	$40,26 \pm 0,23$	$40,29 \pm 0,35$	$40,42 \pm 0,19$
	Resistência Mecânica à Flexão (MPa)	$19,66 \pm 2,99$	$20,63 \pm 1,32$	$23,31 \pm 4,87$
	Condutividade Térmica ($\text{W/(m}\cdot\text{K)}$)	$0,36 \pm 0,06$	$0,25 \pm 0,06$	$0,41 \pm 0,03$
	Absorção Sonora	$0,09 \pm 0,00^3$	$0,07 \pm 0,02^4$	$0,07 \pm 0,02^5$
		$0,13 \pm 0,01^4$	$0,08 \pm 0,02^5$	$0,11 \pm 0,04^6$
		$0,19 \pm 0,01^4$	$0,12 \pm 0,01^5$	$0,14 \pm 0,02^6$
	Perda de Transmissão Sonora (dB)	$48,67 \pm 11,93^4$	$43,67 \pm 10,02^5$	$44,00 \pm 7,40^6$
		$36,17 \pm 8,13^4$	$33,33 \pm 6,93^5$	$36,67 \pm 5,35^6$
		$21,33 \pm 9,61^4$	$24,33 \pm 7,01^5$	$27,83 \pm 5,58^6$
F45	Porosidade Total (%)	$42,69 \pm 0,51$	$42,84 \pm 0,35$	$43,82 \pm 0,50$
	Resistência Mecânica à Flexão (MPa)	$17,42 \pm 0,78$	$19,83 \pm 0,66$	$23,54 \pm 3,68$
	Condutividade Térmica ($\text{W/(m}\cdot\text{K)}$)	$0,28 \pm 0,03$	$0,24 \pm 0,02$	$0,36 \pm 0,02$
	Absorção Sonora	$0,09 \pm 0,02^4$	$0,08 \pm 0,01^5$	$0,09 \pm 0,01^6$
		$0,12 \pm 0,02^4$	$0,13 \pm 0,02^5$	$0,13 \pm 0,02^6$
		$0,12 \pm 0,03^4$	$0,16 \pm 0,03^5$	$0,16 \pm 0,01^6$
	Perda de Transmissão Sonora (dB)	$36,33 \pm 6,64^4$	$34,50 \pm 5,22^5$	$36,67 \pm 3,40^6$
		$41,00 \pm 9,54^4$	$35,33 \pm 5,58^5$	$39,00 \pm 5,29^6$
		$40,33 \pm 6,81^4$	$36,67 \pm 5,51^5$	$39,00 \pm 2,65^6$
F50	Porosidade Total (%)	$45,88 \pm 0,48$	$46,41 \pm 0,29$	$46,57 \pm 0,18$
	Resistência Mecânica à Flexão (MPa)	$16,96 \pm 2,33$	$20,39 \pm 1,52$	$19,64 \pm 1,83$
	Condutividade Térmica ($\text{W/(m}\cdot\text{K)}$)	$0,26 \pm 0,01$	$0,21 \pm 0,02$	$0,42 \pm 0,03$
	Absorção Sonora	$0,08 \pm 0,01^4$	$0,10 \pm 0,01^5$	$0,09 \pm 0,01^6$
		$0,12 \pm 0,03^4$	$0,15 \pm 0,01^5$	$0,12 \pm 0,01^6$
		$0,14 \pm 0,03^4$	$0,21 \pm 0,04^5$	$0,15 \pm 0,01^6$
	Perda de Transmissão Sonora (dB)	$38,83 \pm 5,62^4$	$34,67 \pm 3,88^5$	$36,00 \pm 4,58^6$
		$27,67 \pm 7,09^4$	$28,83 \pm 5,97^5$	$32,00 \pm 4,77^6$
		$37,00 \pm 24,58^4$	$38,67 \pm 23,20^5$	$41,17 \pm 20,23^6$

Fonte: Do Autor (2026).

A partir dos dados analisados, é possível concluir que o aumento do teor de calcário nas formulações estudadas resultou em um aumento significativo na porosidade, que ocorre devido

³ Classificação das bandas de frequência: baixa frequência ($20 \leq f < 500$ Hz), (Liu; Chen; Zhang, 2014).

⁴ Classificação das bandas de frequência: média frequência ($500 \leq f < 2000$ Hz), (Liu; Chen; Zhang, 2014).

⁵ Classificação das bandas de frequência: alta frequência ($2000 \leq f < 15.000$ Hz), (Liu; Chen; Zhang, 2014).

à liberação de CO₂ proveniente da decomposição do CaCO₃, promovendo a formação de vazios na microestrutura do material (Pizzatto *et al.*, 2021d). Os maiores valores de porosidade entre as formulações foram também registrados por F50T1140 e F50T1160, com valores de $46,41 \pm 0,29$ e $46,57 \pm 0,18$ %, respectivamente. Os valores de $46,41 \pm 0,29$ e $46,57 \pm 0,18$ % são estatisticamente semelhantes, considerando a proximidade entre as médias e os desvios padrão. Porém, a porosidade impacta negativamente nas propriedades mecânicas (Roy, 2025). A temperatura também é um parâmetro de processamento que influencia fortemente as propriedades mecânicas. Com o aumento da temperatura, pode ocorrer redução da porosidade, em função da maior densificação associada à formação de fase líquida durante o processo de sinterização, contribuindo para o aumento da resistência mecânica do material. A temperatura também está relacionada a transformações de fases. As fases cristalinas têm influência direta na resistência mecânica dos materiais (Figueiredo *et al.*, 2018; Schuller; Bianchi; Aguiar, 2008). O maior valor de resistência mecânica para a formulação com teor de calcário foi registrado na temperatura de 1160 °C, com destaque para a F45T1160, com RMF de $23,54 \pm 3,68$ MPa. No entanto, a resistência mecânica à flexão diminui com o aumento de teor de calcário, sobretudo em decorrência do aumento da porosidade, conforme é possível identificar nos resultados. A F50T1160 (formulação com maior teor de calcário incorporado) apresentou valor de $19,64 \pm 1,83$ MPa, o menor entre as formulações em estudo. Em contrapartida, a F50T1140 apresentou valor de $20,39 \pm 1,52$ MPa, o mais elevado entre as formulações com maior teor de calcário. No entanto, é importante ressaltar que os valores de resistência mecânica à flexão obtidos para as formulações com incorporação de calcário são superiores aos valores reportados na literatura para materiais utilizados em sistemas de fachadas ventiladas.

No Brasil, não há uma norma técnica específica voltada para elementos utilizados em sistemas de fachada ventilada. Portanto, não foi identificado um valor de referência normativo para a resistência mecânica à flexão para ser utilizado. De acordo com a ABNT NBR ISO 13006:2020 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020c), os revestimentos cerâmicos prensados a seco são classificados de acordo com a resistência mecânica e absorção da água. Para o grupo BII_b, com absorção de água entre 6 e 10 %, a resistência mínima à flexão exigida é de ≥ 18 MPa. Para o grupo BIII^b, com absorção de água superior a 10 %, a resistência mínima à flexão permitida é de ≥ 15 MPa (Tabela 1, página 69). Os revestimentos aplicados no sistema de fachadas ventiladas são também utilizados em outros seguimentos da construção civil.

Na literatura, diversos estudos relatam o uso de materiais inovadores com aplicação em sistema de fachadas ventiladas. Mohammed *et al.* (2022) relataram que placas de fibrocimento apresentam resistência à flexão de 22 MPa, sendo utilizadas em aplicações interna e externa.

Os autores citam, como referência comercial, a placa PRIMAflex, uma placa de fibrocimento multiuso e ecológica, cuja resistência mínima à flexão é de 10 MPa em condição úmida e 16 MPa em condição seca. A placa de fibrocimento é amplamente utilizada em revestimentos de fachadas ventiladas, tanto em edifícios novos quanto em reformas, revestimentos de paredes internas, revestimento de base e chaminé, bem como forro de beiral (Ranachowski, 2018).

Noor-E-Khuda, Albermani e Veidt (2017) investigaram a aplicação da resistência à flexão de granitos em fachadas. Os resultados obtidos variaram de 7,74 a 16,77 MPa.

Gonzalez-Lopez *et al.* (2021) avaliaram o comportamento térmico, ao fogo e o desempenho mecânico de placas compósitas à base de cimento de aluminato de cálcio, com teor variável de metacaulim, reforçados com tecidos não tecidos de linho, investigando a sua adequação como painéis de fachada em aplicações externas. Os compósitos estudados apresentaram resistência à flexão variando entre 11 a 19 MPa em condição ambiente e entre 5 a 10 MPa após a exposição a 250 °C, valores considerados adequados para painéis não estruturais em sistemas de fachadas ventiladas.

Brose, Kongoletos e Glicksman (2019) desenvolveram fibras de casca de coco, rattan e fibras de madeira de pinho, além de cimento Portland, cinzas volantes e cal hidratada, na fabricação de amostras de compósito de fibrocimento para aplicações no interior ou exterior de uma residência, proporcionando melhoria tanto no isolamento térmico quanto na estrutura. A modelagem do envelope do edifício foi realizada utilizando a ferramenta EnergyPlus™. A resistência mecânica à flexão foi investigada por meio do módulo de ruptura, sendo observados valores entre 2,3 e 2,8 MPa para as amostras de controle e entre 1,2 e 4,6 MPa para as amostras de fibrocimento reforçadas com fibras naturais, demonstrando potencial de aplicação desses compósitos como painéis não estruturais em sistemas de vedação e revestimento.

Vale ressaltar que os materiais empregados no sistema de fachada ventilada devem resistir a esforços de flexão causados pela ação do vento, além de atenderem aos critérios de segurança relacionado ao impacto.

No contexto das fachadas ventiladas, as placas revestem as edificações e são fixadas por ancoragem metálica, sem o uso de argamassa. Nesse sentido, é necessário considerar os esforços de flexão e os impactos provocados por ações externas, como rajadas de vento e chuva de granizo, que podem comprometer a integridade do material.

Diante dos resultados obtidos, é possível concluir que os valores de resistência mecânica à flexão das formulações com incorporação de calcário são compatíveis com a aplicação em sistemas de fachada ventilada. Todas as formulações estudadas atendem aos limites mínimos estabelecidos pela ABNT NBR ISO 13006:2020 para revestimentos cerâmicos com elevada

absorção de água e apresentam valores equivalentes ou superiores aos reportados na literatura para painéis não estruturais aplicados em fachadas ventiladas. Assim, os resultados desta pesquisa confirmam que, apesar da redução da resistência mecânica relacionada ao aumento da porosidade, as formulações com incorporação de calcário em estudo apresentam desempenho mecânico adequado para suportar os esforços de flexão provenientes das ações de serviço, assegurando sua viabilidade para aplicação em sistemas de fachadas ventiladas.

As cerâmicas porosas possuem grande aplicação como isolantes térmicos, pois não têm boa capacidade de transmissão de calor (Schuller; Bianchi; Aguiar, 2008). Materiais com porosidade fechada são empregados como materiais isolantes térmicos e podem proporcionar um ambiente interno confortável (Ramlee; Naveen; Jawaid, 2021; Schuller; Bianchi; Aguiar, 2008). Para fins de isolamento térmico, as cerâmicas porosas devem possuir baixa condutividade térmica, mas também resistência mecânica suficiente (Roy, 2025). A partir dos dados apresentados na Tabela 22, pode-se observar que F50T1140 foi a condição experimental que apresentou o menor valor de entre todas as formulações em estudo, com resultado de $0,21 \pm 0,02 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Observa-se, ainda, a relação entre porosidade e condutividade térmica, mostrando que o aumento da porosidade contribui para a redução da condutividade térmica das formulações estudadas, com exceção apenas para a F50T1160, que apresentou valor superior a F45T1160, com valores de $0,42 \pm 0,03$ e $0,36 \pm 0,02 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, respectivamente. Para cada formulação analisada individualmente, a temperatura de queima de 1140°C resultou no menor valor de condutividade térmica, quando comparada às temperaturas de 1120°C e 1160°C .

É comum o uso de materiais porosos para melhorar as propriedades acústicas. As cerâmicas porosas com desempenho para a absorção sonora é um material promissor para a eliminação ou diminuição eficaz da poluição sonora (Hua *et al.*, 2024). Os valores de α foram obtidos por meio de análise visual das curvas apresentadas nos gráficos, no intervalo de frequência entre 100 – 4000 Hz, faixa de interesse para a aplicação do material em fachadas ventiladas, por concentrar a maior sensibilidade auditiva humana. Muito embora, estatisticamente, não se observa efeito significativo da temperatura de queima sobre o α , é possível perceber uma tendência de aumento de α com o incremento da porosidade. Dentre as formulações estudadas, F50T1140 apresentou o maior valor de absorção sonora, com valores de $0,10 \pm 0,01$ para baixa frequência, $0,15 \pm 0,01$ para média frequência e $0,21 \pm 0,04$ para alta frequência, apresentando melhor desempenho acústico, especialmente em altas frequências.

Para os valores de perda de transmissão sonora, estatisticamente, não se observa efeito significativo da temperatura de queima e da porosidade sobre a TL, apresentando, assim, desempenho equivalente entre as formulações na faixa de frequência entre 100 – 4000 Hz.

A partir da análise dos dados é importante ressaltar que o controle adequado da porosidade e da morfologia dos poros são importantíssimos para o desenvolvimento da formulação do revestimento cerâmico. A finalidade desta pesquisa é obter um corpo cerâmico poroso, que apresente baixa condutividade térmica, isolamento térmico e acústico eficientes e resistência mecânica adequada para suportar as exigências de fixação, manuseio e transporte no sistema.

Os resultados obtidos para as formulações com teor de calcário indicam que o aumento deste constituinte apresentou significativa elevação da porosidade total, fator que está diretamente relacionada ao desempenho térmico e acústico do material. A análise comparativa entre as propriedades mecânicas, térmicas e acústicas permitiu identificar que há uma faixa de temperatura de sinterização que expressa equilíbrio entre a porosidade e resistência do material.

A condição experimental F50T1140, correspondente à amostra com maior teor de calcário incorporado (50 %) e queimada a 1140 °C, apresenta um melhor desempenho entre propriedades físicas, mecânicas, térmicas e acústicas, combinando os melhores resultados obtidos dentre as formulações avaliadas. A porosidade total da F50T1140 foi de $46,41 \pm 0,29$ %. Apesar da alta porosidade, a F50T1140 apresentou resistência mecânica à flexão superior ao que a norma ABNT NBR 13006:2020 exige, com valor de $20,39 \pm 1,52$ MPa, mostrando que o nível de sinterização está adequado, permitindo o fechamento parcial dos poros, sem comprometer a integridade mecânica. A condutividade térmica foi a mais baixa registrada entre as formulações em estudo ($0,21 \pm 0,02$ W/(m·K)). Este resultado é vantajoso para aplicações de isolamento térmico. A absorção sonora foi a mais alta registrada dentre todas as condições, com valor de $\alpha = 0,21$, em alta frequência, apresentando capacidade de amortecimento de ondas sonoras, favorecida pela presença dos poros. A perda de transmissão sonora é similar as demais condições experimentais testadas.

5.4 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FINAIS DOS CORPOS DE PROVA OBTIDOS NA CONDIÇÃO EXPERIMENTAL SELECIONADA

Neste tópico, são apresentados os resultados das caracterizações finais realizadas com os corpos de prova obtidos a partir da melhor condição experimental, a F50T1140.

Foram avaliadas propriedades como absorção de água e o módulo de elasticidade. Adicionalmente, o desempenho térmico e acústico foi analisado por meio de ensaios realizados utilizando o aparato térmico e acústico, a fim validar o potencial da formulação para aplicação em fachadas ventiladas.

5.4.1 Caracterização Física – Determinação da Absorção de Água

A Tabela 233 mostra os resultados de absorção de água para a REFT1140, formulação usada como referência e para a melhor condição experimental F50T1140.

Tabela 23 - Resultados de absorção da água (AA, %) da amostra REFT1140 e F50T1140 queimadas a 1140 °C.

Formulação	AA (%)
REF	$1,72 \pm 0,35$
F50	$21,48 \pm 0,14$

Fonte: Do Autor (2026).

A análise dos dados de absorção de água apresentados na Tabela 23 mostra uma diferença significativa entre as formulações REFT1140 e F50T1140. A amostra REFT1140, sem adição de calcário na formulação, apresentou um valor de absorção de água de $1,72 \pm 0,35$ %, caracterizando-se como um material de baixa porosidade, compatível com revestimentos cerâmicos convencionais e com estrutura densa.

No entanto, a amostra F50T1140, com 50 % de calcário incorporado, apresentou uma absorção de água de $21,48 \pm 0,14$ %, mostrando ser uma estrutura altamente porosa, conforme já mostrado na Tabela 22, com porosidade de $46,41 \pm 0,29$ %. Esse comportamento difere dos revestimentos porcelânicos disponíveis no mercado, que apresentam valores baixíssimos de absorção de água ($< 0,5$ %), relacionado à microestrutura com baixa porosidade (Souza *et al.*, 2024).

Este comportamento está diretamente relacionado à maior geração de poros durante a sinterização, promovida pela decomposição do CaCO_3 , que libera CO_2 e ocorre a formação dos poros abertos. A elevada absorção de água confirma a predominância de poros conectados à superfície, o que está de acordo com os objetivos da pesquisa, que é desenvolver um material cerâmico poroso com desempenho acústico.

5.4.2 Propriedade Mecânica – Módulo de Elasticidade

A Tabela 244 mostra os resultados de módulo de elasticidade para a REFT1140, formulação usada como referência e para a melhor condição experimental F50T1140.

Tabela 24 - Resultados de módulo de elasticidade (E, GPa) da amostra REFT1140 e F50T1140 queimadas a 1140 °C.

Formulação	E (GPa)
REF	$2,09 \pm 0,04$
F50	$1,46 \pm 0,07$

Fonte: Do Autor (2026).

O módulo de elasticidade é uma propriedade mecânica relacionada à rigidez do material ou a resistência do material à deformação elástica. Quanto maior for o valor do módulo de elasticidade, mais rígido será o material. Esta propriedade é importante para determinar a capacidade de uma estrutura suportar cargas e tensões sem sofrer deformação permanente. O módulo de elasticidade depende da composição e da porosidade. O aumento da porosidade de um corpo cerâmico deve levar à diminuição da rigidez, provocando a queda do módulo de elasticidade (Dal Bó *et al.*, 2017; Springer, 2025).

A formulação REFT1140 apresentou módulo de elasticidade de $2,09 \pm 0,04$ GPa e a F50T1140, apresentou resultado inferior ($1,46 \pm 0,07$ GPa), indicando redução da rigidez relacionada ao teor de calcário e a presença da alta porosidade do material. Os corpos de prova F50T1140 podem ser considerados menos rígidos quando comparados com a formulação REFT1140, portanto, suportam impacto com maior facilidade.

Levando em consideração a relação entre a rigidez do material e o isolamento acústico, Palomar e Barluenga (2022) constataram que os índices de redução sonora diminuem com o aumento do módulo de elasticidade, ou seja, maior rigidez implica em redução do desempenho acústico do material. Portanto, melhoria no isolamento acústico são obtidas a partir da redução do módulo de elasticidade.

5.4.3 Ensaio Térmico

Na atualidade, as questões ambientais e energéticas têm ganhado destaque diante do aumento contínuo do custo e à baixa disponibilidade de combustíveis fósseis. Diversas ações vêm sendo adotadas a fim de melhorar o desempenho térmico dos edifícios e reduzir o seu consumo de energia. Neste contexto, as fachadas ventiladas oferecem a possibilidade de melhorar a eficiência energética dos edifícios (Pizzatto *et al.*, 2021b). Com o intuito de validar o desempenho térmico do sistema de fachadas ventiladas e avaliar o comportamento térmico

do corpo cerâmico da melhor condição experimental desenvolvida nesta pesquisa, foram realizados ensaios térmicos com o aparato térmico.

Os ensaios com o aparato térmico desenvolvido nesta pesquisa tiveram como objetivo avaliar o desempenho térmico dos materiais estudados. Foram realizados três ensaios com o aparato térmico: o ensaio térmico simulando uma fachada tradicional, o ensaio térmico simulando uma fachada ventilada – REF (formulação REFT1140) e o ensaio térmico simulando uma fachada ventilada – Melhor Condição Experimental (formulação F50T1140).

As planilhas completas de dados experimentais dos ensaios térmicos obtidos com o aparato térmico, extraídas pelo FieldLogger, com os registros brutos extraídos durante os ensaios de fachada tradicional, fachada ventilada REFT1140 e fachada ventilada F50T1140 estão apresentados no Apêndice E (Tabela E.1, Tabela E.2 e Tabela E.3).

A Tabela 25 mostra os resultados das médias das temperaturas dos termopares previamente calibrados. Os termopares foram posicionados de acordo com a Figura 28 (página 105). O termopar T1 - estufa foi centralizado dentro da fonte de calor – estufa. O termopar T2 - revestimento foi centralizado no lado externo dos corpos de prova (amostras – REFT1140 e F50T1140). O termopar T3 – chaminé foi posicionado no centro da câmara de ar (efeito chaminé). O termopar T4 – parede gesso foi posicionado no centro da parede de gesso, parede esta que simula a parede externa de alvenaria de uma edificação. O termopar T5 – caixa madeira foi centralizado dentro da caixa 02 de madeira, caixa esta que simula um cômodo dentro de uma edificação. Para o ensaio da fachada tradicional os valores de T2 – revestimento e T3 – chaminé não foram considerados, uma vez que estes elementos são específicos da configuração do ensaio térmico das fachadas ventiladas. A distância entre as placas cerâmicas analisadas na pesquisa e a Caixa 1 foi mantida constante em $d = 5$ cm.

Os resultados obtidos no ensaio com o sistema de fachada tradicional foram utilizados como referência a fim de comparar o desempenho térmico em relação ao sistema de fachada ventilada. Os dados do ensaio com a fachada ventilada utilizando as amostras REFT1140 foram usadas como dados comparativos para os resultados obtidos com as amostras F50T1140.

A partir das médias das temperaturas registradas por cada termopar, foi possível calcular a variação térmica (Δ) nos pontos T2 – revestimento, T4 – parede de gesso e T5 – caixa madeira, conforme é mostrado na Tabela 26. Essa variação representa a diferença de temperatura de cada um destes termopares em relação da temperatura de T1 – estufa. Quanto maior a redução de temperatura, melhor o desempenho térmico da condição empregada.

A transferência de calor nos corpos de prova REFT1140 e F50T1140 ocorre por condução. A condução de um material pode ser reduzida por meio da introdução de poros

(Vivaldini *et al.*, 2014). Ao analisar a redução (Δ negativo) das médias das temperaturas do T2 – revestimento dos ensaios de fachada ventilada das amostras REFT1140 e F50T1140, observou-se que a maior redução na temperatura externa do revestimento em função de T1 – estufa, ocorreu nas amostras de F50T1140, com valor de 22,00 °C. As amostras REFT1140 obtiveram média de 16,56 °C. Com estes resultados, pode-se concluir que os corpos cerâmicos porosos F50T1140 atuam de maneira mais eficiente no isolamento térmico quando comparados com as amostras REFT1140 (material com menor porosidade inserida na microestrutura do material). Esta conclusão vem de encontro com os valores de condutividade térmica das amostras REFT1140 e F50T1140.

Tabela 25 - Médias das temperaturas (°C) registradas pelo FieldLogger – Data Logger, nos três tipos de ensaios térmicos realizados com o aparato térmico.

Tipo de Ensaio	Termopares				
	T1 - Estufa	T2 - Revestimento	T3 - Chaminé	T4 - Parede gesso	T5 - Caixa madeira
Ensaio Térmico Simulando uma Fachada Tradicional	85,46 ± 5,29	-	-	61,30 ± 1,63	30,59 ± 0,91
Ensaio Térmico Simulando uma Fachada ventilada – REFT1140	85,13 ± 4,03	68,57 ± 2,78	22,44 ± 0,71	27,81 ± 0,70	22,24 ± 0,31
Ensaio Térmico Simulando uma Fachada ventilada – F50T1140	85,57 ± 2,32	63,59 ± 1,00	22,39 ± 0,63	26,09 ± 0,31	20,56 ± 0,11

Nota: Média da temperatura para cada termopar (°C).

Fonte: Do Autor (2026).

Tabela 26 - Resultado dos Δ das temperaturas (°C) de T2, T4 e T5 em função da temperatura T1.

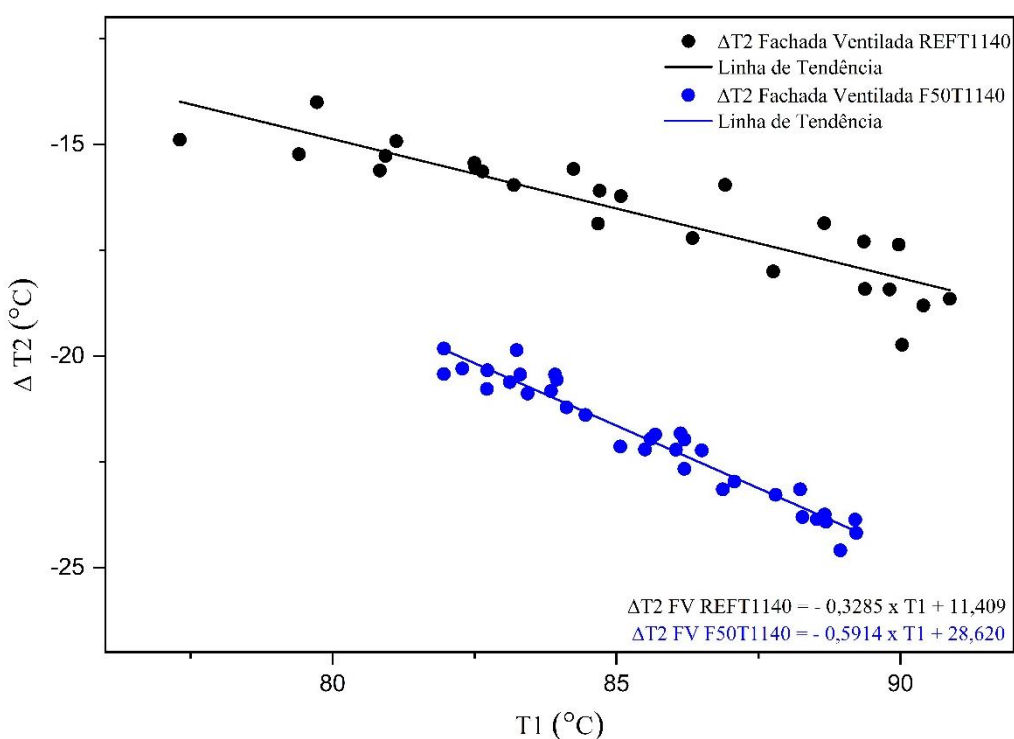
Tipo de Ensaio	Termopares				ΔT		
	T1 - Estufa	T2 - Revestimento	T4 - Parede gesso	T5 - Caixa madeira	$\Delta T2$	$\Delta T4$	$\Delta T5$
Ensaio Térmico Simulando uma Fachada Tradicional	85,46	-	61,30	30,59	-	24,15	54,87
Ensaio Térmico Simulando uma Fachada ventilada – REFT1140	85,13	68,57	27,81	22,24	16,56	57,32	62,89
Ensaio Térmico Simulando uma Fachada ventilada – F50T1140	85,57	63,59	26,09	20,56	22,0	59,48	65,01

Nota: Média da temperatura para cada termopar (°C).

Fonte: Do Autor (2026).

A Figura 47 mostra os resultados de ΔT_2 (Δ das médias das temperaturas do revestimento em função de T_1) para as fachadas ventiladas com as amostras REFT1140 e F50T1140 em função de T_1 – estufa. Ambas as fachadas ventiladas apresentaram o mesmo comportamento para T_1 . No entanto, por meio da linha de tendência, verifica-se que a taxa de redução de ΔT_2 é maior para as amostras F50T1140. Desta maneira, pode-se concluir que a transferência de calor por condução das amostras F50T1140 é menor do que as apresentadas pelas amostras REFT1140.

Figura 47 - ΔT_2 das fachadas ventiladas estudadas em função de T_1 – estufa.

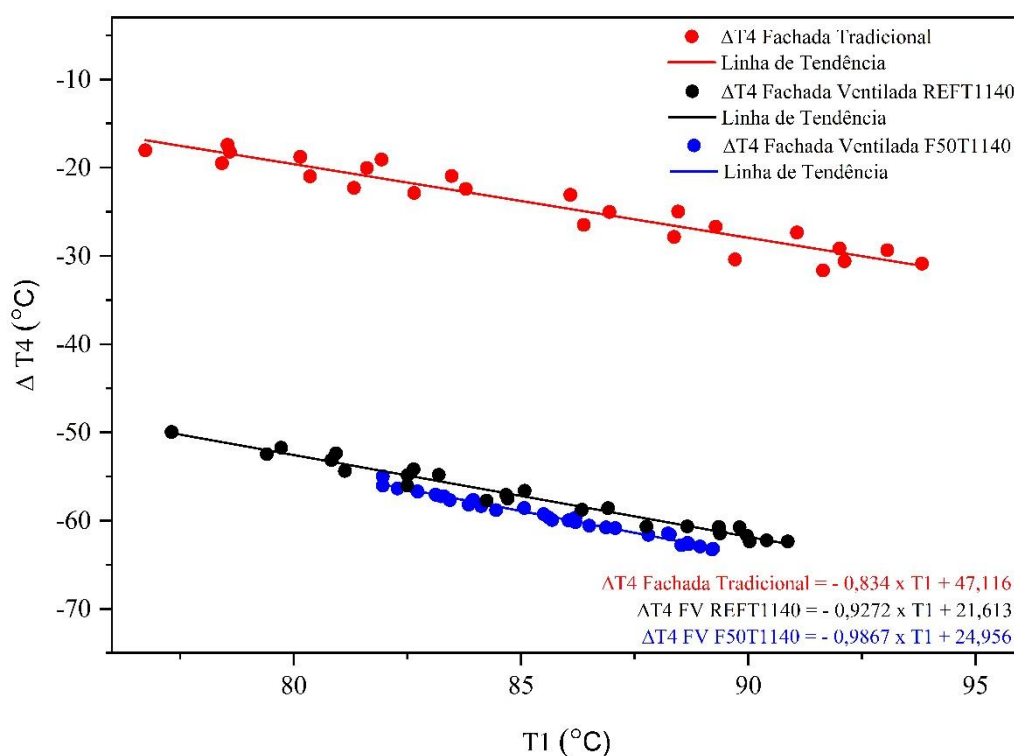


Fonte: Do Autor (2026).

Ao comparar os valores de ΔT_4 (Δ das médias das temperaturas da superfície da parede de gesso em função de T_1) obtidos nos ensaios com as fachadas ventiladas (amostras REFT1140 e F50T1140) com o ensaio com a fachada tradicional (Tabela 26), observa-se que, como o esperado, com a presença da fachada ventilada ocorreu uma maior redução de temperatura na parede de gesso. No ensaio com a fachada tradicional, a redução foi de apenas 24,15 °C. No ensaio com a presença do sistema de fachada ventilada, as reduções médias de temperatura foram de 57,32 °C para as amostras com REFT1140 e 59,48 °C para as amostras com os corpos cerâmicos porosos F50T1140. A Figura 48 mostra o ΔT_4 das fachadas ventiladas

estudadas em função de T1 - estufa. O $\Delta T4$ é menor para a fachada ventilada com as amostras F50T1140 na faixa de 70 a 95 °C.

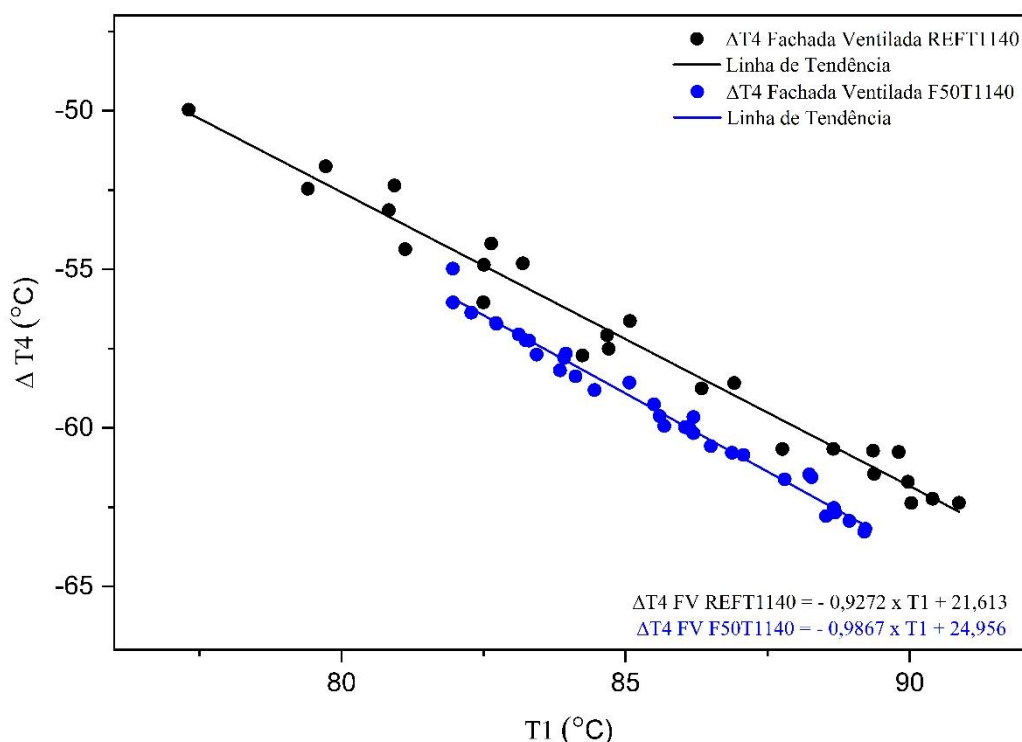
Figura 48 - $\Delta T4$ (Δ das médias das temperaturas da superfície da parede de gesso em função de T1) da fachada tradicional e das fachadas ventiladas estudadas em função de T1.



Fonte: Do Autor (2026).

A Figura 49 mostra os resultados de $\Delta T4$ para o ensaio com a fachada ventilada com as amostras REFT1140 e F50T1140. A análise dos valores de $\Delta T4$ evidencia que a amostra F50T1140 apresentou desempenho térmico superior em comparação à REFT1140, indicando que a transferência de calor por condução entre a estufa (T1) e a superfície da parede de gesso (T4) foi menor na formulação com maior teor de calcário.

Figura 49 - $\Delta T4$ das fachadas ventiladas estudadas em função de $T1$ – estufa.

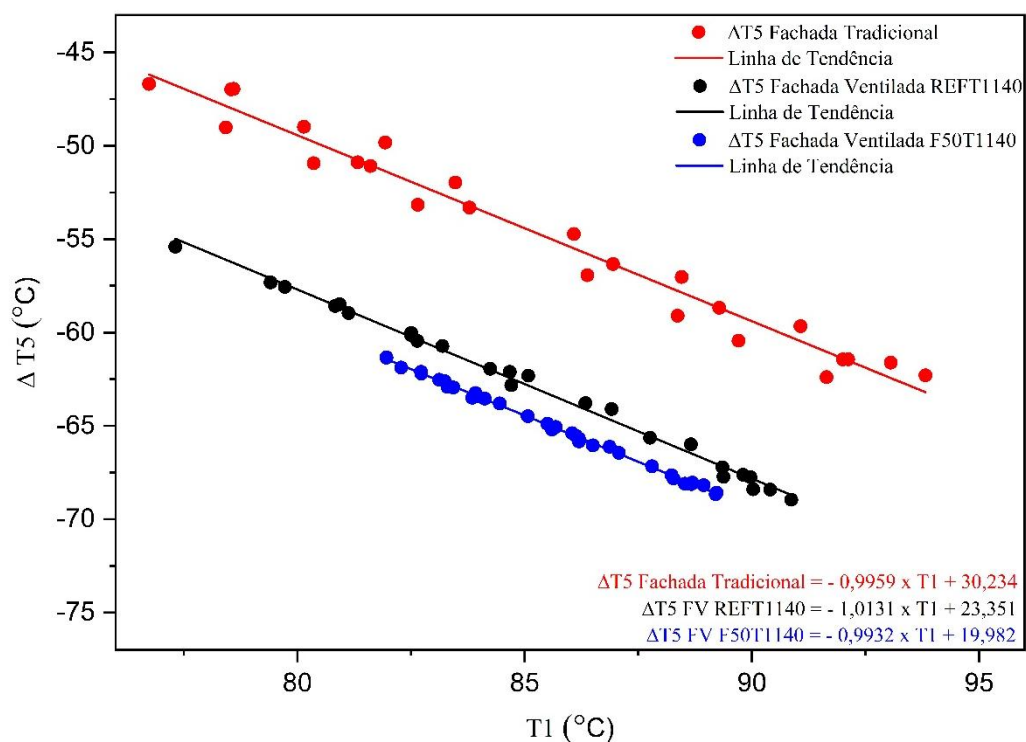


Fonte: Do Autor (2026).

A Figura 50, mostra os valores de $\Delta T5$ (Δ das médias das temperaturas da caixa de madeira em função de $T1$) para os ensaios da fachada tradicional e fachadas ventiladas. De acordo com os dados da Tabela 26, observa-se uma redução significativa da temperatura no interior da caixa de madeira (Caixa 02) quando o sistema de fachada ventilada é utilizado. O $\Delta T5$ registrado para a fachada tradicional, foi de 54,87 °C, enquanto os sistemas de fachadas ventiladas apresentaram $\Delta T5$ de 62,89 °C para as amostras REFT1140 e $\Delta T5$ de 65,01 °C para as amostras F50T1140. Como esperado, o uso da fachada ventilada reduziu significativamente a temperatura dentro da caixa de madeira (Caixa 02) em comparação com a fachada tradicional, em aproximadamente 10 °C. Os resultados permitem concluir que o sistema de fachada ventilada oferece maior conforto térmico no ambiente interno, quando comparadas ao sistema de fachada tradicional.

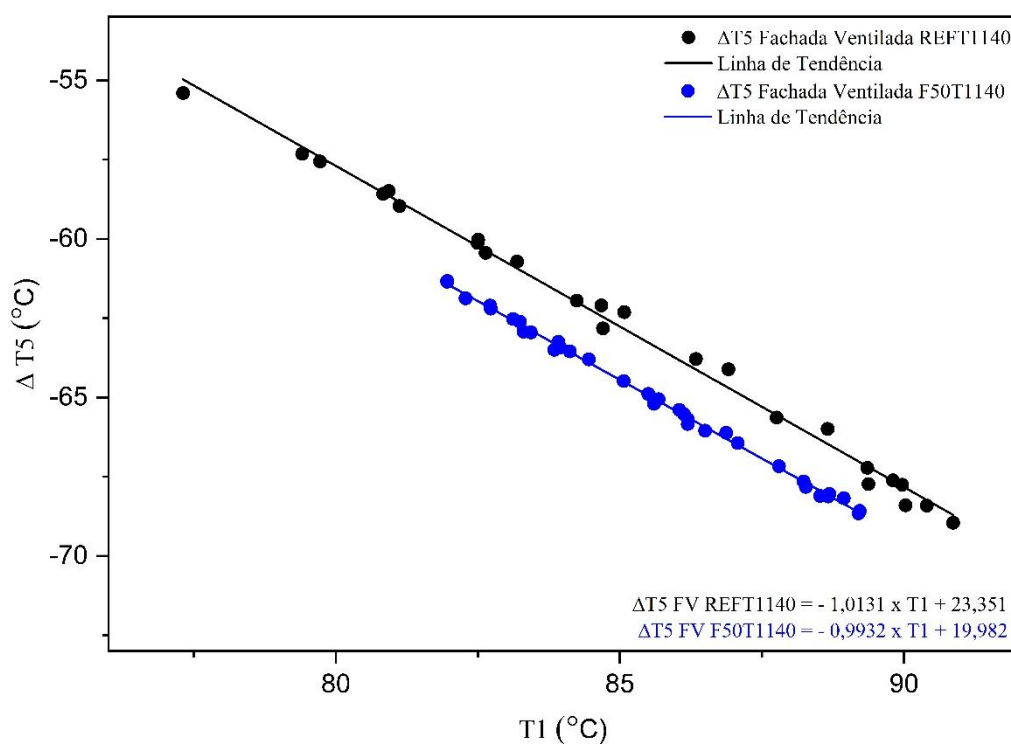
A Figura 51 apresenta os resultados de $\Delta T5$ para o ensaio com a fachada ventilada com as amostras REFT1140 e F50T1140. A análise dos valores de $\Delta T5$ confirma que a amostra F50T1140 apresentou desempenho térmico superior em comparação à REFT1140. A fachada ventilada com as amostras F50T1140 apresentou uma redução de 2 °C superior à da fachada ventilada REFT1140.

Figura 50 - ΔT_5 da fachada tradicional e das fachadas ventiladas estudadas em função de T_1 .



Fonte: Do Autor (2026).

Figura 51 - ΔT_5 das fachadas ventiladas estudadas em função de T_1 – estufa.



Fonte: Do Autor (2026).

Considerando os dados apresentados, pode-se concluir que o sistema de fachada ventilada composto por placas cerâmicas porosas pode reduzir significativamente a temperatura interna dos ambientes em comparação a fachadas tradicionais e sistema de fachadas ventiladas no qual são empregados materiais cerâmicos densos. Como o esperado, o material cerâmico F50T1140 que apresenta menor condutividade térmica ($0,21 \pm 0,02 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) em relação ao REFT1140 ($0,44 \pm 0,15 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) apresentou ser mais eficiente.

Desta maneira, os resultados da redução de temperatura da caixa de madeira que simula um cômodo dentro da edificação (caixa 02) em função da temperatura da estufa, indicaram que o sistema de fachada ventilada resultou em um melhor desempenho térmico quando comparado à fachada tradicional, com 14,6 % para a fachada ventilada com corpos cerâmicos REFT1140 e de 18,5 % para a fachada ventilada com corpos cerâmicos F50T1140, ambos em relação à fachada tradicional. Ao comparar diretamente as duas fachadas ventiladas, os corpos cerâmicos F50T1140 apresentaram um desempenho térmico 3,4 % superior ao das amostras REFT1140.

Pizzatto *et al* (2021b), avaliaram o comportamento térmico de uma fachada ventilada composta por amostras contendo 40 % de peso de lama de cal e temperatura de queima de 1100 °C e comparado com o de uma placa cerâmica de porcelanato comercial. Os resultados se mostraram semelhantes aos da presente pesquisa, na qual a fachada ventilada composta pelas placas cerâmicas porosas estudadas apresentaram maior redução de temperatura entre o ambiente externo e o interior de uma caixa representando um edifício, com ΔT_5 de 65,7 °C, em comparação com a fachada composta pelas placas cerâmicas de porcelana comerciais, com ΔT_5 de 56,0 °C e ΔT_5 de 49,1 °C para a fachada tradicional.

5.4.4 Ensaio Acústico

O som está presente no cotidiano das pessoas e origina-se das vibrações de corpos que se propagam por meio de materiais gasosos, líquidos ou sólidos, influenciando diretamente na maneira de como o ser humano percebe e interage com o ambiente. Quando o som se torna indesejado, ele se transforma em ruído. O ruído afeta o bem-estar do indivíduo, causando estresse e distúrbios emocionais e físicos. A distinção entre som e ruído é subjetiva. Essa subjetividade é influenciada pela percepção individual. A avaliação quantitativa do som é realizada por meio da medição de intensidade, sendo comumente representada na escala logarítmica de decibéis (dB), que corresponde aos níveis de pressão sonora (Moges *et al.*, 2024).

A presente pesquisa executou ensaios com o aparato acústico com o objetivo de comparar o desempenho de redução de pressão sonora do sistema de fachadas ventiladas com os materiais

estudados. Foram realizados três ensaios com o aparato acústico: ensaio acústico simulando uma fachada tradicional, ensaio acústico simulando uma fachada ventilada com a formulação REF (REFT1140) e ensaio acústico simulando uma fachada ventilada com a melhor condição experimental obtida (F50T1140).

As planilhas completas contendo os dados brutos de nível de pressão sonora registrados durante os ensaios acústicos para a categoria do ruído externo estão apresentadas no Apêndice F. Esses dados correspondem às medições realizadas para os diferentes tipos de fachadas ensaiadas e os cinco tipos de ruídos sonoros reproduzidos externos, estando organizados nas Tabelas F.1 a F.5.

A Tabela 277 mostra os resultados das médias aritméticas do nível de pressão sonora e diferença da relação sinal-ruído (intervalo de confiança de 95 %) das três condições experimentais de fachadas analisadas, para os cinco diferentes tipos de ruídos sonoros reproduzidos externamente: ambiente de construção, ambiente barulho de trânsito urbano, ambiente de bar, ambiente de feira e ambiente de crianças brincando em níveis de volume 30, 50 e 100 dB.

Nos ensaios com excitação por ruídos externos, a fonte sonora (caixa de som portátil JBL GO 4) foi posicionada frontalmente ao aparato acústico, a uma distância de 2 m. A análise do desempenho acústico foi conduzida considerando os dados obtidos pelo decibelímetro Minipa MSL-1325, posicionado no interior da caixa 02. O objetivo foi avaliar a redução do nível de ruído no interior da caixa 02 do aparato acústico, que simula um cômodo no interior de uma edificação, a fim de comparar o desempenho acústico dos três tipos de fachadas ensaiadas. As medições realizadas para mostrar a influência do volume sonoro e a consistência das diferenças observadas entre os tipos de fachada.

A partir dos dados da Tabela 27, é possível concluir que, em todas as condições testadas, a instalação de uma fachada ventilada resulta em redução dos níveis de pressão sonora registrados no interior da edificação simulada, em comparação com a fachada tradicional.

Tabela 27 - Médias aritméticas do nível de pressão sonora (dB) para cada condição experimental obtidas com os decibelímetros e diferença da relação sinal-ruído para cada condição experimental analisada (intervalo de confiança de 95 % - IC 95 %) para a categoria do ruído externo.

Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente de Construção									
Tipo de Ensaio		Decibelímetro Fluke 495 (posição: frontalmente a cabine)				Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posição: dentro da Caixa 02)			
		RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100
Ensaio Acústico simulando uma Fachada Tradicional	Média	37,29±0,09	66,62± 0,41	84,78± 0,36	104,26±0,38	29,75±0,10	30,33±0,34	37,90±0,45	58,84±0,59
	IC ₉₅ %	-	29,33 ±0,40	47,49 ±0,28	66,97 ± 0,31	-	0,58±0,23	8,15±0,29	29,09±0,44
Ensaio Acústico Simulando uma Fachada Ventilada – REFT1140	Média	36,81±0,23	66,35±0,32	84,34±0,27	104,30±0,20	29,36±0,08	29,83±0,08	36,31±0,41	54,27±0,56
	IC ₉₅ %	-	29,54 ±0,26	47,53 ±0,20	67,49 ± 0,20	-	0,47 ± 0,06	6,95 ± 0,23	24,91 ± 0,38
Ensaio Acústico Simulando uma Fachada Ventilada – Melhor Condição Experimental – F50T1140	Média	36,38 ±0,15	66,30 ± 0,15	84,24 ± 0,17	104,14 ± 0,13	29,88±0,13	30,26±0,24	36,05±0,18	53,28±0,26
	IC ₉₅ %	-	29,92 ±0,15	47,86 ±0,15	67,76 ± 0,14	-	0,38 ± 0,18	6,17 ± 0,17	23,40 ± 0,23
Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente Barulho de Trânsito Urbano									
Tipo de Ensaio		Decibelímetro Fluke 495 (posição: frontalmente a cabine)				Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posição: dentro da Caixa 02)			
		RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100
Ensaio Acústico simulando uma Fachada Tradicional	Média	37,27±0,06	68,74 ±0,53	87,65 ±0,54	103,90 ±0,42	29,76 ± 0,06	31,46 ± 0,42	43,69 ± 0,44	58,02 ± 0,38
	IC ₉₅ %	-	31,46 ±0,39	50,38 ±0,40	66,63 ± 0,27	-	1,71 ± 0,31	13,93 ± 0,33	28,27 ± 0,27
Ensaio Acústico Simulando uma Fachada Ventilada – REFT1140	Média	37,06 ±0,13	68,24 ±0,26	87,31 ± 0,1	103,41 ±0,32	29,51 ± 0,07	30,53 ± 0,28	41,40 ± 0,53	56,20 ± 0,52
	IC ₉₅ %	-	31,18 ±0,22	50,25 ±0,13	66,35 ± 0,26	-	1,03 ± 0,14	11,89 ± 0,35	26,69 ± 0,40
Ensaio Acústico Simulando uma Fachada Ventilada – Melhor Condição Experimental – F50T1140	Média	37,25 ±0,14	68,38 ±0,23	87,67 ±0,16	103,27 ±0,34	29,92 ± 0,17	30,47 ± 0,12	40,60 ± 0,24	54,84 ± 0,48
	IC ₉₅ %	-	31,12 ±0,18	50,42 ±0,16	66,01 ± 0,25	-	0,55 ± 0,15	10,68 ± 0,23	24,92 ± 0,40
Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente de Bar									
Tipo de Ensaio		Decibelímetro Fluke 495 (posição: frontalmente a cabine)				Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posição: dentro da Caixa 02)			
		RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100
Ensaio Acústico simulando uma Fachada Tradicional	Média	37,35 ±0,16	69,79 ±0,11	92,51 ±0,42	107,03 ±0,44	30,08 ± 0,19	32,78 ± 0,43	42,70 ± 0,37	58,58 ± 0,54
	IC ₉₅ %	-	32,43 ±0,13	55,16 ±0,33	69,67 ± 0,30	-	2,70 ± 0,31	12,63 ± 0,26	28,50 ± 0,41
	Média	37,39±0,15	69,44±0,52	92,45±0,25	107,03±0,17	29,28 ± 0,04	30,23 ± 0,27	40,67 ± 0,34	56,56 ± 0,37

Ensaio Acústico Simulando uma Fachada Ventilada – REFT1140	IC _{95 %}	-	32,05 ± 0,42	55,06 ± 0,20	69,64 ± 0,14	-	0,95 ± 0,13	11,39 ± 0,26	27,27 ± 0,29
Ensaio Acústico Simulando uma Fachada Ventilada – Melhor Condição Experimental – F50T1140	Média	37,33 ± 0,18	69,43 ± 0,20	92,65 ± 0,12	107,26 ± 0,25	29,92 ± 0,15	30,50 ± 0,24	40,70 ± 0,21	56,45 ± 0,39
	IC _{95 %}	-	32,10 ± 0,18	55,32 ± 0,14	69,92 ± 0,20	-	0,58 ± 0,21	10,78 ± 0,20	26,53 ± 0,35

Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente de Feira

Tipo de Ensaio		Decibelímetro Fluke 495 (posição: frontalmente a cabine)				Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posição: dentro da Caixa 02)			
		RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100
Ensaio Acústico simulando uma Fachada Tradicional	Média	37,91 ±0,12	72,84 ±0,37	92,04 ±0,52	105,56 ±0,36	29,64 ± 0,09	30,78 ± 0,41	43,95 ± 0,32	57,99 ± 0,37
	IC _{95 %}	-	34,94 ±0,27	54,14 ±0,37	67,65 ± 0,28	-	1,13 ± 0,25	14,31 ± 0,24	28,35 ± 0,26
Ensaio Acústico Simulando uma Fachada Ventilada – REFT1140	Média	37,18 ±0,13	72,58 ±0,30	92,23 ±0,24	105,13 ±0,49	29,31 ± 0,04	29,93 ± 0,25	41,17 ± 0,46	56,09 ± 0,32
	IC _{95 %}	--	35,40 ±0,20	55,04 ±0,18	67,94 ± 0,38	-	0,63 ± 0,13	11,86 ± 0,32	26,78 ± 0,25
Ensaio Acústico Simulando uma Fachada Ventilada – Melhor Condição Experimental – F50T1140	Média	37,38 ±0,40	72,65 ±0,18	92,10 ±0,24	105,33 ±0,37	30,04 ± 0,16	30,55 ± 0,27	39,95 ± 0,46	55,82 ± 0,21
	IC _{95 %}	-	35,27 ±0,29	54,72 ±0,31	67,95 ± 0,39	-	0,51 ± 0,27	9,91 ± 0,43	25,78 ± 0,23

Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente de Crianças Brincando

Tipo de Ensaio		Decibelímetro Fluke 495 (posição: frontalmente a cabine)				Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posição: dentro da Caixa 02)			
		RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100
Ensaio Acústico simulando uma Fachada Tradicional	Média	37,82 ±0,21	61,06 ±0,45	79,74 ±0,39	100,11 ±0,58	29,74 ± 0,07	29,78 ± 0,40	31,63 ± 0,46	45,92 ± 0,45
	IC _{95 %}	-	23,24 ±0,35	41,92 ±0,30	62,29 ± 0,44	-	0,04 ± 0,21	1,89 ± 0,32	16,18 ± 0,32
Ensaio Acústico Simulando uma Fachada Ventilada – REFT1140	Média	37,68 ±0,15	61,37 ±0,29	79,21 ±0,21	100,43 ±0,16	29,46 ± 0,14	29,49 ± 0,18	30,81 ± 0,27	44,87 ± 0,38
	IC _{95 %}	-	23,69 ±0,21	41,53 ±0,17	62,75 ± 0,14	-	0,03 ± 0,11	1,35 ± 0,14	15,41 ± 0,31
Ensaio Acústico Simulando uma Fachada Ventilada – Melhor Condição Experimental – F50T1140	Média	37,41 ±0,33	60,94 ±0,18	79,56 ±0,08	100,16 ±0,30	29,89 ± 0,16	29,91 ± 0,04	30,81 ± 0,16	44,65 ± 0,35
	IC _{95 %}	-	23,53 ±0,21	42,15 ±0,17	62,75 ± 0,28	-	0,02 ± 0,10	0,92 ± 0,16	14,76 ± 0,32

Nota: Todos os níveis de pressão sonora estão expressos em dB(A).

Fonte: Do Autor (2026).

Os níveis médios internos, no interior da caixa de madeira 02, e a diferença da relação sinal-ruído (Δ SNR) com intervalo de confiança de 95 % ($IC_{95\%}$), confirmam o desempenho superior das fachadas ventiladas para os cinco tipos de ruídos sonoros reproduzidos, quando comparados aos três tipos de fachada analisadas. Observa-se que a redução do nível de ruído no interior da caixa, que simula um cômodo no interior de uma edificação, é maior para as fachadas ventiladas, sobretudo para a fachada ventilada F50T1140, que apresentou os melhores resultados entre todas as condições testadas.

Para o ruído de som ambiente de construção, para o volume a 100 dB, a Δ SNR mostra que a fachada tradicional apresentou o maior valor, com $29,09 \pm 0,44$ dB, enquanto as fachadas ventiladas apresentaram valores reduzidos, com $24,91 \pm 0,38$ dB para REFT1140 e $23,40 \pm 0,23$ dB para F50T1140. Esses resultados representam a uma redução de 19,55 % da relação sinal-ruído para a F50T1140 em comparação à fachada tradicional, e de 6,06 % entre REFT1140 e F50T1140. Para o ensaio com a fachada ventilada F50T1140, a comparação entre o nível de ruído do ambiente externo simulado e o nível de ruído dentro do cômodo simulado apresentou uma redução de 44,36 dB, enquanto a fachada tradicional apresentou 37,88 dB.

A análise dos dados da categoria ruído externo mostra que, independentemente dos tipos de ruídos sonoros reproduzidos (ambiente de construção, barulho de trânsito urbano, bar, feira e crianças brincando), os valores médios de pressão sonora registrados foram mais baixos para a fachada F50T1140, quando comparados com as demais condições de ensaio. A elevada porosidade favorece a dissipação da energia sonora por absorção e reflexão interna, reduzindo a amplitude das ondas que atravessam o revestimento. Os intervalos de confiança calculados ($IC_{95\%}$) mostram repetibilidade e confiança nos dados obtidos, com variações pequenas entre as repetições experimentais.

Os dados obtidos apresentam médias e valores de Δ SNR semelhantes, com variações reduzidas. Esse comportamento demonstra boa repetibilidade das medições e reforça o adequado controle experimental do ensaio, assegurando a confiabilidade dos resultados obtidos.

A Figura G.1, apresentada no Apêndice G, mostra a comparação gráfica da diferença da relação sinal-ruído para os ensaios acústicos realizados com o aparato acústico, considerando os três diferentes tipos de fachada para a categoria ruído externo.

A Tabela 288 mostra os resultados das médias aritméticas do nível de pressão sonora e diferença da relação sinal-ruído (intervalo de confiança de 95 %) dos três tipos de fachadas analisadas, obtidas com os decibelímetros para a categoria do ruído interno, para os três diferentes tipos de ruídos sonoros reproduzidos internos, ambiente de festa, ambiente choro de bebê, ambiente de bateria em níveis de volume 30, 50 e 100 dB.

Nos ensaios com excitação por ruídos internos, a fonte sonora foi posicionada centralizada no interior da caixa 02, localizada na cabine de madeira. O objetivo foi avaliar a redução do nível de ruído no ambiente externo, simulando o entorno imediato de uma edificação.

As planilhas completas contendo os dados brutos de nível de pressão sonora registrados durante os ensaios acústicos, estão apresentadas no Apêndice H. Esses dados correspondem às medições realizadas para as diferentes condições experimentais e tipos de ruídos sonoros reproduzidos, estando organizados nas Tabelas H.1 a H.5.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 28, observa-se que os ensaios acústicos realizados com o sistema de fachada ventilada apresentaram uma diminuição das médias dos níveis de pressão sonora (redução do nível de ruído) no ambiente externo, simulando o entorno imediato de uma edificação, quando comparados aos valores obtidos para a fachada tradicional em todas as condições testadas.

A análise da ΔSNR ($\text{IC}_{95\%}$) mostra que o sistema de fachada ventilada reduz a ΔSNR em relação à fachada tradicional, apresentando melhor desempenho de isolamento acústico para todos os ruídos internos avaliados. A fachada ventilada F50T1140 apresentou, em todos os níveis de volume, os menores valores de ΔSNR entre as condições analisadas.

Para a medição com o decibelímetro que mede o ruído externo posicionado frontalmente à cabine, analisando os dados do ruído de som ambiente de festa, por exemplo, para o volume de 100 dB, os valores de ΔSNR foram de $26,22 \pm 0,25$ dB para a fachada tradicional, $24,14 \pm 0,26$ dB para a REFT1140 e $22,66 \pm 0,20$ dB para a F50T1140. A redução gerada pela fachada ventilada F50T1140 em relação à fachada tradicional foi de 13,6 e de 6,13 % em relação à fachada ventilada REFT1140. Para o ruído som ambiente choro de bebê, a redução originada pela fachada ventilada F50T1140 em relação à fachada tradicional é de 10,7 e de 6,20 % em relação à fachada ventilada REFT1140 e para o som ambiente de bateria a redução é de 11,6 % em relação a fachada tradicional e 3,10 % em relação a REFT1140.

Os dados obtidos apresentam médias e valores de ΔSNR semelhantes, com variações reduzidas, apresentando boa repetibilidade e reforçando o adequado controle experimental do ensaio.

O desempenho acústico superior da fachada ventilada F50T1140 pode ser atribuída à maior porosidade do material cerâmico usado no sistema ($46,41 \pm 0,29$ %), em comparação ao material cerâmico REFT1140 ($12,43 \pm 1,62$ %). A porosidade aberta e interconectada do material favorece o amortecimento das ondas sonoras ao longo da propagação no interior da estrutura (Li; Ren, 2011), bem como a tendência de aumento da absorção sonora com a

porosidade, uma vez que essa formulação apresentou valores superiores de α , sobretudo em altas frequências da faixa audível humana.

A Figura I.1, apresentada no Apêndice I, mostra a comparação da diferença da relação sinal-ruído (Δ SNR) para os ensaios com o aparato acústico representado por gráficos, para a categoria ruído interno.

Tabela 28 - Média aritmética do nível de pressão sonora (dB) para cada condição experimental obtidas com os decibelímetros e diferença da relação sinal-ruído para cada condição experimental analisada (intervalo de confiança de 95 % - IC 95 %) para a categoria do ruído interno.

Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente de Festa									
Tipo de Ensaio		Decibelímetro Fluke 495 (posição: frontalmente a cabine)				Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posição: dentro da Caixa 02)			
		RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100
Ensaio Acústico simulando uma Fachada Tradicional	Média	36,89±0,18	38,52±0,47	48,03±0,55	63,11±0,39	30,27±0,12	63,91 ±0,45	81,73 ±0,48	84,68 ±0,08
	IC ₉₅ %	-	1,63 ± 0,30	11,14 ± 0,42	26,22 ± 0,25	-	33,64 ±0,24	51,45 ±0,29	54,40 ±0,07
Ensaio Acústico Simulando uma Fachada Ventilada – REFT1140	Média	36,95 ±0,16	37,28 ±0,35	46,12 ± 0,45	61,09 ± 0,43	29,68 ± 0,07	63,55 ±0,20	81,53 ±0,13	84,18 ±0,14
	IC ₉₅ %	-	0,34 ± 0,18	9,17 ± 0,27	24,14 ± 0,26	-	33,87 ±0,13	51,84 ±0,10	54,49 ± 0,08
Ensaio Acústico Simulando uma Fachada Ventilada – Melhor Condição Experimental – F50T1140	Média	35,80 ±0,11	35,81 ±0,43	41,38 ± 0,36	58,46 ± 0,24	30,23 ±0,25	63,74 ±0,10	81,59 ±0,14	84,68 ±0,12
	IC ₉₅ %	-	0,01 ± 0,21	5,58 ± 0,18	22,66 ± 0,20	-	33,51 ±0,20	51,36 ±0,20	54,45 ± 0,19
Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente Choro de Bebê									
Tipo de Ensaio		Decibelímetro Fluke 495 (posição: frontalmente a cabine)				Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posição: dentro da Caixa 02)			
		RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100
Ensaio Acústico simulando uma Fachada Tradicional	Média	36,71 ±0,13	37,61 ±0,27	46,19 ±0,37	61,69 ±0,40	30,11 ± 0,09	62,37 ±0,52	80,08 ±0,52	85,59 ±0,11
	IC ₉₅ %	-	0,90 ± 0,19	9,48 ± 0,26	24,99 ± 0,24	-	32,26 ±0,36	49,96 ±0,38	55,48 ±0,09
Ensaio Acústico Simulando uma Fachada Ventilada – REFT1140	Média	36,68 ±0,15	36,99 ±0,25	43,82 ±0,45	60,48 ±0,37	29,63 ± 0,07	62,20 ±0,24	80,12 ±0,27	84,96 ±0,40
	IC ₉₅ %	-	0,31 ± 0,16	7,14 ± 0,32	23,79 ± 0,26	-	32,57 ±0,15	50,49 ±0,18	55,33 ± 0,19
Ensaio Acústico Simulando uma Fachada Ventilada – Melhor Condição Experimental – F50T1140	Média	35,62 ±0,18	35,77 ±0,36	40,95 ± 0,43	57,93 ± 0,19	29,83 ±0,06	62,18 ±0,17	80,00 ±0,14	85,00 ±0,12
	IC ₉₅ %	-	0,16 ± 0,20	5,33 ± 0,39	22,32 ± 0,19	-	32,36 ±0,15	50,18 ±0,12	55,18 ± 0,08
Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente de Bateria									
Tipo de Ensaio		Decibelímetro Fluke 495 (posição: frontalmente a cabine)				Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posição: dentro da Caixa 02)			
		RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100
Ensaio Acústico simulando uma Fachada Tradicional	Média	36,89 ±0,21	37,95 ±0,43	45,69 ± 0,49	57,74 ± 0,46	29,82 ± 0,08	58,94 ±0,56	75,06 ±0,55	83,79 ±0,35
	IC ₉₅ %	-	1,06 ± 0,23	8,79 ± 0,36	20,85 ± 0,32	-	29,12 ±0,41	45,25 ±0,40	53,97 ±0,21
	Média	37,17 ±0,17	37,63 0,21	42,68 ± 0,49	56,20 ± 0,55	29,77 ± 0,10	58,67 ±0,13	75,43 ±0,13	83,63 ±0,19

Ensaio Acústico Simulando uma Fachada Ventilada – REFT1140	IC ₉₅ %	-	0,46 ± 0,15	5,51 ± 0,34	19,03 ± 0,34	-	28,90 ± 0,11	45,66 ± 0,10	53,86 ± 0,14
	Média	35,48 ± 0,19	35,74 ± 0,17	39,99 ± 0,39	53,93 ± 0,37	29,79 ± 0,05	58,73 ± 0,15	75,45 ± 0,10	83,66 ± 0,21
Ensaio Acústico Simulando uma Fachada Ventilada – Melhor Condição Experimental – F50T1140	IC ₉₅ %	-	0,25 ± 0,14	4,51 ± 0,24	18,44 ± 0,30	-	28,94 ± 0,12	45,66 ± 0,09	53,87 ± 0,16
	Média	35,48 ± 0,19	35,74 ± 0,17	39,99 ± 0,39	53,93 ± 0,37	29,79 ± 0,05	58,73 ± 0,15	75,45 ± 0,10	83,66 ± 0,21

Nota: Todos os níveis de pressão sonora estão expressos em dB(A).

Fonte: Do Autor (2026).

Para a análise estatística, foi considerada a diferença da relação sinal-ruído (ΔSNR), os níveis de volume da fonte sonora (30, 50 e 100 dB) e os tipos de ruído externo e interno, sendo as diferenças avaliadas por meio de ANOVA bifatorial ($\alpha = 0,05$).

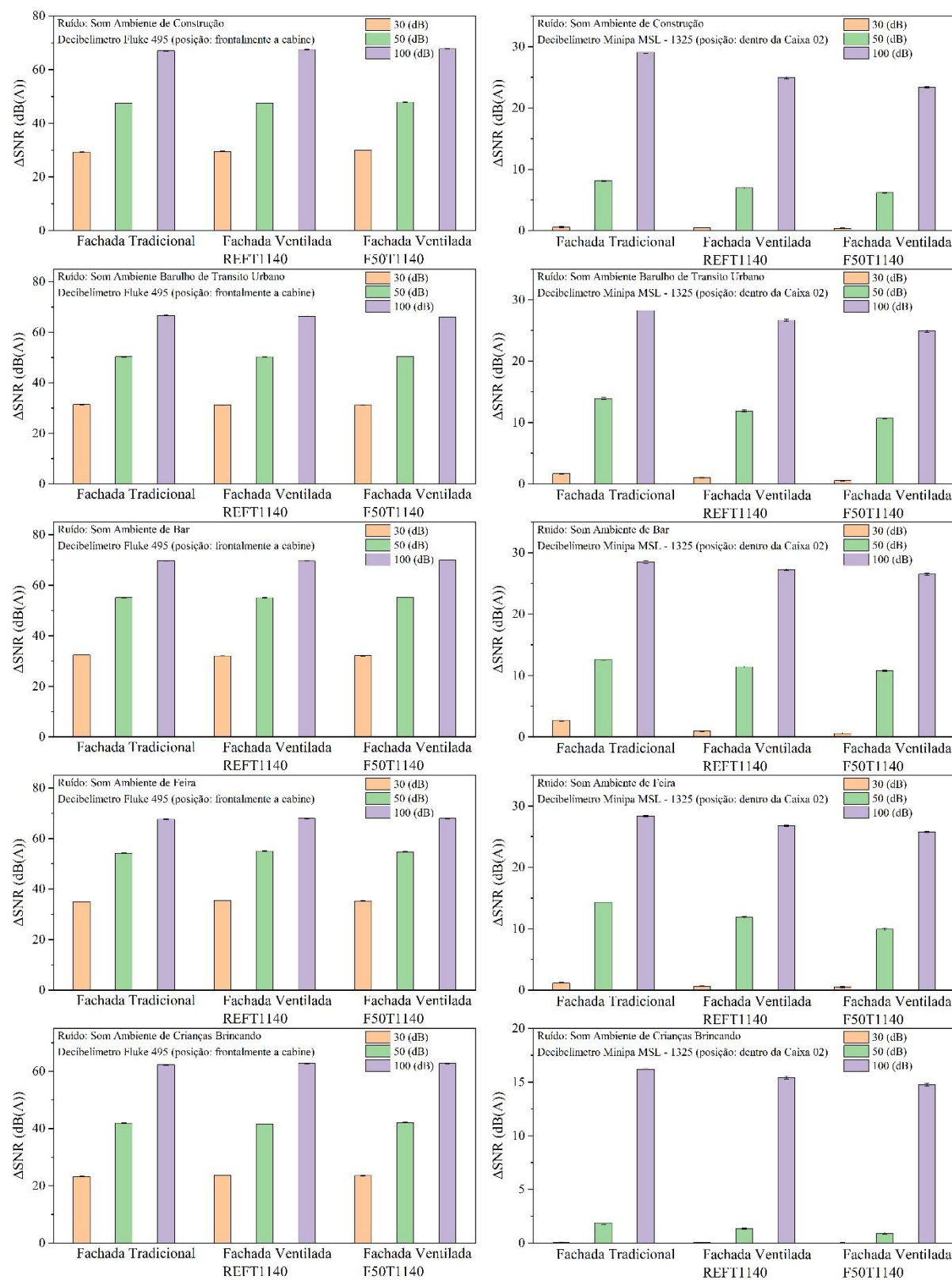
Os resultados completos da análise estatística referente aos ruídos externos, encontram-se no Apêndices J.

A ANOVA bifatorial aplicada aos dados de ΔSNR mostra que o fator fachada e o fator volume sonoro apresentam efeito estatisticamente significativo em todos os tipos de ruído analisados, com valores de p inferiores a 0,05. Esses resultados demonstram que os diferentes tipos de fachada influenciam de maneira significativa o desempenho de isolamento acústico em relação aos ruídos externos. A análise estatística comprova, ainda, que a fachada ventilada F50T1140 apresentou desempenho acústico superior quando comparada à fachada tradicional e à fachada ventilada REFT1140.

Os baixos valores de erro padrão ($\text{SE}(\Delta\text{SNR}) < 0,5$ dB) e as margens de erro (ME) reduzidas dos intervalos de confiança de 95 % mostram baixa variabilidade experimental e elevada confiabilidade dos resultados.

A Figura 52 apresenta os valores médios da diferença da relação sinal-ruído (ΔSNR) para ruídos externos, obtidos para três configurações de fachada (tradicional, ventilada REFT1140 e ventilada F50T1140) e três níveis de volume sonoro (30, 50 e 100 dB).

Figura 52 - Valores médios de Δ SNR para as configurações de fachada avaliadas. A ANOVA bifatorial indicou efeito significativo do volume ($p < 0,05$) e efeito do tipo de fachada dependente do ruído externo e do equipamento de medição.



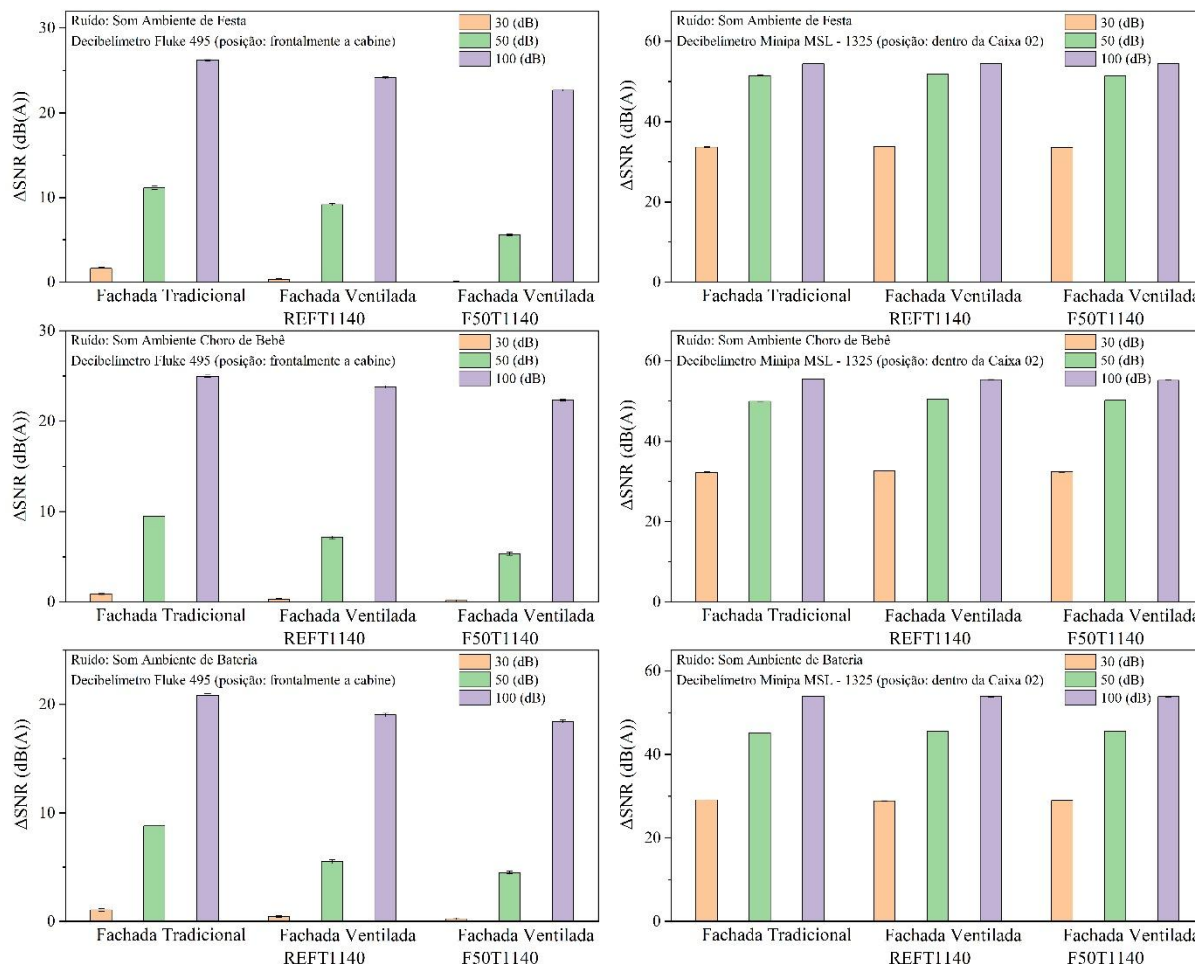
Fonte: Do Autor (2026).

A ANOVA bifatorial ($\alpha = 0,05$), avaliada sobre os dados de Δ SNR obtidos com o decibelímetro posicionado frontalmente à cabine de ensaio, mostrou que os fatores fachada e volume sonoro apresentaram efeito estatisticamente significativo em todos os cenários analisados ($p < 0,05$). A análise estatística comprova que a fachada ventilada F50T1140 apresentou os menores valores de Δ SNR, indicando menor propagação sonora para o ambiente externo e, conseqüentemente, o melhor desempenho acústico quando comparada à fachada tradicional e à fachada ventilada REFT1140.

Os resultados completos da análise estatística referente aos ruídos internos encontram-se no Apêndice L.

A Figura 53 apresenta os valores médios da diferença da relação sinal-ruído (Δ SNR) para ruídos internos, obtidos para três configurações de fachada (tradicional, ventilada REFT1140 e ventilada F50T1140) e três níveis de volume sonoro (30, 50 e 100 dB).

Figura 53 - Valores médios de Δ SNR para as configurações de fachada avaliadas. A ANOVA bifatorial indicou efeito significativo do volume ($p < 0,05$) e efeito do tipo de fachada dependente do ruído interno e do equipamento de medição.



Fonte: Do Autor (2026).

A Etapa 03 confirmou a formulação F50T1140 como a mais adequada para aplicação em sistemas de fachada ventilada. Os resultados mostraram que a elevada absorção de água ($21,48 \pm 0,14$ %) reflete a presença de uma microestrutura altamente porosa, contrastando com os revestimentos porcelânicos convencionais, que apresentam absorção de água baixíssimas. Embora a elevada porosidade tenha influenciado na redução do módulo de elasticidade ($1,46 \pm 0,07$ GPa), a diminuição da rigidez do material resultou em melhoria no desempenho de isolamento acústico. Os ensaios térmicos realizados com o aparato experimental demonstraram que a fachada ventilada F50T1140 apresentou maior redução da transferência de calor, expressa pelo aumento da variação térmica superiores aos observados na fachada tradicional e na fachada ventilada REFT1140, resultando em redução da temperatura no ambiente que simulava o cômodo dentro de uma edificação de até 18,5 %. Os ensaios acústicos, validados por análise

estatística, indicaram menores valores de diferença da relação sinal-ruído em todas as condições avaliadas, confirmando desempenho superior no isolamento acústico. Desta maneira, a avaliação conjunta das propriedades físicas, mecânicas, térmicas e acústicas demonstrou que a formulação F50T1140 atende aos requisitos técnicos para aplicação em sistemas de fachadas ventiladas.

6 CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como objetivo o desenvolvimento de placas cerâmicas de elevada porosidade, obtidas a partir de matérias-primas comerciais, com aplicação em sistemas de fachada ventilada. O trabalho investigou a influência da incorporação de calcário como agente porogênico sobre a microestrutura do material e seus efeitos no comportamento mecânico, térmico e acústico das placas cerâmicas. Para isso, foram avaliadas diferentes formulações cerâmicas contendo 40, 45 e 50 % de calcário, submetidas a três temperaturas de queima (1120, 1140 e 1160 °C). Aparatos experimentais para a simulação do comportamento térmico e acústico de sistemas de fachada ventilada foram desenvolvidos e empregados, contribuindo para a avaliação integrada do desempenho funcional desses sistemas.

Os resultados demonstraram que o teor de calcário incorporado à formulação de referência exerce influência direta e determinante na microestrutura dos corpos cerâmicos desenvolvidos. O aumento progressivo do teor de calcário nas formulações promoveu a formação de fases ricas em cálcio, como wollastonita e gehlenita, além da presença de anortita. A decomposição térmica da calcita, associada à elevada perda ao fogo do calcário (39,92 %), resultou na liberação de CO₂ durante a sinterização, contribuindo para a geração de porosidade.

A formulação de referência (REF) apresentou maiores valores de resistência mecânica à flexão ($38,90 \pm 8,80$ MPa) e condutividade térmica ($0,60 \pm 0,09$ W/(m·K)). Em contrapartida, o aumento da porosidade resultou em redução da densidade aparente, resistência mecânica à flexão e condutividade térmica, acompanhadas por aumento do coeficiente de absorção sonora e da perda de transmissão sonora. A temperatura de queima de 1140 °C mostrou-se a mais adequada, ao estabelecer um bom comprometimento entre porosidade ($46,41 \pm 0,29$ %) e resistência mecânica ($20,39 \pm 1,52$ MPa), além de menores valores de condutividade térmica ($0,21 \pm 0,02$ W/(m·K)) e maiores valores de coeficiente de absorção sonora ($0,21 \pm 0,04$ para altas frequências). Demonstrou-se que, mesmo com elevado teor de calcário (até 50 %) e alta porosidade, o material mantém resistência mecânica compatível com a classe BIII, sendo viável para aplicação em fachadas ventiladas.

A condição experimental F50T1140 foi considerada mais adequada para aplicação em sistemas de fachada ventilada. Os resultados mostraram que a elevada absorção de água ($21,48 \pm 0,14$ %) reflete a presença de uma microestrutura altamente porosa, contrastando com os revestimentos porcelânicos convencionais, que apresentam absorção de água baixíssima. Embora a elevada porosidade tenha influenciado na redução do módulo de elasticidade ($1,46 \pm$

0,07 GPa), a diminuição da rigidez do material resultou em melhoria no isolamento acústico. Os ensaios térmicos realizados com o aparato experimental demonstraram que a fachada ventilada F50T1140 apresentou maior redução da transferência de calor, expressa pelo aumento da variação térmica superiores aos observados na fachada tradicional e na fachada ventilada REFT1140, resultando em redução da temperatura no ambiente que simulava o cômodo dentro de uma edificação de até 18,5 %. Os ensaios acústicos, validados por análise estatística, indicaram menores valores de diferença da relação sinal-ruído em todas as condições avaliadas, confirmando desempenho superior no isolamento acústico.

Desta maneira, a avaliação conjunta das propriedades físicas, mecânicas, térmicas e acústicas demonstrou que F50T1140 atende aos requisitos técnicos para aplicação em sistemas de fachadas ventiladas. Adicionalmente, a menor retração linear observada em relação à placa de referência resultou em placas com maior área efetiva por unidade, possibilitando a redução do número de peças necessárias para o revestimento de uma mesma área de fachada, quando comparadas a revestimentos cerâmicos convencionais, como o porcelanato, contribuindo para a racionalização do sistema construtivo, com possibilidade de redução de consumo de material e redução de custo. A formulação F50T1140 se mostrou uma solução tecnicamente adequada e funcionalmente eficiente para sistemas de fachada ventilada, alinhada às demandas da arquitetura contemporânea por desempenho, sustentabilidade e otimização construtiva, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Processamento e queima em ambiente industrial da melhor condição experimental desenvolvida na pesquisa;
- Elaborar um estudo comparativo entre placas cerâmicas porosas e outros materiais alternativos em fachadas ventiladas;
- Desenvolvimento de sistemas de fixação em sistema de fachadas ventiladas para materiais porosos;
- Aplicação de matérias-primas alternativas com uso de resíduos industriais na formulação cerâmica;
- Desenvolvimento de protótipos em escala real e validação em campo;
- Para a execução da caracterização acústica por meio de ensaios em tubo de impedância, considera-se necessária a ampliação do estudo, com maior controle dos parâmetros de conformação e queima, com o objetivo de reduzir as variações microestruturais, bem como a realização dos ensaios com um número maior de amostras.
- Avaliação do Desempenho ao Impacto (Corpo Mole e Corpo Duro) conforme ABNT NBR 15575.
- Quantificação da redução de massa em fachada, análise de impactos ambientais e econômicos, realização de ensaios complementares e validação em condições reais de aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGATHOKLEOUS, Rafaela A.; KALOGIROU, Soteris A. Double skin facades (DSF) and building integrated photovoltaics (BIPV): A review of configurations and heat transfer characteristics. **Renewable Energy**, [S. l.], v. 89, p. 743–756, 2016. DOI: 10.1016/j.renene.2015.12.043. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148115305474>. Acesso em: 13 dez. 2021.

AKIYOSHI, M. M.; SILVA, A. P. Da; SILVA, M. G. Da; PANDOLFELLI, V. C. Condutividade térmica e sua correlação com a temperatura e a massa específica volumétrica de materiais refratários sílico-aluminosos e aluminosos. **Cerâmica**, [S. l.], v. 47, n. 301, p. 19–27, 2001. DOI: 10.1590/s0366-69132001000100005. Acesso em: 7 out. 2019.

ALKHATIB, H.; LEMARCHAND, P.; NORTON, B.; O’SULLIVAN, D. T. J. Deployment and control of adaptive building facades for energy generation, thermal insulation, ventilation and daylighting: A review. **Applied Thermal Engineering**, [S. l.], v. 185, p. 116331, 2021. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2020.116331. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359431120338102>. Acesso em: 28 mar. 2023.

ALLOUHI, A.; EL FOUIH, Y.; KOUSKSOU, T.; JAMIL, A.; ZERAOULI, Y.; MOURAD, Y. Energy consumption and efficiency in buildings: current status and future trends. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 109, p. 118–130, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.05.139. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652615007581>. Acesso em: 7 mar. 2023.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 631-93a: Standard terminology of building constructions**. [s.l: s.n.]. DOI: 10.1520/E0631-15.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E2611-09: Standard test method for measurement of normal incidence sound transmission of acoustical materials based on the transfer matrix method. [S. l.], 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E 283 - Standard test method for determining rate of air leakage through exterior windows, curtain walls, and doors under specified pressure differences across the specimen. [S. l.], 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 330 - Standard test method for structural performance of exterior windows, doors, skylights and curtain walls by uniform static air pressure difference**. [s.l: s.n.].

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 331 - Standard test method for water penetration of exterior windows, skylights, doors, and curtain walls by uniform static air pressure difference.** [s.l: s.n.].

ANFACER. **História da Cerâmica.** 2025. Disponível em: <https://novo.anfacer.org.br/historia-da-ceramica>. Acesso em: 24 nov. 2025.

ASCIONE, Fabrizio; BIANCO, Nicola; IOVANE, Teresa; MASTELLONE, Margherita; MAURO, Gerardo Maria. The evolution of building energy retrofit via double-skin and responsive façades: A review. **Solar Energy**, [S. l.], v. 224, p. 703–717, 2021. DOI: 10.1016/j.solener.2021.06.035. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X2100520X>. Acesso em: 28 mar. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10821-1: 2017 - Esquadrias para Edificações - Parte 1: Esquadrias externas e internas - Terminologia.** Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10821-2: 2017 - Esquadrias para Edificações - Parte 2: Esquadrias externas - Requisitos e classificação.** [s.l: s.n.].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10152:2017 - Acústica - Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações.** Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 10545-4: 2020 - Placas cerâmicas - Parte 4: Determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão.** Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 10545-4: 2020 - Placas cerâmicas - Parte 3: Determinação da absorção de água, porosidade aparente, densidade relativa aparente e densidade aparente.** Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 13006: 2020 - Placas cerâmicas - Definições, classificação, características e marcação.** Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 16283-3:2021 - Acústica - Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações Parte 3: Isolamento de fachada a ruído aéreo.** Rio de Janeiro.

BALLESTEROS, M^a Jesús; FERNÁNDEZ, Marcos D.; BALLESTEROS, José A. Acoustic evaluation of leisure events in two mediterranean cities. **Applied Acoustics**, [S. l.], v. 89, p. 288–296, 2015. DOI: 10.1016/j.apacoust.2014.09.022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003682X14002564>.

BALOCCO, Carla. A simple model to study ventilated facades energy performance. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 34, n. 5, p. 469–475, 2002. DOI: 10.1016/S0378-7788(01)00130-X. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037877880100130X>. Acesso em: 13 dez. 2021.

BANNIER, Emilie; CANTAVELLA, Vicente; PINAZO, Manuel; SOTO, Manuel; SILVA MORENO, Gonzalo. Contribution of the ventilated façade to building energy demand. *Em: CONGRESSO MUNDIAL DE LA CALIDAD DEL AZULEJO Y DEL PAVIMENTO CERÁMICO (QUALICER) 2012*, Castellón, Espanha. **Anais [...]**. Castellón, Espanha: Qualicer, 2012. Disponível em: <https://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/2012009.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2026.

BARBOSA, Sabrina; IP, Kenneth. Perspectives of double skin façades for naturally ventilated buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 40, p. 1019–1029, 2014. DOI: 10.1016/j.rser.2014.07.192. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032114006443>. Acesso em: 13 dez. 2021.

BAZZOCCHI, Frida; BERTAGNI, Stefano; CIACCI, Cecilia; COLONNA, Emiliano; DI NASO, Vincenzo. Mechanical characterisation of a low-thickness ceramic tile cladding subject to ageing phenomena. **Journal of Building Engineering**, [S. l.], v. 29, p. 101105, 2020. DOI: 10.1016/j.job.2019.101105. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S235271021931352X>. Acesso em: 8 fev. 2022.

BEDON, Chiara; HONFI, Dániel; MACHALICKÁ, Klára V.; ELIÁŠOVÁ, Martina; VOKÁČ, Miroslav; KOZŁOWSKI, Marcin; WÜEST, Thomas; SANTOS, Filipe; PORTAL, Natalie Williams. Structural characterisation of adaptive facades in Europe - Part II: Validity of conventional experimental testing methods and key issues. **Journal of Building Engineering**, [S. l.], v. 25, p. 100797, 2019. DOI: 10.1016/j.job.2019.100797. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352710219300373>. Acesso em: 25 jan. 2022.

BENNACER, R.; ABAHRI, K.; BELARBI, R. Intrinsic properties controlling the sustainability of construction. *Em: Sustainability of Construction Materials*. [s.l.] : Elsevier, 2016. p. 33–53. DOI: 10.1016/B978-0-08-100370-1.00003-2. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081003701000032>.

BHANDARI, Nikhil; TADEPALLI, Srinivas; GOPALAKRISHNAN, Padmanaban. Investigation of acoustic comfort, productivity, and engagement in naturally ventilated university classrooms: Role of background noise and students' noise sensitivity. **Building and Environment**, [S. l.], v. 249, p. 111131, 2024. DOI: 10.1016/j.buildenv.2023.111131. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132323011587>.

BOAFO, Fred Edmond; KIM, Jin-Hee; AHN, Jong-Gwon; KIM, Sang-Myung; KIM, Jun-Tae. Slim curtain wall spandrel integrated with vacuum insulation panel: A state-of-the-art review and future opportunities. **Journal of Building Engineering**, [S. l.], v. 42, p. 102445, 2021. DOI: 10.1016/j.jobee.2021.102445. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352710221003028>. Acesso em: 24 jan. 2022.

BRISTOT, Vilson Menegon; BERTAN, Luís Eduardo Guollo; COREGGIO, Natalia Pereira Da; CARVALHO, Karina Donadel; NONI, Agenor De; CARGNIN, Maykon; TASSI, Reginaldo. Estudo de Propriedades Mecânicas de Placas Cerâmicas Fotovoltaicas para Aplicação em Fachadas Ventiladas. **Cerâmica industrial**, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 13–19, 2017. DOI: 10.4322/cerind.2017.011. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/doi/10.4322/cerind.2017.011>.

BROSE, Andrew; KONGOLETOS, Johnathan; GLICKSMAN, Leon. Coconut Fiber Cement Panels as Wall Insulation and Structural Diaphragm. **Frontiers in Energy Research**, [S. l.], v. 7, 2019. DOI: 10.3389/fenrg.2019.00009. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fenrg.2019.00009/full>.

CARVALHO, Werther B.; PEDREIRA, Mavilde L. G.; AGUIAR, Maria Augusta L. De. Nível de ruídos em uma unidade de cuidados intensivos pediátricos. **Jornal de Pediatria**, [S. l.], v. 81, n. 6, p. 495–498, 2005. DOI: 10.1590/S0021-75572005000800015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0021-75572005000800015&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt.

CHAN, Hoy-Yen; RIFFAT, Saffa B.; ZHU, Jie. Review of passive solar heating and cooling technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 781–789, 2010. DOI: 10.1016/j.rser.2009.10.030. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032109002615>. Acesso em: 24 jan. 2022.

CHÁVEZ GUERRERO, Leonardo; GARZA-CERVANTES, Javier; CABALLERO-HERNÁNDEZ, Diana; GONZÁLEZ-LÓPEZ, Rodrigo; SEPÚLVEDA-GUZMÁN, Selene; CANTÚ-CÁRDENAS, Elena. Synthesis and characterization of calcium hydroxide obtained from agave bagasse and

investigation of its antibacterial activity. **Revista Internacional de Contaminacion Ambiental**, [S. l.], v. 33, n. 2, p. 347–353, 2017. DOI: 10.20937/RICA.2017.33.02.15. Acesso em: 17 out. 2019.

CHEN, Anbang; LI, Lang; WANG, Chong; WANG, Qingyuan. Novel porous ceramic with high strength and thermal performance using MA hollow spheres. **Progress in Natural Science: Materials International**, [S. l.], v. 32, n. 6, p. 732–738, 2022. DOI: 10.1016/J.PNSC.2022.09.015. Acesso em: 8 jun. 2023.

CIAMPI, M.; LECCESE, F.; TUONI, G. Ventilated facades energy performance in summer cooling of buildings. **Solar Energy**, [S. l.], v. 75, n. 6, p. 491–502, 2003. DOI: 10.1016/j.solener.2003.09.010. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X03003396>. Acesso em: 13 dez. 2021.

CLARAMUNT, Josep; ARDANUY, Mònica. Using vegetable fiber nonwovens cement composites as sustainable materials for applications on ventilated façade systems. *Em: Sustainable and Nonconventional Construction Materials using Inorganic Bonded Fiber Composites*. [s.l.] : Elsevier, 2017. p. 385–397. DOI: 10.1016/B978-0-08-102001-2.00016-4. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081020012000164>. Acesso em: 6 nov. 2019.

COLINART, T.; BENDOUMA, M.; GLOUANNEC, P. Building renovation with prefabricated ventilated façade element: A case study. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 186, p. 221–229, 2019. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.01.033. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778818322424>. Acesso em: 14 dez. 2021.

CONTE, Sonia; MOLINARI, Chiara; ARDIT, Matteo; CRUCIANI, Giuseppe; DONDI, Michele; ZANELLI, Chiara. Porcelain versus Porcelain Stoneware: So Close, So Different. Sintering Kinetics, Phase Evolution, and Vitrification Paths. **Materials**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 171, 2022. DOI: 10.3390/ma16010171. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1944/16/1/171>.

COSTA, Ligia M. M.; SAKIHAMA, José; SALOMÃO, R. Characterization of porous calcium hexaluminate ceramics produced from calcined alumina and microspheres of Vaterite (μ -CaCO₃). **Journal of the European Ceramic Society**, [S. l.], v. 38, n. 15, p. 5208–5218, 2018. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2018.07.034. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0955221918304631>. Acesso em: 23 out. 2019.

DAL BÓ, Marcelo; CANTAVELLA, Vicente; SANCHÉZ, Enrique; GILABERT, Francisco A.; BOSCHI, Anselmo O.; HOTZA, Dachamir. An estimate of quartz content and particle size in porcelain

tiles from young's modulus measurements. **Ceramics International**, [S. l.], v. 43, n. 2, p. 2233–2238, 2017. DOI: 10.1016/j.ceramint.2016.10.204. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0272884216319927>. Acesso em: 28 out. 2019.

DAVIDOVIC, Danko; SREBRIC, Jelena; BURNETT, Eric F. P. Modeling convective drying of ventilated wall chambers in building enclosures. **International Journal of Thermal Sciences**, [S. l.], v. 45, n. 2, p. 180–189, 2006. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2005.06.002. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1290072905001535>. Acesso em: 28 maio. 2022.

DE GRACIA, Alvaro; CASTELL, Albert; NAVARRO, Lidia; ORÓ, Eduard; CABEZA, Luisa F. Numerical modelling of ventilated facades: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 22, p. 539–549, 2013. DOI: 10.1016/j.rser.2013.02.029. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032113001317>. Acesso em: 12 dez. 2021.

DE MASI, Rosa Francesca; FESTA, Valentino; RUGGIERO, Silvia; VANOLI, Giuseppe Peter. Environmentally friendly Opaque Ventilated Façade for wall retrofit: One year of in-field analysis in Mediterranean climate. **Solar Energy**, [S. l.], v. 228, p. 495–515, 2021. DOI: 10.1016/j.solener.2021.09.063. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X21008203>. Acesso em: 12 dez. 2021.

DE MASI, Rosa Francesca; RUGGIERO, Silvia; VANOLI, Giuseppe Peter. Hygro-thermal performance of an Opaque Ventilated Façade with recycled materials during wintertime. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 245, p. 110994, 2021. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.110994. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778821002784>. Acesso em: 13 dez. 2021.

DELLA, Viviana Possamai; HOTZA, Dachamir; JUNKES, Janaína Accordi; OLIVEIRA, Antonio Pedro Novaes De. Estudo comparativo entre sílica obtida por lixívia ácida da casca de arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza de casca de arroz. **Química Nova**, [S. l.], v. 29, n. 6, 2006. DOI: 10.1590/S0100-40422006000600005. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422006000600005&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 18516-1: 2010 - Revestimento externo da parede, ventilado – Parte 1: Requisitos, princípios de teste. [s.l: s.n.].

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 18516-3: 2021 - Revestimento externo da parede, ventilado – Parte 3: Pedra natural – Requisitos. [s.l: s.n.].

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 18516-5: 2021 - Revestimento externo da parede, ventilado – Parte 5: Bloco de concreto, Requisitos, Design. [s.l: s.n.].

DIALLO, Thierno M. O.; ZHAO, Xudong; DUGUE, Antoine; BONNAMY, Paul; JAVIER MIGUEL, Francisco; MARTINEZ, Asier; THEODOSIOU, Theodoros; LIU, Jing-Sheng; BROWN, Nathan. Numerical investigation of the energy performance of an Opaque Ventilated Façade system employing a smart modular heat recovery unit and a latent heat thermal energy system. **Applied Energy**, [S. l.], v. 205, p. 130–152, 2017. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.07.042. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261917309169>. Acesso em: 30 mar. 2023.

DIAS, Fernanda Abalen Martins; SANTOS, Bárbara Alves Dos; MARIANO, Hully Cecília. Níveis de pressão sonora em salas de aula de uma Universidade e seus efeitos em alunos e professores. **CoDAS**, [S. l.], v. 31, n. 4, 2019. DOI: 10.1590/2317-1782/20182018093.

DIMITRIJEVIĆ, Stefan M.; MIJIĆ, Miomir M.; ŠUMARAC PAVLOVIĆ, Dragana S. Indoor sound level spectra of public entertainment premises for rating airborne sound insulation. **The Journal of the Acoustical Society of America**, [S. l.], v. 147, n. 3, p. EL215–EL220, 2020. DOI: 10.1121/10.0000800. Disponível em: <https://pubs.aip.org/jasa/article/147/3/EL215/997265/Indoor-sound-level-spectra-of-public-entertainment>.

DIRK SAELENS. **Energy Performance Assessments of Single Storey Multiple-Skin Facades**. 2002. Catholic University of Leuven, Belgium, 2002. Disponível em: <https://bwk.kuleuven.be/bwf/PhDs/PhDSaelens>. Acesso em: 9 mar. 2022.

DONDI, Michele; RAIMONDO, Mariarosa; ZANELLI, Chiara. Clays and bodies for ceramic tiles: Reappraisal and technological classification. **Applied Clay Science**, [S. l.], v. 96, p. 91–109, 2014. DOI: 10.1016/j.clay.2014.01.013. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169131714000283>. Acesso em: 3 set. 2019.

DUTRA, R. P. S.; PONTES, L. R. de Araújo. Obtenção e análise de cerâmicas porosas com a incorporação de produtos orgânicos ao corpo cerâmico. **Cerâmica**, [S. l.], v. 48, n. 308, p. 223–230, 2002. DOI: 10.1590/S0366-69132002000400010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132002000400010&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 16 out. 2019.

ELIANE. **Eliane Tec**. 2023. Disponível em: <https://elianetec.com/projetos/fachadas-ventiladas>. Acesso em: 27 fev. 2023.

ENTE NAZIONALE ITALIANO DI UNIFICAZIONE. **UNI 11018: Rivestimenti e sistemi di ancoraggio per facciate ventilate a montaggio meccanico - Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione - Rivestimenti lapidei e ceramici.** [s.l.: s.n.].

EOTA - ORGANIZAÇÃO EUROPEIA DE APROVAÇÕES TÉCNICAS. **ETAGs (arquivo) | EOTA.** 2022. Disponível em: <https://www.eota.eu/etags-archive>. Acesso em: 7 fev. 2022.

ERANS, María; MANOVIC, Vasilije; ANTHONY, Edward J. Calcium looping sorbents for CO₂ capture. **Applied Energy**, [S. l.], v. 180, p. 722–742, 2016. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.07.074. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261916310157>.

ESCARDINO, A.; GARCÍA-TEN, J.; SABURIT, A.; FELIU, C.; GÓMEZ-TENA, M. P. Calcium carbonate decomposition in white-body tiles during firing in the presence of carbon dioxide. **Ceramics International**, [S. l.], v. 39, n. 6, p. 6379–6390, 2013. DOI: 10.1016/j.ceramint.2013.01.064. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0272884213000989>.

ESCRIG, Alberto; BANNIER, Emilie; BOU, Encarna; CANTAVELLA, Vicent; CORRALES, Jorge. Cuantificación da mejora de la eficiencia energética de edificios con sistemas innovadores basados en fachadas ventiladas. *Em: XIV FORO GLOBAL DEL RECUBRIMIENTO CERÁMICO (QUALICER 2014) 2014*, Castellón, Espanha. **Anais [...]**. Castellón, Espanha: Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación de Castellón, 2014. p. 1–13. Disponível em: <https://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/48%20PON%20ESP.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2026.

FANTUCCI, Stefano; SERRA, Valentina; CARBONARO, Corrado. An experimental sensitivity analysis on the summer thermal performance of an Opaque Ventilated Façade. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 225, p. 110354, 2020. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.110354. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778819328750>. Acesso em: 12 dez. 2021.

FAUSTI, Patrizio; GUERRA, Maria C.; SANTONI, Andrea; ZUCCHERINI MARTELLO, N.; CREMONINI, Renzo; SCALPELLI QUIQUETO, G.; CAMPOSTRINI, Pierpaolo; DABALÀ, Caterina; CANIATO, Marco. Noise generated from large construction sites: Measurements and possible mitigations. *Em: 2016, Anais [...]*. [s.l.: s.n.] p. 040004. DOI: 10.1121/2.0000415. Disponível em: <https://pubs.aip.org/asa/poma/article/835826>.

FELISBINO CAMPOS, Karina; RAMOS ROMAN, Humberto. Development of a fixing system for ventilated façades with low-thickness porcelain tile. *Em: CONGRESSO MUNDIAL DE LA CALIDAD*

DEL AZULEJO Y DEL PAVIMENTO CERÁMICO (QUALICER) 2012, Castellón, Espanha. **Anais** [...]. Castellón, Espanha: Qualicer, 2012. p. 1–16. Disponível em: <https://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/2012175.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2026.

FERNANDES MACIEL, Ana Carolina; CARVALHO, Michele Tereza. Methodology used to investigate the energy savings of Opaque Ventilated Façades in residential buildings in Brazil. **MethodsX**, [S. l.], v. 8, p. 101227, 2021. DOI: 10.1016/j.mex.2021.101227. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2215016121000200>. Acesso em: 12 dez. 2021.

FIGUEIREDO, J. M. R.; FERNANDES, I. M. M.; SILVA, V. J.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C.; SANTANA, L. N. L. Influência da composição e das variáveis de processamento de formulações à base de argilas - uso em materiais refratários. **Cerâmica**, [S. l.], v. 64, n. 369, p. 10–19, 2018. DOI: 10.1590/0366-69132018643692169. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132018000100010&tlng=pt. Acesso em: 8 out. 2019.

FONSECA, M. H. de F.; BARBOSA, M. P. S.; VILAR, Z. T.; JUNIOR, U. P. de Lucena; LOBO, C. J. de S. Estudo da influência da porosidade em materiais cerâmicos. **22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, [S. l.], p. 1341–1352, 2016. . Acesso em: 6 out. 2019.

GAGLIANO, A.; ANELI, S. Analysis of the energy performance of an Opaque Ventilated Façade under winter and summer weather conditions. **Solar Energy**, [S. l.], v. 205, p. 531–544, 2020. DOI: 10.1016/j.solener.2020.05.078. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X20305776>. Acesso em: 12 dez. 2021.

GAGLIANO, A.; NOCERA, F.; ANELI, S. Thermodynamic analysis of ventilated façades under different wind conditions in summer period. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 122, p. 131–139, 2016. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.04.035. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778816302882>. Acesso em: 18 jul. 2022.

GAGLIANO, A.; PATANIA, F.; FERLITO, A.; NOCERA, F.; GALESI, A. Computational Fluid Dynamic Simulations of Natural Convection in Ventilated Facades. **Em: Evaporation, Condensation and Heat transfer**. [s.l.] : InTech, 2011. DOI: 10.5772/19817. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/evaporation-condensation-and-heat-transfer/computational-fluid-dynamic-simulations-of-natural-convection-in-ventilated-facades>.

GHAFFARIANHOSEINI, Ali; GHAFFARIANHOSEINI, Amirhosein; BERARDI, Umberto; TOOKEY, John; LI, Danny Hin Wa; KARIMINIA, Shahab. Exploring the advantages and challenges of double-skin façades (DSFs). **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 60, p. 1052–1065, 2016. DOI: 10.1016/j.rser.2016.01.130. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032116001866>. Acesso em: 10 mar. 2022.

GHAFFARIANHOSEINI, AmirHosein. Intelligent Facades in Low-Energy Buildings. **British Journal of Environment and Climate Change**, [S. l.], v. 2, n. 4, p. 437–464, 2013. DOI: 10.9734/BJECC/2012/2912. Disponível em: <https://journalijecc.com/index.php/IJECC/article/view/163>. Acesso em: 30 mar. 2022.

GIANCOLA, E.; SANJUAN, C.; BLANCO, E.; HERAS, M. R. Experimental assessment and modelling of the performance of an open joint ventilated façade during actual operating conditions in Mediterranean climate. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 54, p. 363–375, 2012. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.07.035. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778812003805>. Acesso em: 22 maio. 2022.

GLADYSZ, Gary M.; CHAWLA, Krishan K. Characteristics and properties of porous materials. *Em: Voids in Materials*. [s.l.] : Elsevier, 2021. p. 189–229. DOI: 10.1016/B978-0-12-819282-5.00009-0. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128192825000090>.

GONÇALVES, Andréia; LOPES, Ricardo. ANÁLISE DO SISTEMA DE FACHADAS VENTILADAS EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS ANALYSIS OF THE SYSTEM OF VENTILATED FACADES IN RESIDENTIAL BUILDINGS. **Journal of Exact Sciences-JES**, [S. l.], v. 21, n. 2, p. 5–11, 2019. Disponível em: <http://www.mastereditora.com.br/jes>. Acesso em: 19 dez. 2021.

GONZALEZ-LOPEZ, L.; CLARAMUNT, J.; HAURIE, L.; VENTURA, H.; ARDANUY, M. Study of the fire and thermal behaviour of façade panels made of natural fibre-reinforced cement-based composites. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 302, p. 124195, 2021. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124195. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061821019553>.

GRAMBÁLOVÁ, E.; VADÁSZ, P.; PETRÍK, J. Interaction of molten salts in the systems SiO₂-Al₂O₃. **Cerâmica**, [S. l.], v. 59, n. 352, p. 570–575, 2013. DOI: 10.1590/S0366-69132013000400013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132013000400013&lng=en&tlng=en.

GRATIA, Elisabeth; DE HERDE, André. Natural ventilation in a double-skin facade. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 36, n. 2, p. 137–146, 2004. DOI: 10.1016/j.enbuild.2003.10.008. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778803001336>. Acesso em: 29 maio. 2022.

GUGLIELMI, Daniel; WENCESLAU, Fernandes das Neves; BUOSO, Alberto. Caracterização da Carboximetilcelulose Comercial. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 13, n. 5, p. 21–28, 2008.

HABIBI, Saeid; VALLADARES, Oriol Pons; PEÑA, Diana Maritza. Sustainability performance by ten representative intelligent Façade technologies: A systematic review. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, [S. l.], v. 52, p. 102001, 2022. DOI: 10.1016/j.seta.2022.102001. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213138822000534>. Acesso em: 23 mar. 2023.

HALAWA, Edward; GHAFFARIANHOSEINI, Amirhosein; GHAFFARIANHOSEINI, Ali; TROMBLEY, Jeremy; HASSAN, Norhaslina; BAIG, Mirza; YUSOFF, Safiah Yusmah; AZZAM ISMAIL, Muhammad. A review on energy conscious designs of building façades in hot and humid climates: Lessons for (and from) Kuala Lumpur and Darwin. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 82, p. 2147–2161, 2018. DOI: 10.1016/j.rser.2017.08.061. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032117312042>. Acesso em: 30 mar. 2023.

HAN, Lei; LI, Faliang; DENG, Xiangong; WANG, Junkai; ZHANG, Haijun; ZHANG, Shaowei. Foam-gelcasting preparation, microstructure and thermal insulation performance of porous diatomite ceramics with hierarchical pore structures. **Journal of the European Ceramic Society**, [S. l.], v. 37, n. 7, p. 2717–2725, 2017. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2017.02.032. Acesso em: 3 set. 2019.

HAO, Liping; GAO, Wenyuan; YAN, Shuang; NIU, Meihong; LIU, Guishan; HAO, Hongshun. Preparation and characterization of porous ceramics with low-grade diatomite and oyster shell. **Materials Chemistry and Physics**, [S. l.], v. 235, p. 121741, 2019. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2019.121741. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0254058419305334>. Acesso em: 3 set. 2019.

HARRIS POIRAZIS. Double Skin Façades for Office Buildings. **Literature Review**, [S. l.], p. 1–196, 2004. Disponível em: https://www.ebd.lth.se/fileadmin/energi_byggnadsdesign/images/Publikationer/Bok-EBD-R3-G5_alt_2_Harris.pdf. Acesso em: 10 mar. 2022.

HILTI. **Enquadramentos de fachadas ventiladas - Hilti Portugal**. 2023. Disponível em: <https://www.hilti.pt/content/hilti/E2/PT/pt/produtos/produtos/ferramentas-eletricas-portateis-profissionais/fachadas-ventiladas/solucoes-fachadas-ventiladas.html>. Acesso em: 13 abr. 2023.

HUA, Kaihui; CHEN, Xiaobing; SHUI, Anze; XI, Xiuan; GAO, Pinhai; ZHENG, Yu; HE, Chuncan. Preparation and Properties of High Sound-Absorbing Porous Ceramics Reinforced by In Situ Mullite Whisker from Construction Waste. **Molecules**, [S. l.], v. 29, n. 14, p. 3419, 2024. DOI: 10.3390/molecules29143419.

HUANG, Baofeng; CHEN, Shiming; LU, Wensheng; MOSALAM, Khalid M. Seismic demand and experimental evaluation of the nonstructural building curtain wall: A review. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, [S. l.], v. 100, p. 16–33, 2017. DOI: 10.1016/j.soildyn.2017.05.025. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S026772611630642X>. Acesso em: 24 jan. 2022.

IBAÑEZ-PUY, María; VIDAURRE-ARBIZU, Marina; SACRISTÁN-FERNÁNDEZ, José Antonio; MARTÍN-GÓMEZ, César. Opaque Ventilated Façades: Thermal and energy performance review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 79, p. 180–191, 2017. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.059. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032117306950>. Acesso em: 12 dez. 2021.

IBRAHIM, Mohd Hakim; MUSTAFFAR, Mohd Idham; ISMAIL, Anis Nadhirah; ISMAIL, Syarifah Aminah; OTHMAN, Nabihah. Development of porous glass-ceramic using silica sand for wall tiles application. **Materials Today: Proceedings**, [S. l.], 2023. DOI: 10.1016/J.MATPR.2023.03.759. Acesso em: 8 jun. 2023.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 10534-2: Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes — Part 2: Transfer-function method. [s.l: s.n.].

ISLAM, Rifat; SULTANA, Aliza; REJA, Md. Selim; SEDDIQUE, Ashraf Ali; HOSSAIN, Md. Rajib. Multidimensional analysis of road traffic noise and probable public health hazards in Barisal city corporation, Bangladesh. **Heliyon**, [S. l.], v. 10, n. 15, p. e35161, 2024. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e35161. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844024111929>.

JIANG, Shangyuan; GAN, Rong Z. Dynamic properties of human incudostapedial joint—Experimental measurement and finite element modeling. **Medical Engineering & Physics**, [S. l.], v. 54, n. 1, p. 14–21, 2018. DOI: 10.1016/j.medengphy.2018.02.006. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1016/j.medengphy.2018.02.006>.

JIRU, Teshome Edae; HAGHIGHAT, Fariborz. Modeling ventilated double skin façade—A zonal approach. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 40, n. 8, p. 1567–1576, 2008. DOI: 10.1016/j.enbuild.2008.02.017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778808000479>. Acesso em: 12 abr. 2023.

KARUNADASA, Kohobhange S. P.; MANORATNE, C. H.; PITAWALA, H. M. T. G. A.; RAJAPAKSE, R. M. G. Thermal decomposition of calcium carbonate (calcite polymorph) as examined by in-situ high-temperature X-ray powder diffraction. **Journal of Physics and Chemistry of Solids**, [S. l.], v. 134, p. 21–28, 2019. DOI: 10.1016/j.jpcs.2019.05.023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022369719301970>.

KEMP, Adriana; DELECRODE, Camila; GUIDA, Heraldo; RIBEIRO, André; CARDOSO, Ana. Sound pressure level in a municipal preschool. **International Archives of Otorhinolaryngology**, [S. l.], v. 17, n. 02, p. 196–201, 2014. DOI: 10.7162/S1809-97772013000200013.

LAI, Chi-Ming; HOKOI, Shuichi. Solar façades: A review. **Building and Environment**, [S. l.], v. 91, p. 152–165, 2015. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.01.007. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132315000086>. Acesso em: 23 jan. 2022.

LI, Yan; REN, Shuxia. Basic Properties of Building Decorative Materials. *Em: Building Decorative Materials*. [s.l.] : Elsevier, 2011. p. 10–24. DOI: 10.1533/9780857092588.10. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780857092571500024>. Acesso em: 8 jan. 2026.

LIMA, L. K. S.; SILVA, K. R.; MENEZES, R. R.; SANTANA, L. N. L.; LIRA, H. L. Microstructural characteristics, properties, synthesis and applications of mullite: a review. **Cerâmica**, [S. l.], v. 68, n. 385, p. 126–142, 2022. DOI: 10.1590/0366-69132022683853184. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132022000100126&tlng=en.

LIN, Zhenghao; SONG, Yehao; CHU, Yingnan. An experimental study of the summer and winter thermal performance of an opaque ventilated facade in cold zone of China. **Building and Environment**, [S. l.], v. 218, p. 109108, 2022. DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.109108. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132322003456>. Acesso em: 29 maio. 2022.

LIU, Shutian; CHEN, Wenjiong; ZHANG, Yongcun. Design optimization of porous fibrous material for maximizing absorption of sounds under set frequency bands. **Applied Acoustics**, [S. l.], v. 76, p. 319–328, 2014. DOI: 10.1016/j.apacoust.2013.08.014. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003682X13002089>.

LÓPEZ, F. Peci; SANTIAGO, M. Ruiz de Adana. Sensitivity study of an Opaque Ventilated Façade in the winter season in different climate zones in Spain. **Renewable Energy**, [S. l.], v. 75, p. 524–533, 2015. DOI: 10.1016/j.renene.2014.10.031. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148114006582>. Acesso em: 18 jul. 2022.

MACIEL, Ana Carolina Fernandes; CARVALHO, Michele Tereza. Operational energy of Opaque Ventilated Façades in Brazil. **Journal of Building Engineering**, [S. l.], v. 25, p. 100775, 2019. a. DOI: 10.1016/j.job.2019.100775. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352710218312075>. Acesso em: 13 dez. 2021.

MACIEL, Ana Carolina Fernandes; CARVALHO, Michele Tereza. Operational energy of Opaque Ventilated Façades in Brazil. **Journal of Building Engineering**, [S. l.], v. 25, p. 100775, 2019. b. DOI: 10.1016/j.job.2019.100775. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352710218312075>. Acesso em: 30 jul. 2020.

MANIOĞLU, Gülten; YILMAZ, Zerrin. Economic evaluation of the building envelope and operation period of heating system in terms of thermal comfort. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 38, n. 3, p. 266–272, 2006. DOI: 10.1016/j.enbuild.2005.06.009. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037877880500099X>. Acesso em: 23 jan. 2022.

MARINOSCI, C.; SEMPRINI, G.; MORINI, G. L. Experimental analysis of the summer thermal performances of a naturally ventilated rainscreen façade building. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 72, p. 280–287, 2014. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.12.044. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037877881300861X>. Acesso em: 13 dez. 2021.

MARINOSCI, C.; STRACHAN, P. A.; SEMPRINI, G.; MORINI, G. L. Empirical validation and modelling of a naturally ventilated rainscreen façade building. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 43, n. 4, p. 853–863, 2011. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.12.005. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778810004251>. Acesso em: 30 mar. 2022.

MARMORET, Laurent; HUMAISH, Hussein; PERWUELZ, Anne; BÉJI, Hassen. Anisotropic Structure of Glass Wool Determined by Air Permeability and Thermal Conductivity Measurements.

Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology, [S. l.], v. 06, n. 02, p. 72–79, 2016. DOI: 10.4236/jsemat.2016.62007. Disponível em: <http://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/jsemat.2016.62007>.

MARTINEZ, Andrea; PATTERSON, Mic; CARLSON, Anders; NOBLE, Douglas. Fundamentals in Façade Retrofit Practice. **Procedia Engineering**, [S. l.], v. 118, p. 934–941, 2015. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.534. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S187770581502189X>. Acesso em: 24 jan. 2022.

MARTÍNEZ ANGEL, Juan Daniel; PINEDA VÁSQUEZ, Tatiana Gisset; JUNKES, Janaina Accordi; HOTZA, Dachamir. Caracterização de cinza obtida por combustão de casca de arroz em reator de leito fluidizado. **Química Nova**, [S. l.], v. 32, n. 5, p. 1110–1114, 2009. DOI: 10.1590/S0100-40422009000500006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000500006&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt.

MAURATH, Johannes; WILLENBACHER, Norbert. 3D printing of open-porous cellular ceramics with high specific strength. **Journal of the European Ceramic Society**, [S. l.], v. 37, n. 15, p. 4833–4842, 2017. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2017.06.001. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0955221917304090>. Acesso em: 3 set. 2019.

MERKIT, Zafer Yavuz; TOPLAN, H. Özkan; TOPLAN, Nil. The crystallization kinetics of CaO–Al₂O₃–SiO₂ (CAS) glass–ceramics system produced from pumice and marble dust. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, [S. l.], v. 134, n. 1, p. 807–811, 2018. DOI: 10.1007/s10973-018-7571-6. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10973-018-7571-6>.

MOGES, Kebede Alemayehu; DALILA, Nazhiefah; PLASKOTA, Przemysław; PYO, Sukhoon. Evaluation methods, testing standards, and simulation techniques of sound absorption capabilities of cementitious materials: A review. **Journal of Building Engineering**, [S. l.], v. 96, p. 110468, 2024. DOI: 10.1016/j.jobbe.2024.110468. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352710224020369>.

MOHAMMED, Nur Amirah Najwa; NORHALIM, Arnje Farhana; MOHD JAINI, Zainorizuan; ABU SEMAN, Mazlan. Force and Slip Displacement of Fibre Cemboard Panels Subjected To Four-Point Bending Test. **International Journal of Integrated Engineering**, [S. l.], v. 14, n. 5, 2022. DOI: 10.30880/ijie.2022.14.05.028. Disponível em: <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie/article/view/12332/5213>.

MOUIYA, M. *et al.* Effect of sintering temperature on the microstructure and mechanical behavior of porous ceramics made from clay and banana peel powder. **Results in Materials**, [S. l.], v. 4, p. 100028, 2019. DOI: 10.1016/j.rinma.2019.100028. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2590048X19300287>.

MUKHERJEE, Debasis Pradip; DAS, Sudip Kumar. SiO₂–Al₂O₃–CaO glass-ceramics: Effects of CaF₂ on crystallization, microstructure and properties. **Ceramics International**, [S. l.], v. 39, n. 1, p. 571–578, 2013. DOI: 10.1016/j.ceramint.2012.06.066. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0272884212005950>.

MÜLLER, A.; ALARCON, O. E. Desenvolvimento de um sistema de fachada ventilada com placas cerâmicas de grês porcelanato voltado para a construção civil do Brasil. **Cerâmica**, [S. l.], v. 51, n. 320, p. 354–361, 2005. DOI: 10.1590/S0366-69132005000400009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132005000400009&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 12 dez. 2021.

NABONI, Emanuele. Seminar Notes Ventilated Opaque Walls VENTILATED OPAQUE WALLS - A PERFORMANCE SIMULATION METHOD AND ASSESSMENT OF SIMULATED PERFORMANCE. **Lawrence Berkeley National Laboratory Environmental Energy Technologies Division**, [S. l.], p. 1–10, 2007. Disponível em: <http://www.energyplus.gov>. Acesso em: 26 out. 2022.

NIGG, Joel T.; BRUTON, Alisha; KOZLOWSKI, Michael B.; JOHNSTONE, Jeanette M.; KARALUNAS, Sarah L. Systematic Review and Meta-Analysis: Do White Noise or Pink Noise Help With Task Performance in Youth With Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder or With Elevated Attention Problems? **Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry**, [S. l.], v. 63, n. 8, p. 778–788, 2024. DOI: 10.1016/j.jaac.2023.12.014. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0890856724000741>.

NOOR-E-KHUDA, Sarkar; ALBERMANI, Faris; VEIDT, Martin. Flexural strength of weathered granites: Influence of freeze and thaw cycles. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 156, p. 891–901, 2017. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.09.049. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061817318500>. Acesso em: 6 nov. 2019.

NORME EUROPÉENNE. **EN 13830: 2015 - Parede cortina - Norma do produto**. [s.l: s.n.].

OBADA, David O.; DODOO-ARHIN, David; DAUDA, Muhammad; ANAFI, Fatai O.; AHMED, Abdulkarim S.; AJAYI, Olusegun A. Potentials of fabricating porous ceramic bodies from kaolin for

catalytic substrate applications. **Applied Clay Science**, [S. l.], v. 132–133, p. 194–204, 2016. DOI: 10.1016/j.clay.2016.06.006. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169131716302423>. Acesso em: 30 jul. 2020.

OLENA KALYANOVA. **Double-Skin Facade - Modelling and Experimental Investigations of Thermal Performance**. 2008. DCE Thesis - Aalborg University , [S. l.], 2008. Disponível em: <https://vbn.aau.dk/en/publications/double-skin-facade-modelling-and-experimental-investigations-of-t>. Acesso em: 10 mar. 2022.

ORGANIZAÇÃO EUROPEIA DE APROVAÇÕES TÉCNICAS. **ETAG 034 - Diretriz para Aprovação Técnica Europeia de Kits para Revestimentos de Paredes Externas**. [s.l.: s.n.].

OTTONELLO, G.; ATTENE, M.; AMEGLIO, D.; BELMONTE, D.; ZUCCOLINI, M. Vetuschi; NATALI, M. Thermodynamic investigation of the CaO–Al₂O₃–SiO₂ system at high P and T through polymer chemistry and convex-hull techniques. **Chemical Geology**, [S. l.], v. 346, p. 81–92, 2013. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2012.09.018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0009254112004421>.

PACHLA, Eduardo; SILVA, Débora; JUCÁ, Pedro; CHONG, Wang; MARANGON, Ederli. Desempenho térmico-acústico-mecânico de um compósito de matriz cimentícia leve reforçado com casca de arroz. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S. l.], v. 24, n. 2, 2019. DOI: 10.1590/s1517-707620190002.0669. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762019000200314&tlng=pt. Acesso em: 10 out. 2019.

PALOMAR, Irene; BARLUENGA, Gonzalo. Acoustic Assessment of Multiscale Porous Lime-Cement Mortars. **Materials**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 322, 2022. DOI: 10.3390/ma16010322. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1944/16/1/322>.

PATANIA, F.; GAGLIANO, A.; NOCERA, F.; FERLITO, A.; GALES, A. Thermofluid-dynamic analysis of ventilated facades. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 42, n. 7, p. 1148–1155, 2010. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.02.006. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037877881000037X>. Acesso em: 16 fev. 2022.

PEIRCE, J. Jeffrey; WEINER, Ruth F.; VESILIND, P. Aarne. Noise Pollution and Control. *Em: Environmental Pollution and Control*. [s.l.] : Elsevier, 1998. p. 327–349. DOI: 10.1016/B978-075069899-3/50024-9. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780750698993500249>. Acesso em: 28 dez. 2025.

PENG, Jinqing; LU, Lin; YANG, Hongxing. An experimental study of the thermal performance of a novel photovoltaic double-skin facade in Hong Kong. **Solar Energy**, [S. l.], v. 97, p. 293–304, 2013. DOI: 10.1016/j.solener.2013.08.031. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X13003411>. Acesso em: 29 mar. 2023.

PÉREZ, J. M.; ROMERO, M. Microstructure and technological properties of porcelain stoneware tiles moulded at different pressures and thicknesses. **Ceramics International**, [S. l.], v. 40, n. 1, p. 1365–1377, 2014. DOI: 10.1016/j.ceramint.2013.07.018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0272884213008122>.

PIZZATTO, F. O.; PIZZATTO, S. M. S.; ARCARO, S.; MONTEDO, O. R. K.; JUNCA, E. Análise de desempenho de placas cerâmicas porosas obtidas com resíduo de vidro e lama de cal para aplicação em fachadas ventiladas. **Cerâmica**, [S. l.], v. 67, n. 384, p. 388–398, 2021. a. DOI: 10.1590/0366-69132021673843037. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132021000400388&tlng=pt. Acesso em: 16 fev. 2022.

PIZZATTO, Sara M. dos S.; PIZZATTO, Fernando Otavio; ANGIOLETTTO, Elidio; ARCARO, Sabrina; JUNCA, Eduardo; KLEGUES MONTEDO, Oscar R. Thermal evaluation of the use of porous ceramic plates on ventilated façades—part II: Thermal behavior. **International Journal of Applied Ceramic Technology**, [S. l.], v. 18, n. 5, p. 1734–1742, 2021. b. DOI: 10.1111/ijac.13781. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ijac.13781>. Acesso em: 1 ago. 2022.

PIZZATTO, Sara M. dos S.; PIZZATTO, Fernando Otavio; ANGIOLETTTO, Elidio; ARCARO, Sabrina; JUNCA, Eduardo; KLEGUES MONTEDO, Oscar R. Thermal evaluation of the use of porous ceramic plates on ventilated façades—part II: Thermal behavior. **International Journal of Applied Ceramic Technology**, [S. l.], v. 18, n. 5, p. 1734–1742, 2021. c. DOI: 10.1111/ijac.13781. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ijac.13781>. Acesso em: 12 jul. 2021.

PIZZATTO, Sara M. S.; PIZZATTO, Fernando O.; ANGIOLETTTO, Elidio; ARCARO, Sabrina; JUNCA, Eduardo; MONTEDO, Oscar R. K. Thermal evaluation of the use of porous ceramic plates on ventilated façades – Part I: Effect of composition and firing temperature on porosity and bending strength. **International Journal of Applied Ceramic Technology**, [S. l.], v. 18, n. 6, p. 2169–2177, 2021. d. DOI: 10.1111/ijac.13827. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ijac.13827>. Acesso em: 12 jul. 2021.

PIZZATTO, Sara Medeiros dos Santos; PIZZATTO, Fernando; RAUPP-PEREIRA, Fabiano; ARCARO, Sabrina; ANGIOLETTTO, Elidio; KLEGUES MONTEDO, Oscar Rubem. Ventilated facade

system: A review. **Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio**, [S. l.], v. 64, n. 3, p. 100443, 2025. DOI: 10.1016/j.bsecv.2025.100443. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0366317525000299>.

POMPONI, Francesco; PIROOZFAR, Poorang A. E.; SOUTHALL, Ryan; ASHTON, Philip; FARR, Eric. R. P. Energy performance of Double-Skin Façades in temperate climates: A systematic review and meta-analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 54, p. 1525–1536, 2016. DOI: 10.1016/j.rser.2015.10.075. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032115011545>. Acesso em: 28 mar. 2023.

PORTOBELLO. **Fachadas Ventiladas**. 2023. Disponível em: <https://www.portobello.com.br/produtos/fachadas-ventiladas>. Acesso em: 13 abr. 2023.

PREET, Sajjan; MATHUR, Jyotirmay; MATHUR, Sanjay. Influence of geometric design parameters of double skin façade on its thermal and fluid dynamics behavior: A comprehensive review. **Solar Energy**, [S. l.], v. 236, p. 249–279, 2022. DOI: 10.1016/j.solener.2022.02.055. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X22001608>. Acesso em: 2 abr. 2023.

PROCELINFO. **Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética - Selo Procel Edificações**. 2021. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B8E03DCDE-FAE6-470C-90CB-922E4DD0542C%7D>. Acesso em: 14 dez. 2021.

PUJADAS-GISPert, Ester; ALSAILANI, Mohammed; VAN DIJK (KOEN), K. C. A.; ROZEMA (ANNINE), A. D. K.; TEN HOOPE (PUCK), J. P.; KOREVAAR (CARMEN), C. C.; MOONEN (FAAS), S. P. G. Design, construction, and thermal performance evaluation of an innovative bio-based ventilated façade. **Frontiers of Architectural Research**, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 681–696, 2020. DOI: 10.1016/j.foar.2020.02.003. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2095263520300170>. Acesso em: 20 fev. 2022.

QUEVEDO, Juliana Calage; TIER, Marco Antonio Durlo; MARANGON, Ederli; CENCI, Charles Severo. Avaliação das propriedades físicas e térmicas de cerâmicas refratárias produzidas com cinza da casca de arroz e alumina calcinada. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S. l.], v. 27, n. 1, 2022. DOI: 10.1590/s1517-707620220001.1327. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762022000100301&tlng=pt.

RAHIMINEJAD, Mohammad; KHOVALYG, Dolaana. Review on ventilation rates in the ventilated air-spaces behind common wall assemblies with external cladding. **Building and Environment**, [S. l.],

v. 190, p. 107538, 2021. DOI: 10.1016/j.buildenv.2020.107538. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132320309057>. Acesso em: 23 mar. 2023.

RAMEZANI, Mohammad; TREMAIN, Priscilla; SHAH, Kalpit; DOROODCHI, Elham; MOGHHTADERI, Behdad. Kinetics and Design Parameter Determination for a Calciner Reactor in Unique Conditions of a Novel Greenhouse Calcium Looping Process. **Energy & Fuels**, [S. l.], v. 32, n. 1, p. 33–43, 2018. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.7b01882. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.energyfuels.7b01882>.

RAMLEE, Nor Azlina; NAVEEN, Jesuarockiam; JAWAID, Mohammad. Potential of oil palm empty fruit bunch (OPEFB) and sugarcane bagasse fibers for thermal insulation application – A review. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 271, p. 121519, 2021. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121519. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061820335236>.

RAMÓN-TURNER, Óscar *et al.* Noise Levels Due to Commercial and Leisure Activities in Urban Areas: Experimental Validation of a Numerical Model Fed with Crowd Density Estimation Using Computer Vision. **Sensors**, [S. l.], v. 25, n. 12, p. 3604, 2025. DOI: 10.3390/s25123604.

RANACHOWSKI, Zbigniew. **The fabrication, testing and application of fibre cement boards**. Newcastle upon Tyne, Reino Unido: Cambridge Scholars Publishing, 2018.

RANGEL, Eduarda Medran; MELO, Caio Cesar Nogueira De; CARVALHO, Caroline de Oliveira; OSORIO, Alice Gonçalves; MACHADO, Fernando Machado. Espumas vítreas produzidas a partir de resíduos sólidos. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S. l.], v. 23, n. 1, 2018. DOI: 10.1590/s1517-707620170001.0303. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762018000100422&lng=pt&tlng=pt.

REGGIANNINI, Brian; SHEINKOPF, Stephen J.; SILVERMAN, Harvey F.; LI, Xiaoxue; LESTER, Barry M. A Flexible Analysis Tool for the Quantitative Acoustic Assessment of Infant Cry. **Journal of Speech, Language, and Hearing Research**, [S. l.], v. 56, n. 5, p. 1416–1428, 2013. DOI: 10.1044/1092-4388(2013/11-0298). Disponível em: <http://pubs.asha.org/doi/10.1044/1092-4388%282013/11-0298%29>.

RIBEIRO, Aline; MARIOT, Hermes; ANGIOLETTA, Elídio; NONI JUNIOR, Agenor De. Fire exposure behavior of epoxy reinforced with jute fiber applied to ceramic tiles for a ventilated facade system. **Materials Research**, [S. l.], v. 22, n. suppl 1, 2019. DOI: 10.1590/1980-5373-mr-2018-0885.

Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392019000700208&tlng=en. Acesso em: 13 dez. 2021.

RIBEIRO DOS SANTOS, Verônica; DEZENA CABRELON, Marcelo; DE SOUSA TRICHÊS, Eliandra; QUINTEIRO, Eduardo. Green liquor dregs and slaker grits residues characterization of a pulp and paper mill for future application on ceramic products. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 240, p. 118220, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118220. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652619330902>.

RIJMEN, Joske; WIERSEMA, Jan R. Stochastic resonance is not required for pink noise to have beneficial effects on ADHD-related performance? The moderate brain arousal model challenged. **Neuropsychologia**, [S. l.], v. 202, p. 108961, 2024. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2024.108961. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0028393224001763>.

ROUABHIA, F.; NEMAMCHA, A.; MOUMENI, H. Elaboration and characterization of mullite-anorthite-albite porous ceramics prepared from Algerian kaolin. **Ceramica**, [S. l.], v. 64, n. 369, p. 126–132, 2018. DOI: 10.1590/0366-69132018643692297.

ROY, Siddhartha. Thermal properties of porous ceramics. **Open Ceramics**, [S. l.], v. 24, p. 100867, 2025. DOI: 10.1016/j.oceram.2025.100867. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2666539525001348>.

SAHA, Kaustav; SONAWWANAY, Puskaraj D.; PATEL, Vivek; SOLANKI, Mitul. A review on innovative measures for improving the sound absorption of acoustic materials for broader frequency ranges. **Noise & Vibration Worldwide**, [S. l.], 2025. DOI: 10.1177/09574565251391216. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/09574565251391216>.

SALVALAI, Graziano. Characterization of an Opaque Ventilated Façade applied to a living laboratory: A seasonal experimental thermal performance analysis under real conditions. **Solar Energy**, [S. l.], v. 304, p. 114174, 2026. DOI: 10.1016/j.solener.2025.114174. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X25009375>.

SÁNCHEZ, Enrique. Considerações Técnicas sobre Produtos de Revestimento Porcelânico e seus Processos de Manufatura. Parte I. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 0–0, 2017. Disponível em: <http://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657187f8c9d6e028b468d>. Acesso em: 2 out. 2019.

SÁNCHEZ, M. N.; GIANCOLA, E.; SUÁREZ, M. J.; BLANCO, E.; HERAS, M. R. Experimental evaluation of the airflow behaviour in horizontal and vertical Open Joint Ventilated Facades using Stereo-PIV. **Renewable Energy**, [S. l.], v. 109, p. 613–623, 2017. DOI: 10.1016/j.renene.2017.03.082. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148117302732>. Acesso em: 20 fev. 2022.

SÁNCHEZ, M. N.; SANJUAN, C.; SUÁREZ, M. J.; HERAS, M. R. Experimental assessment of the performance of open joint ventilated façades with buoyancy-driven airflow. **Solar Energy**, [S. l.], v. 91, p. 131–144, 2013. DOI: 10.1016/j.solener.2013.01.019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X13000352>. Acesso em: 26 maio. 2022.

SANDAK, Anna; SANDAK, Jakub; BRZEZICKI, Marcin; KUTNAR, Andreja. **Bio-based Building Skin**. Singapore: Springer Singapore, 2019. DOI: 10.1007/978-981-13-3747-5. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-981-13-3747-5>.

SANJUAN, Cristina; SUÁREZ, María José; GONZÁLEZ, Marcos; PISTONO, Jorge; BLANCO, Eduardo. Energy performance of an open-joint ventilated façade compared with a conventional sealed cavity façade. **Solar Energy**, [S. l.], v. 85, n. 9, p. 1851–1863, 2011. DOI: 10.1016/j.solener.2011.04.028. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X11001484>. Acesso em: 14 dez. 2021.

SARIHI, Soad; MEHDIZADEH SARADJ, Fatemeh; FAIZI, Mohsen. A Critical Review of Façade Retrofit Measures for Minimizing Heating and Cooling Demand in Existing Buildings. **Sustainable Cities and Society**, [S. l.], v. 64, p. 102525, 2021. DOI: 10.1016/j.scs.2020.102525. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2210670720307411>. Acesso em: 30 mar. 2023.

SCHULLER, D.; BIANCHI, E. C.; AGUIAR, P. R. Influência de defeitos e diferentes processos de fabricação nas propriedades mecânicas finais de cerâmicas. **Cerâmica**, [S. l.], v. 54, n. 332, p. 435–442, 2008. DOI: 10.1590/S0366-69132008000400008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132008000400008&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 8 out. 2019.

SEFERIS, P.; STRACHAN, P.; DIMOUDI, A.; ANDROUTSOPOULOS, A. Investigation of the performance of a ventilated wall. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 43, n. 9, p. 2167–2178, 2011. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.04.023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778811001769>. Acesso em: 20 jul. 2022.

SHAKIR, Rusul Ahmed; GÉBER, Róbert; MEZHER, Marwan T.; TRZEPIECIŃSKI, Tomasz. Exploring influence of sintering temperature on the structure and technical characteristics of ATZ ceramic composites. **Results in Engineering**, [S. l.], v. 28, p. 107139, 2025. DOI: 10.1016/j.rineng.2025.107139. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2590123025031949>.

SHAMERI, M. A.; ALGHOUL, M. A.; SOPIAN, K.; ZAIN, M. Fauzi M.; ELAYEB, Omkalthum. Perspectives of double skin façade systems in buildings and energy saving. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 15, n. 3, p. 1468–1475, 2011. DOI: 10.1016/j.rser.2010.10.016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032110003667>. Acesso em: 23 jan. 2022.

SILVA, Angelus Giuseppe Pereira Da; ALVES JÚNIOR, Clodomiro. Teoria de sinterização por fase sólida; uma análise crítica de sua aplicação. **Cerâmica**, [S. l.], v. 44, n. 289, p. 171–176, 1998. DOI: 10.1590/s0366-69131998000500004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69131998000500004&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 8 dez. 2020.

SILVA, Luiz Fernando Batista Da; THOMAZ, Ercio; OLIVEIRA, Luciana Alves De. Ventilated cladding systems: structural and drainability performance criteria. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 18, n. 3, p. 341–358, 2018. a. DOI: 10.1590/s1678-86212018000300285. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212018000300341&tlng=en. Acesso em: 20 fev. 2020.

SILVA, Luiz Fernando Batista Da; THOMAZ, Ercio; OLIVEIRA, Luciana Alves De. Ventilated cladding systems: structural and drainability performance criteria. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 18, n. 3, p. 341–358, 2018. b. DOI: 10.1590/s1678-86212018000300285. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212018000300341&tlng=en. Acesso em: 23 jan. 2022.

SIMÃO, L.; CALDATO, R. F.; INNOCENTINI, M. D. M.; MONTEDO, O. R. K. Permeability of porous ceramic based on calcium carbonate as pore generating agent. **Ceramics International**, [S. l.], v. 41, n. 3, p. 4782–4788, 2015. DOI: 10.1016/j.ceramint.2014.12.031. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S027288421401952X>. Acesso em: 12 set. 2019.

SINGH, Veer; MISHRA, Vishal. Environmental impacts of coronavirus disease 2019 (COVID-19). **Bioresource Technology Reports**, [S. l.], v. 15, p. 100744, 2021. DOI: 10.1016/j.biteb.2021.100744. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2589014X21001225>.

SOKOLAR, Radomir; NGUYEN, Martin. Sintering of anorthite ceramic body based on interstratified illite-smectite clay. **Ceramics International**, [S. l.], v. 48, n. 21, p. 31783–31789, 2022. DOI: 10.1016/j.ceramint.2022.07.105.

SOTO FRANCÉS, Víctor Manuel; SARABIA ESCRIVA, Emilio José; PINAZO OJER, José Manuel; BANNIER, Emilie; CANTAVELLA SOLER, Vicente; SILVA MORENO, Gonzalo. Modeling of ventilated façades for energy building simulation software. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 65, p. 419–428, 2013. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.06.015. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778813003538>. Acesso em: 13 dez. 2021.

SOUTULLO, S.; SÁNCHEZ, M. N.; ENRÍQUEZ, R.; OLMEDO, R.; JIMÉNEZ, M. J.; HERAS, M. R. Comparative thermal study between conventional and bioclimatic office buildings. **Building and Environment**, [S. l.], v. 105, p. 95–103, 2016. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.05.017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S036013231630169X>. Acesso em: 17 nov. 2022.

SOUZA, Bruna Nascimento De; BÓ, Marcelo Dal; WATERKEMPER, Ângela; RUZZA, Sérgio; HOTZA, Dachamir; FREDEL, Márcio Celso. Estudo do processo de têmpera química em porcelanatos industriais visando o incremento de propriedades mecânicas e a redução de espessura. **Cerâmica**, [S. l.], v. 70, 2024. DOI: 10.1590/detc7365. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132024000100304&tlng=pt.

SPRINGER, Singapura. Elastic Modulus. Em: SPRINGER, Singapura (org.). **Dictionary of Concrete Technology**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2025. p. 474–476. DOI: 10.1007/978-981-97-2998-2_268. Disponível em: https://link.springer.com/10.1007/978-981-97-2998-2_268.

STAZI, F.; DI PERNA, C.; MUNAFÒ, P. Durability of 20-year-old external insulation and assessment of various types of retrofitting to meet new energy regulations. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 41, n. 7, p. 721–731, 2009. DOI: 10.1016/j.enbuild.2009.02.008. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778809000279>. Acesso em: 28 maio. 2022.

STAZI, F.; TOMASSONI, F.; VEGLIÒ, A.; DI PERNA, C. Experimental evaluation of ventilated walls with an external clay cladding. **Renewable Energy**, [S. l.], v. 36, n. 12, p. 3373–3385, 2011. DOI: 10.1016/j.renene.2011.05.016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148111002424>. Acesso em: 13 dez. 2021.

STAZI, Francesca; ULPIANI, Giulia; PERGOLINI, Marianna; DI PERNA, Costanzo; D’ORAZIO, Marco. The role of wall layers properties on the thermal performance of ventilated facades:

Experimental investigation on narrow-cavity design. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 209, p. 109622, 2020. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.109622. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778819324636>. Acesso em: 28 maio. 2022.

STAZI, Francesca; VEGLIÒ, Ambra; DI PERNA, Costanzo. Experimental assessment of a zinc-titanium ventilated façade in a Mediterranean climate. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 69, p. 525–534, 2014. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.11.043. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778813007500>. Acesso em: 13 dez. 2021.

SUÁREZ, María José; SANJUAN, Cristina; GUTIÉRREZ, Antonio José; PISTONO, Jorge; BLANCO, Eduardo. Energy evaluation of an horizontal open joint ventilated façade. **Applied Thermal Engineering**, [S. l.], v. 37, p. 302–313, 2012. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2011.11.034. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359431111006624>. Acesso em: 26 maio. 2022.

SUN, Humei; HE, Chong; LI, Xiaoming; SHI, Wenju; QIN, Yuhong; WEI, Yuexing. Pore refinement mechanism of CG-based ceramic revealed from in-situ decoupling of carbon evolution and mineral sintering. **Ceramics International**, [S. l.], v. 51, n. 27, p. 55393–55406, 2025. DOI: 10.1016/j.ceramint.2025.09.260. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0272884225045730>.

SUTHABANDITPONG, W.; TAKAI, C.; RAZAVI-KHOSROSHAHI, H.; OKADA, Y.; EL-SALMAWY, M. S.; FUJI, M. Influence of CaCO₃ pore-forming agent on porosity and thermal conductivity of cellulose acetate materials prepared by non-solvent induced phase separation. **Advanced Powder Technology**, [S. l.], v. 30, n. 1, p. 207–213, 2019. DOI: 10.1016/j.appt.2018.10.024. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921883118308070>.

TAPPARO, Alessandra. **Engineered wood glass combination - Innovative glazing façade system**. 2017. KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 2017. DOI: 10.13140/RG.2.2.19797.73445.

TORRES, Samanta de O. A.; THOMAZINI, Daniel; BALTHAZAR, Gabriel P.; GELFUSO, Maria V. Microstructural Influence on Thermoelectric Properties of CaMnO₃ Ceramics. **Materials Research**, [S. l.], v. 23, n. 5, 2020. DOI: 10.1590/1980-5373-mr-2020-0169. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392020000500220&tlng=en.

TRONCHIN, Lamberto. Modal analysis and intensity of acoustic radiation of the kettledrum. **The Journal of the Acoustical Society of America**, [S. l.], v. 117, n. 2, p. 926–933, 2005. DOI: 10.1121/1.1828552.

TULYAGANOV, Dilshat U.; DIMITRIADIS, Konstantinos; AGATHOPOULOS, Simeon; BAINO, Francesco; FERNANDES, Hugo R. Wollastonite-containing glass-ceramics from the CaO–Al₂O₃–SiO₂ and CaO–MgO–SiO₂ ternary systems. **Open Ceramics**, [S. l.], v. 17, p. 100507, 2024. DOI: 10.1016/j.oceram.2023.100507. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2666539523001797>.

VAKIFAHMETOGLU, Cekdar; ZEYDANLI, Damla; COLOMBO, Paolo. Porous polymer derived ceramics. **Materials Science and Engineering: R: Reports**, [S. l.], v. 106, p. 1–30, 2016. a. DOI: 10.1016/j.msar.2016.05.001. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0927796X16300262>. Acesso em: 23 abr. 2020.

VAKIFAHMETOGLU, Cekdar; ZEYDANLI, Damla; COLOMBO, Paolo. Porous polymer derived ceramics. **Materials Science and Engineering R: Reports**, [S. l.], v. 106, p. 1–30, 2016. b. DOI: 10.1016/j.msar.2016.05.001.

VIGÉ, D. Vehicle interior noise refinement – cabin sound package design and development. *Em: Vehicle Noise and Vibration Refinement*. [s.l.] : Elsevier, 2010. p. 286–317. DOI: 10.1533/9781845698041.3.286. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9781845694975500133>.

VIVALDINI, D. O.; MOURÃO, A. A. C.; SALVINI, V. R.; PANDOLFELLI, V. C. Revisão: fundamentos e materiais para o projeto da microestrutura de isolantes térmicos refratários de alto desempenho. **Cerâmica**, [S. l.], v. 60, n. 354, p. 297–309, 2014. DOI: 10.1590/S0366-69132014000200021. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132014000200021&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 15 out. 2019.

WALTER, Natalie; GÜRSOY, Benay. A Study on the Sound Absorption Properties of Mycelium-Based Composites Cultivated on Waste Paper-Based Substrates. **Biomimetics**, [S. l.], v. 7, n. 3, p. 100, 2022. DOI: 10.3390/biomimetics7030100. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2313-7673/7/3/100>.

WANG, Haibo; CAI, Ming; CUI, Hongjun. Simulation and Analysis of Road Traffic Noise among Urban Buildings Using Spatial Subdivision-Based Beam Tracing Method. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [S. l.], v. 16, n. 14, p. 2491, 2019. DOI: 10.3390/ijerph16142491. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/14/2491>.

WEBMINERAL. **Gehlenite mineral data**. 2026. Disponível em: <https://webmineral.com/data/Gehlenite.shtml>. Acesso em: 5 jan. 2026.

YANG, Fengkun; LI, Cuiwei; LIN, Yamei; WANG, Chang-An. Effects of sintering temperature on properties of porous mullite/corundum ceramics. **Materials Letters**, [S. l.], v. 73, p. 36–39, 2012. DOI: 10.1016/j.matlet.2011.12.087. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167577X11015345>.

YOST, William A. Auditory Perception. *Em: Encyclopedia of the Human Brain*. [s.l.] : Elsevier, 2002. p. 303–320. DOI: 10.1016/B0-12-227210-2/00047-9. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B0122272102000479>.

YU, Jinghua; YANG, Jian; XIONG, Chao. Study of dynamic thermal performance of hollow block ventilated wall. **Renewable Energy**, [S. l.], v. 84, p. 145–151, 2015. DOI: 10.1016/j.renene.2015.07.020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148115301166>. Acesso em: 5 ago. 2022.

ZAIOU, S.; HARABI, A.; HARABI, E.; GUECHI, A.; KARBOUA, N.; BENHASSINE, M. T.; ZOUI, S.; GUERFA, F. Sintering of anorthite based ceramics prepared from kaolin DD2 and calcite. **Ceramica**, [S. l.], v. 62, n. 364, p. 317–322, 2016. DOI: 10.1590/0366-69132016623642015.

ZAUBERAS, R. T.; GOMES, P. L. S.; DINIZ, C. A. R.; BOSCHI, A. O. Planejamento estatístico de experimentos aplicado ao desenvolvimento de formulações para revestimentos cerâmicos. **Cerâmica**, [S. l.], v. 50, n. 313, p. 33–37, 2004. DOI: 10.1590/s0366-69132004000100005. Acesso em: 3 set. 2019.

ZHANGABAY, Nurlan *et al.* Analysis of the influence of thermal insulation material on the thermal resistance of new facade structures with horizontal air channels. **Case Studies in Construction Materials**, [S. l.], v. 18, p. e02026, 2023. DOI: 10.1016/j.cscm.2023.e02026. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S221450952300205X>. Acesso em: 4 maio. 2023.

ZHAO, Fei; ZHANG, Lixin; REN, Zhen; GAO, Jinxing; CHEN, Xiaoyu; LIU, Xinhong; GE, Tiezhu. A novel and green preparation of porous forsterite ceramics with excellent thermal isolation properties. **Ceramics International**, [S. l.], v. 45, n. 3, p. 2953–2961, 2019. DOI: 10.1016/j.ceramint.2018.09.296. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0272884218327767>. Acesso em: 10 out. 2019.

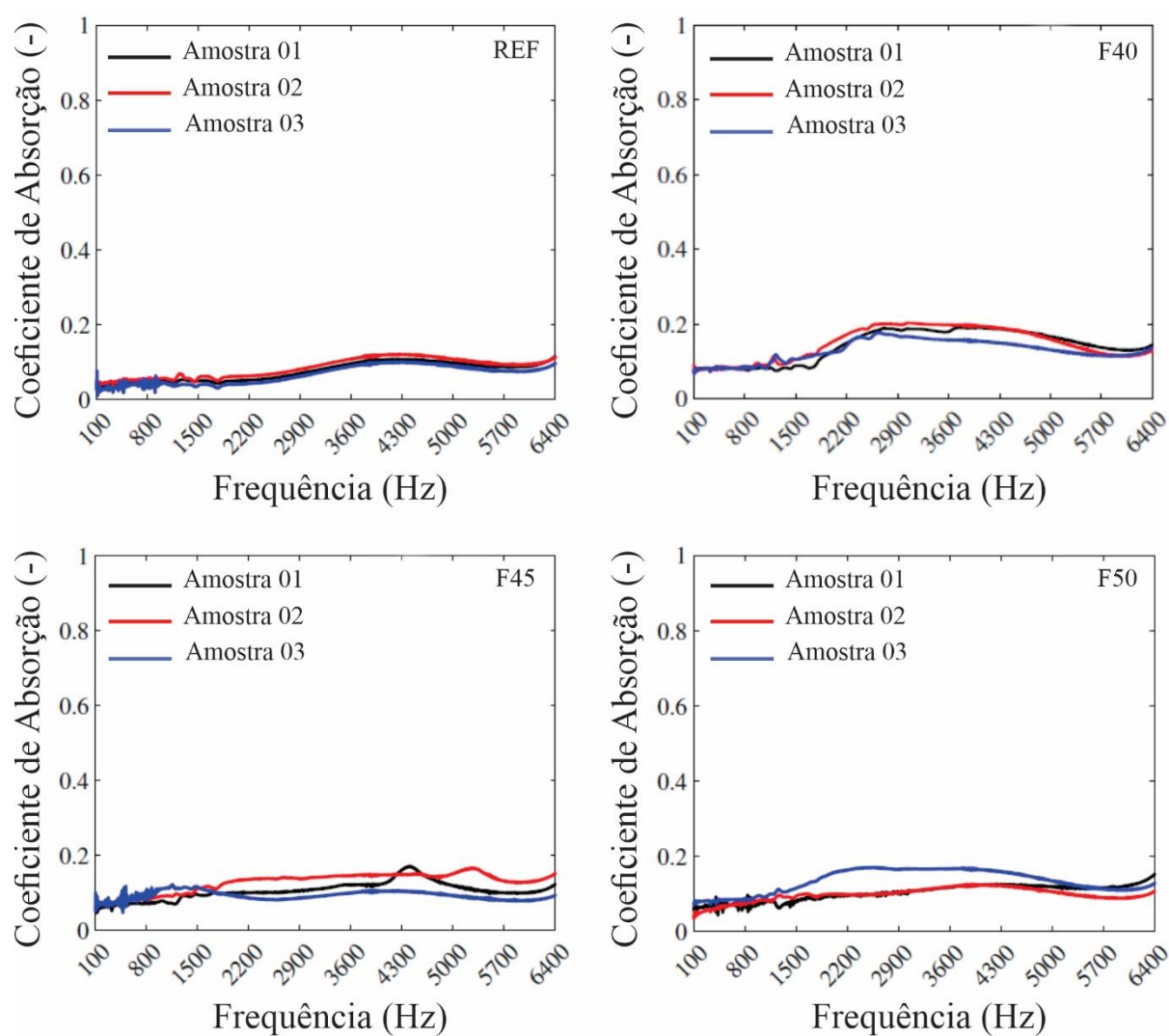
ZHOU, Junhong; LIU, Dongdong; LI, Xin; MA, Jing; ZHANG, Jue; FANG, Jing. Pink noise: Effect on complexity synchronization of brain activity and sleep consolidation. **Journal of Theoretical Biology**, [S. l.], v. 306, p. 68–72, 2012. DOI: 10.1016/j.jtbi.2012.04.006. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022519312001798>.

ZOGOU, Olympia; STAPOUNTZIS, Hericos. Experimental validation of an improved concept of building integrated photovoltaic panels. **Renewable Energy**, [S. l.], v. 36, n. 12, p. 3488–3498, 2011. DOI: 10.1016/J.RENENE.2011.05.034. Acesso em: 22 maio. 2022.

ZÖLLNER, A.; WINTER, E. R. F.; VISKANTA, R. Experimental studies of combined heat transfer in turbulent mixed convection fluid flows in double-skin-façades. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, [S. l.], v. 45, n. 22, p. 4401–4408, 2002. DOI: 10.1016/S0017-9310(02)00160-6. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0017931002001606>. Acesso em: 9 mar. 2023.

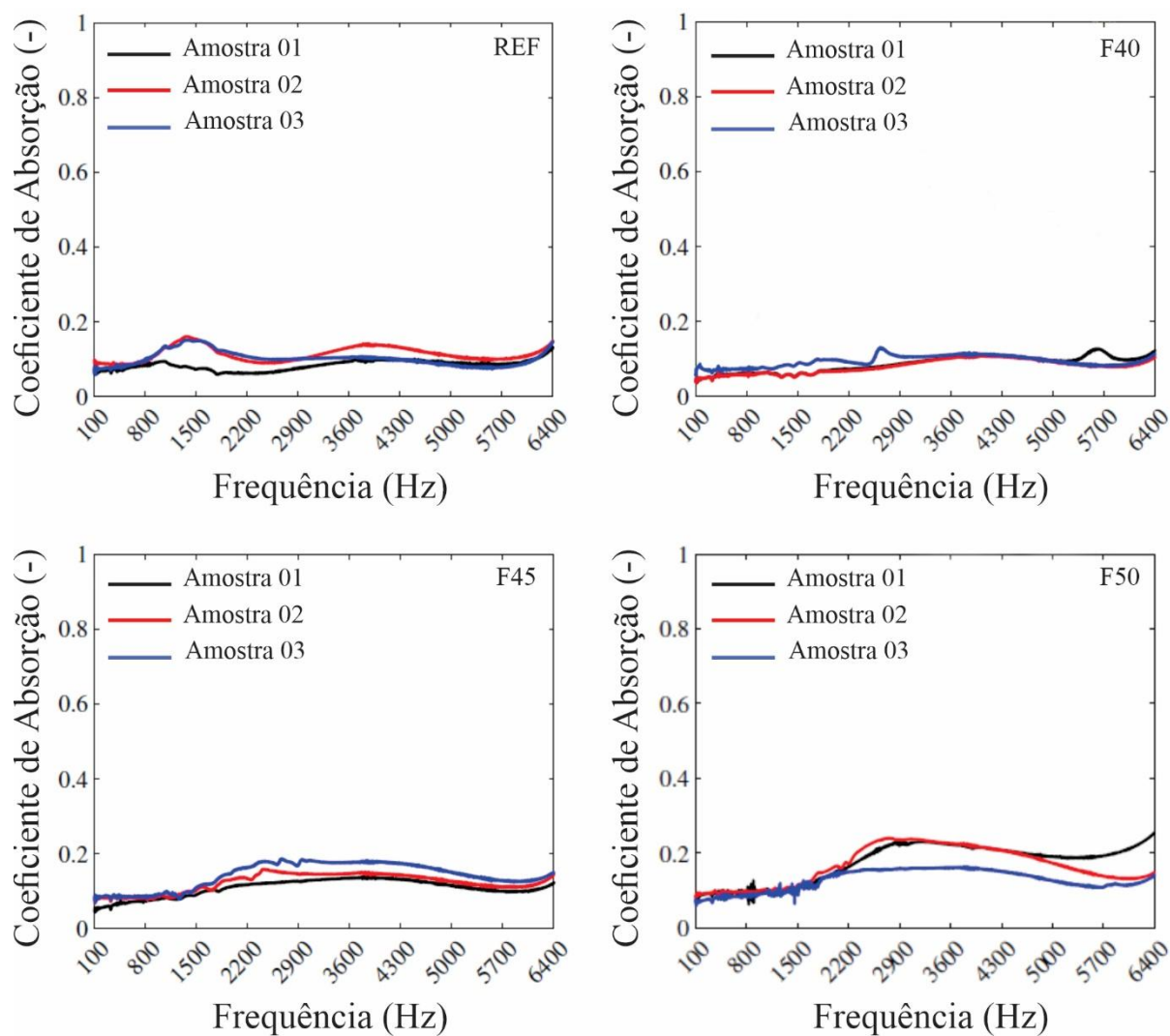
**APÊNDICE A – GRÁFICOS DE COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA DAS
FORMULAÇÕES CERÂMICAS REF, F40, F45 E F50 QUEIMADAS A 1120, 1140 E
1160 °C**

Figura A.1 - Coeficiente de absorção sonora das formulações REF, F40, F45 e F50 queimadas a temperatura 1120 °C.



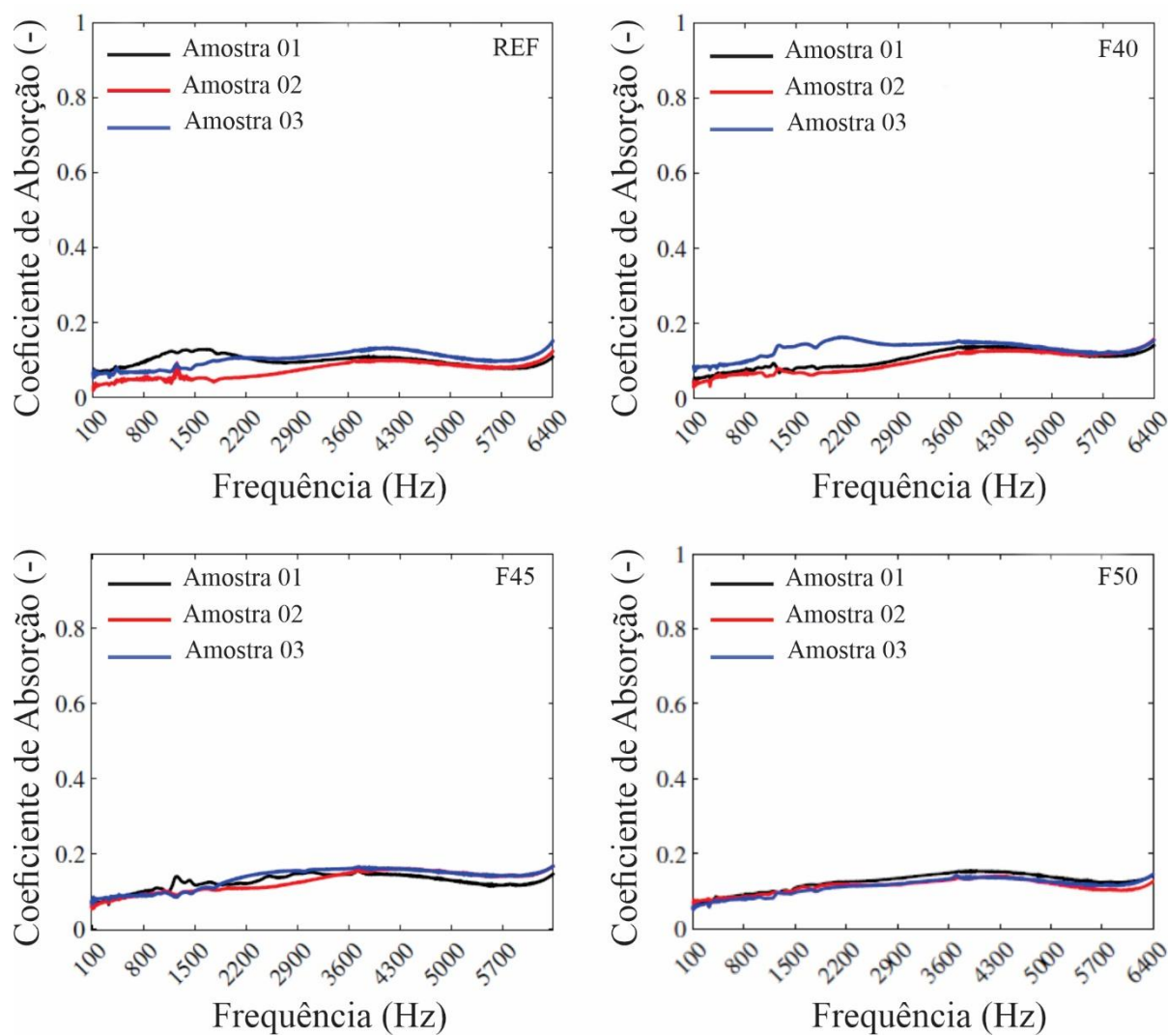
Fonte: Do Autor (2026).

Figura A.2 – Coeficiente de absorção sonora das formulações REF, F40, F45 e F50 queimadas a temperatura 1140 °C.



Fonte: Do Autor (2026).

Figura A.3 – Coeficiente de absorção sonora das formulações REF, F40, F45 e F50 queimadas a temperatura 1160 °C.



Fonte: Do Autor (2026).

APÊNDICE B –VALORES MÉDIOS E DESVIOS PADRÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA (A) DAS FORMULAÇÕES CERÂMICAS REF, F40, F45 E F50, QUEIMADAS A 1120, 1140 E 1160 °C, PARA AS FAIXAS DE BAIXA, MÉDIA E ALTA FREQUÊNCIA

Tabela B.1 – Tabela com os valores médios e desvios padrão do coeficiente de absorção sonora (α) das formulações cerâmicas REF, F40, F45 e F50, queimadas a 1120 °C, obtidos a partir da extração dos dados dos gráficos, para as faixas de baixa, média e alta frequência.

Temperatura de queima 1120 °C						
REFT1120						
Baixa Frequência			Média Frequência		Alta Frequência	
Amostra	α	Média	α	Média	α	Média
1	0,04	0,06 ± 0,02	0,05	0,05 ± 0,01	0,12	0,11 ± 0,01
2	0,05		0,06		0,11	
3	0,08		0,04		0,10	
F40T1120						
Baixa Frequência			Média Frequência		Alta Frequência	
Amostra	α	Média	α	Média	α	Média
1	0,09	0,09 ±0,00	0,13	0,13 ± 0,01	0,19	0,19 ± 0,01
2	0,09		0,15		0,20	
3	0,09		0,13		0,18	
F45T1120						
Baixa Frequência			Média Frequência		Alta Frequência	
Amostra	α	Média	α	Média	α	Média
1	0,07	0,09 ± 0,02	0,10	0,12 ± 0,02	0,12	0,12 ± 0,03
2	0,08		0,14		0,15	
3	0,11		0,12		0,10	
F50T1120						
Baixa Frequência			Média Frequência		Alta Frequência	
Amostra	α	Média	α	Média	α	Média
1	0,08	0,08 ± 0,01	0,10	0,12 ± 0,03	0,13	0,14 ± 0,03
2	0,07		0,10		0,13	
3	0,08		0,16		0,18	

Fonte: Do Autor (2026).

Tabela B.2 – Tabela com os valores médios e desvios padrão do coeficiente de absorção sonora (α) das formulações cerâmicas REF, F40, F45 e F50, queimadas a 1140 °C, obtidos a partir da extração dos dados dos gráficos, para as faixas de baixa, média e alta frequência.

Temperatura de queima 1140 °C						
REFT1140						
Baixa Frequência			Média Frequência		Alta Frequência	
Amostra	α	Média	α	Média	α	Média
1	0,07	0,08 ± 0,02	0,10	0,14 ± 0,04	0,10	0,12 ± 0,02
2	0,10		0,16		0,14	
3	0,08		0,15		0,12	
F40T1140						
Baixa Frequência			Média Frequência		Alta Frequência	
Amostra	α	Média	α	Média	α	Média
1	0,06	0,07 ± 0,02	0,07	0,08 ± 0,02	0,11	0,12 ± 0,01
2	0,06		0,07		0,11	
3	0,09		0,11		0,13	
F45T1140						
Baixa Frequência			Média Frequência		Alta Frequência	
Amostra	α	Média	α	Média	α	Média
1	0,07	0,08 ± 0,01	0,11	0,13 ± 0,02	0,14	0,16 ± 0,03
2	0,09		0,14		0,16	
3	0,09		0,16		0,19	
F50T1140						
Baixa Frequência			Média Frequência		Alta Frequência	
Amostra	α	Média	α	Média	α	Média
1	0,10	0,10 ± 0,01	0,15	0,15 ± 0,01	0,23	0,21 ± 0,04
2	0,10		0,16		0,25	
3	0,09		0,15		0,17	

Fonte: Do Autor (2026).

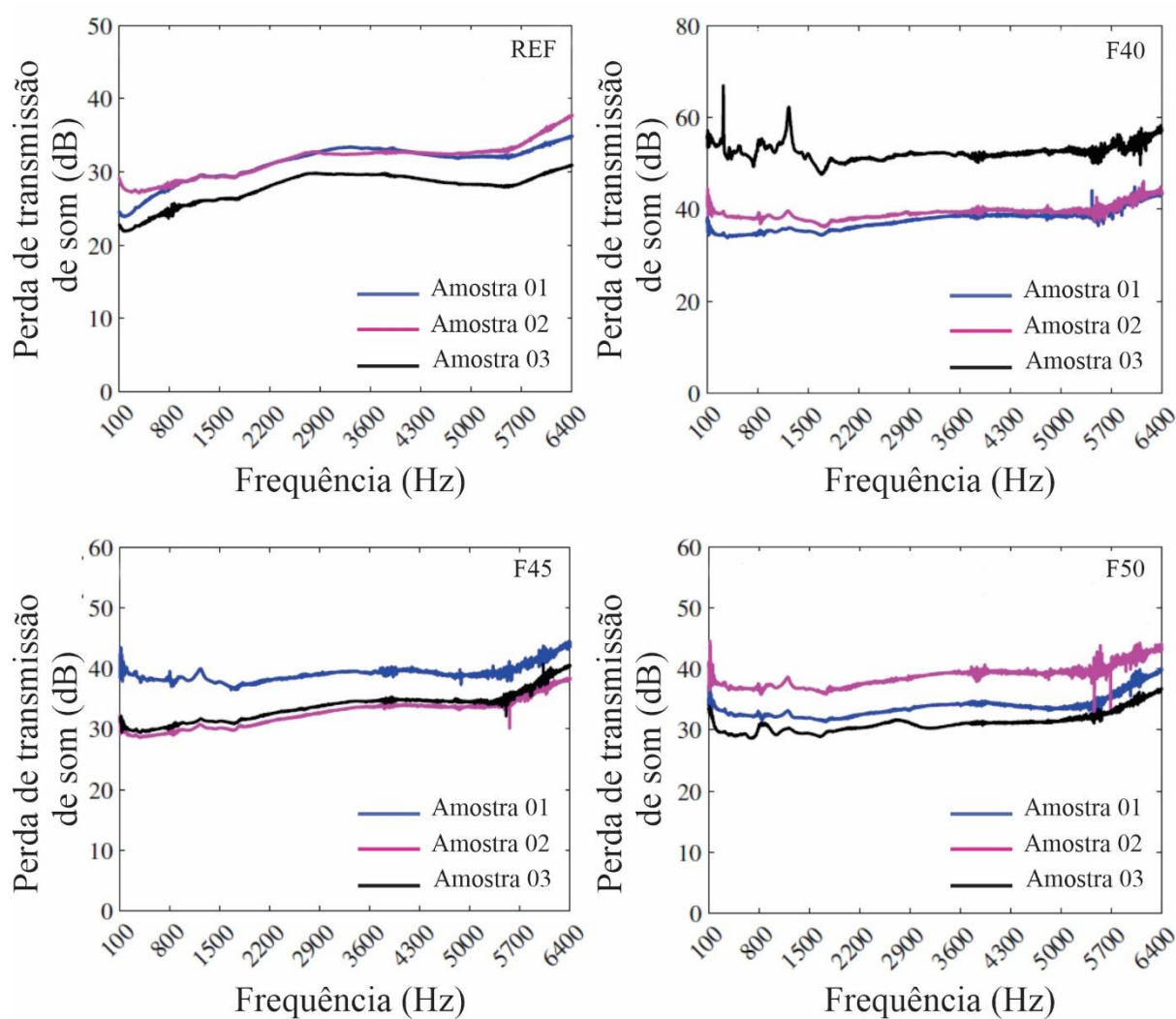
Tabela B.3 – Tabela com os valores médios e desvios padrão do coeficiente de absorção sonora (α) das formulações cerâmicas REF, F40, F45 e F50, queimadas a 1160 °C, obtidos a partir da extração dos dados dos gráficos, para as faixas de baixa, média e alta frequência.

Temperatura de queima 1160 °C									
REFT1160									
Baixa Frequência				Média Frequência			Alta Frequência		
Amostra	α	Média	DP	α	Média	DP	α	Média	DP
1	0,08	0,07 ± 0,02		0,14	0,10 ± 0,04		0,10	0,11 ± 0,02	
2	0,05			0,06			0,11		
3	0,07			0,11			0,14		
F40T1160									
Baixa Frequência				Média Frequência			Alta Frequência		
Amostra	α	Média	DP	α	Média	DP	α	Média	DP
1	0,07	0,07 ± 0,02		0,10	0,11 ± 0,04		0,14	0,14 ± 0,02	
2	0,06			0,08			0,13		
3	0,09			0,16			0,17		
F45T1160									
Baixa Frequência				Média Frequência			Alta Frequência		
Amostra	α	Média	DP	α	Média	DP	α	Média	DP
1	0,09	0,09 ± 0,01		0,15	0,13 ± 0,02		0,16	0,16 ± 0,01	
2	0,08			0,11			0,17		
3	0,09			0,14			0,17		
F50T1160									
Baixa Frequência				Média Frequência			Alta Frequência		
Amostra	α	Média	DP	α	Média	DP	α	Média	DP
1	0,09	0,09 ± 0,01		0,13	0,12 ± 0,01		0,16	0,15 ± 0,01	
2	0,09			0,12			0,14		
3	0,08			0,11			0,14		

Fonte: Do Autor (2026).

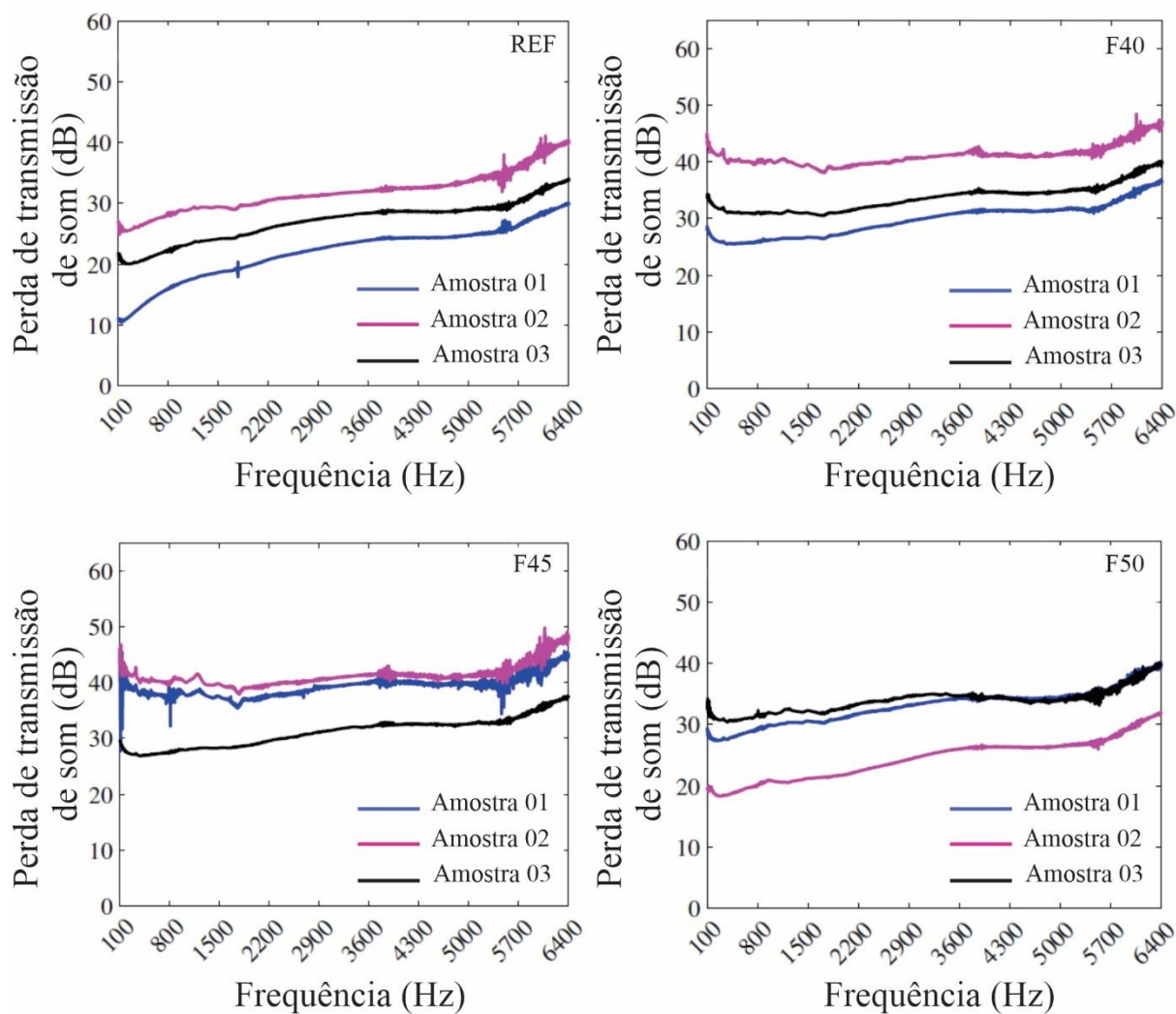
**APÊNDICE C – GRÁFICOS DA PERDA DE TRANSMISSÃO SONORA DAS
FORMULAÇÕES CERÂMICAS REF, F40, F45 E F50 QUEIMADAS A 1120, 1140 E
1160 °C**

Figura C.1 – Perda de transmissão sonora das formulações REF, F40, F45 e F50 queimadas a temperatura 1120 °C.



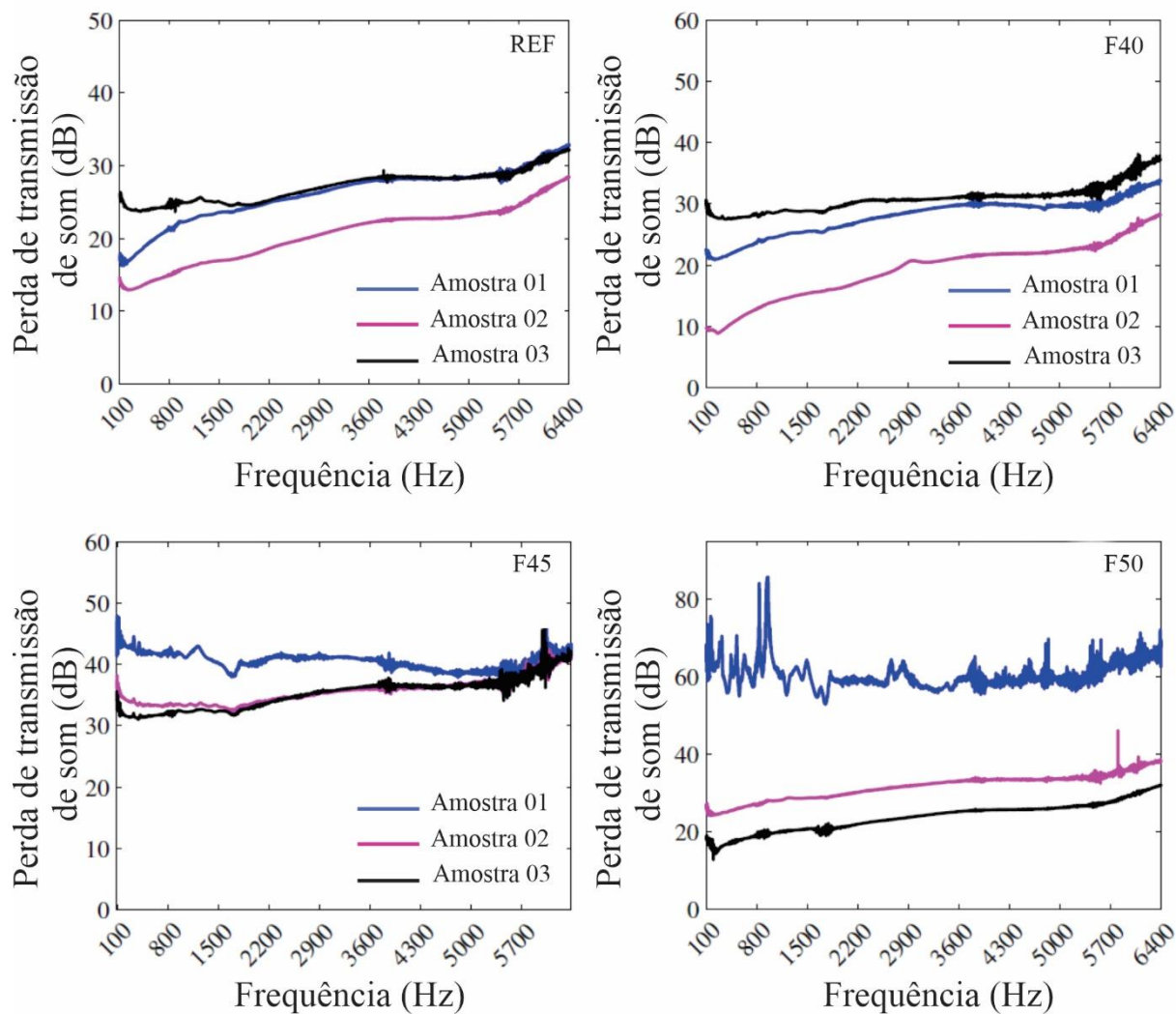
Fonte: Do Autor (2026).

Figura C.2 – Perda de transmissão sonora das formulações REF, F40, F45 e F50 queimadas a temperatura 1140 °C.



Fonte: Do Autor (2026).

Figura C.3 – Perda de transmissão sonora das formulações REF, F40, F45 e F50 queimadas a temperatura 1160 °C.



Fonte: Do Autor (2026).

APÊNDICE D –VALORES MÉDIOS E DESVIOS PADRÃO DA PERDA DE TRANSMISSÃO SONORA DAS FORMULAÇÕES CERÂMICAS REF, F40, F45 E F50, QUEIMADAS A 1120, 1140 E 1160 °C, PARA AS FAIXAS DE BAIXA, MÉDIA E ALTA FREQUÊNCIA

Tabela D.1 – Tabela com os valores médios e desvios padrão da perda de transmissão sonora (dB) das formulações cerâmicas REF, F40, F45 e F50, queimadas a 1120 °C, obtidos a partir da extração dos dados dos gráficos, para as faixas de baixa, média e alta frequência.

Temperatura de queima 1120 °C									
REF T1120									
Baixa Frequência			Média Frequência			Alta Frequência			
Amostra	α	Média	DP	α	Média	DP	α	Média	DP
1	26,5			30,5			33,5		
2	29,5	26,5 ± 3,00		30,5	29,5 ± 1,70		33	32,17 ± 1,89	
3	23,5			27,5			33		
F40 T1120									
Baixa Frequência			Média Frequência			Alta Frequência			
Amostra	α	Média	DP	α	Média	DP	α	Média	DP
1	39			36			39		
2	45	48,67 ± 11,93		40	43,67 ± 10,02		40,5	44 ± 7,40	
3	62			55			52,5		
F45 T1120									
Baixa Frequência			Média Frequência			Alta Frequência			
Amostra	α	Média	DP	α	Média	DP	α	Média	DP
1	44			40,5			40,5		
2	32,5	36,33 ± 6,64		31	34,5 ± 5,22		34	36,67 ± 3,40	
3	32,5			32			35		
F50 T1120									
Baixa Frequência			Média Frequência			Alta Frequência			
Amostra	α	Média	DP	α	Média	DP	α	Média	DP
1	37,5			33,5			35		
2	45	38,83 ± 5,62		39	34,67 ± 3,88		41	36 ± 4,58	
3	34			31,5			32		

Fonte: Do Autor (2026).

Tabela D.2 – Tabela com os valores médios e desvios padrão da perda de transmissão sonora (dB) das formulações cerâmicas REF, F40, F45 e F50, queimadas a 1140 °C, obtidos a partir da extração dos dados dos gráficos, para as faixas de baixa, média e alta frequência.

Temperatura de queima 1140 °C									
REFT1140									
Baixa Frequência				Média Frequência			Alta Frequência		
Amostra	α	Média	DP	α	Média	DP	α	Média	DP
1	14	20,83 ± 6,53		20	25,17 ± 5,01		24,5	28,5 ± 4,00	
2	27			30			32,5		
3	21,5			25,5			28,5		
F40T1140									
Baixa Frequência				Média Frequência			Alta Frequência		
Amostra	α	Média	DP	α	Média	DP	α	Média	DP
1	29	36,17 ± 8,13		27,5	33,33 ± 6,93		32	36,67 ± 5,35	
2	45			41			42,5		
3	34,5			31,5			35,5		
F45T1140									
Baixa Frequência				Média Frequência			Alta Frequência		
Amostra	α	Média	DP	α	Média	DP	α	Média	DP
1	46	41 ± 9,54		37,5	35,33 ± 5,58		41	39 ± 5,29	
2	47			39,5			43		
3	30			29			33		
F50T1140									
Baixa Frequência				Média Frequência			Alta Frequência		
Amostra	α	Média	DP	α	Média	DP	α	Média	DP
1	29	27,67 ± 7,09		31,5	28,83 ± 5,97		34,5	32 ± 4,77	
2	20			22			26,5		
3	34			33			35		

Fonte: Do Autor (2026).

Tabela D.3 – Tabela com os valores médios e desvios padrão da perda de transmissão sonora (dB) das formulações cerâmicas REF, F40, F45 e F50, queimadas a 1160 °C, obtidos a partir da extração dos dados dos gráficos, para as faixas de baixa, média e alta frequência.

Temperatura de queima 1160 °C									
REFT1160									
Baixa Frequência				Média Frequência			Alta Frequência		
Amostra	α	Média	DP	α	Média	DP	α	Média	DP
1	19	20,17 ± 5,84		24	22,33 ± 4,25		28	26,33 ± 3,33	
2	15			17,5			22,5		
3	26,5			25,5			28,5		
F40T1160									
Baixa Frequência				Média Frequência			Alta Frequência		
Amostra	α	Média	DP	α	Média	DP	α	Média	DP
1	23	21,33 ± 9,61		26,5	24,33 ± 7,01		30	27,83 ± 5,58	
2	11			16,5			21,5		
3	30			30			32		
F45T1160									
Baixa Frequência				Média Frequência			Alta Frequência		
Amostra	α	Média	DP	α	Média	DP	α	Média	DP
1	48	40,33 ± 6,81		43	36,67 ± 5,51		42	39 ± 2,65	
2	38			34			37		
3	35			33			38		
F50T1160									
Baixa Frequência				Média Frequência			Alta Frequência		
Amostra	α	Média	DP	α	Média	DP	α	Média	DP
1	65	37 ± 24,58		65	38,67 ± 23,25		64	41,17 ± 20,23	
2	27			30			34		
3	19			21			25,5		

Fonte: Do Autor (2026).

**APÊNDICE E – PLANILHAS DE DADOS EXPERIMENTAIS DOS ENSAIOS TÉRMICOS OBTIDOS COM O APARATO
TÉRMICO, REGISTRADOS PELO FIELDLOGGER**

Tabela E.1 – Leituras de temperatura (°C) registradas pelo FieldLogger para o ensaio acústico simulando uma fachada tradicional.

T1 Estufa	T1 - calibração	T4 Parede gesso	T4 - calibração	T5 Caixa madeira	T5 - calibração
90,19	89,71	59,99	59,32	31,37	29,27
92,11	91,64	60,67	60,01	31,35	29,25
88,86	88,36	61,18	60,52	31,36	29,26
86,89	86,38	60,57	59,90	31,54	29,45
83,19	82,65	60,44	59,77	31,58	29,49
80,92	80,36	60,06	59,39	31,52	29,43
79,00	78,42	59,6	58,92	31,5	29,41
77,33	76,74	59,38	58,70	32,14	30,05
81,88	81,33	59,71	59,03	32,53	30,44
92,58	92,12	62,16	61,52	32,77	30,68
92,47	92,01	63,48	62,85	32,65	30,56
89,77	89,28	63,24	62,61	32,7	30,61
87,45	86,94	62,56	61,92	32,7	30,61
84,32	83,79	62,02	61,37	32,56	30,47
82,16	81,61	62,21	61,57	32,61	30,52
80,71	80,15	62,02	61,37	33,25	31,17
79,12	78,54	61,79	61,14	33,64	31,56
79,17	78,59	61,07	60,41	33,72	31,64
94,27	93,82	63,58	62,95	33,61	31,53
93,51	93,05	64,33	63,71	33,53	31,45
91,54	91,07	64,34	63,73	33,49	31,41
88,95	88,46	64,11	63,49	33,51	31,43
86,6	86,09	63,64	63,02	33,45	31,37

	84,01	83,47	63,17	62,54	33,59	31,51
	82,48	81,93	63,49	62,86	34,19	32,11
Média		85,46±5,29		61,30±1,63		30,59±0,91

Fonte: Do Autor (2026).

Tabela E.2 – Leituras de temperatura (°C) registradas pelo FieldLogger para o ensaio acústico simulando uma fachada ventilada – REFT1140.

T1 Estufa	T1 - calibração	T2 Revestimento	T2 - calibração	T3 Chaminé	T3 - calibração	T4 Parede gesso	T4 - calibração	T5 Caixa madeira	T5 - calibração
84,77	84,24	69,7	68,7	22,83	21,66	27,64	26,53	24,43	22,29
83,04	82,50	68,11	67,1	22,31	21,13	27,57	26,45	24,5	22,36
81,68	81,12	67,26	66,2	23,03	21,86	27,87	26,76	24,3	22,16
79,98	79,41	65,25	64,2	23,17	22,00	28,06	26,95	24,23	22,09
77,9	77,31	63,51	62,4	23,71	22,54	28,45	27,35	24,05	21,91
85,23	84,70	69,65	68,6	23,42	22,25	28,31	27,21	24,02	21,88
90,51	90,03	71,32	70,3	24,36	23,19	28,76	27,66	23,77	21,63
89,86	89,37	71,98	71,0	25,33	24,17	29,02	27,92	23,78	21,64
88,26	87,76	70,79	69,8	23,91	22,74	28,2	27,09	24,26	22,12
86,85	86,34	70,16	69,1	23,02	21,85	28,68	27,58	24,69	22,55
85,2	84,67	68,85	67,8	22,43	21,25	28,7	27,60	24,71	22,57
83,05	82,51	68,04	67,0	23,14	21,97	28,75	27,65	24,62	22,48
81,39	80,83	66,28	65,2	23,27	22,10	28,8	27,70	24,39	22,25
80,29	79,72	66,78	65,7	23,54	22,37	29,07	27,98	24,3	22,16
90,88	90,40	72,61	71,6	23,58	22,41	29,26	28,17	24,13	21,99
91,34	90,87	73,23	72,2	24,25	23,08	29,59	28,50	24,05	21,91
90,45	89,97	73,61	72,6	24,34	23,17	29,36	28,27	24,35	22,21
89,15	88,66	72,81	71,8	23,36	22,19	29,09	28,00	24,8	22,67
87,42	86,91	71,98	71,0	23,16	21,99	29,42	28,33	24,94	22,81
85,6	85,08	69,89	68,9	23,47	22,30	29,54	28,45	24,9	22,77
83,73	83,19	68,28	67,2	23,69	22,52	29,47	28,38	24,61	22,47
81,49	80,93	66,72	65,7	23,99	22,82	29,66	28,57	24,58	22,44
83,18	82,64	68,05	67,0	23,89	22,72	29,54	28,45	24,33	22,19
90,29	89,81	72,4	71,4	24,65	23,48	30,13	29,05	24,33	22,19
89,84	89,35	73,07	72,1	24,52	23,35	29,72	28,63	24,27	22,13
Média	85,13±4,03		68,57±2,78		22,44±0,71		27,81±0,70		22,24±0,31

Fonte: Do Autor (2026).

Tabela E.3 – Leituras de temperatura (°C) registradas pelo FieldLogger para o ensaio acústico simulando uma fachada ventilada – Melhor Condição Experimental – F50T1140.

T1 Estufa	T1 - calibração	T2 Revestimento	T2 - calibração	T3 Chaminé	T3 - calibração	T4 Parede gesso	T4 - calibração	T5 Caixa madeira	T5 - calibração
89,43	88,94	65,42	64,35	23,82	22,65	27,13	26,01	22,91	20,76
87,38	86,87	64,8	63,72	23,54	22,37	27,21	26,09	22,9	20,75
84,98	84,45	64,14	63,06	23,52	22,35	26,77	25,64	22,8	20,65
82,51	81,96	62,63	61,54	23,16	21,99	27,04	25,92	22,76	20,61
89,18	88,69	65,84	64,77	24,57	23,40	27,14	26,02	22,79	20,64
87,58	87,07	65,18	64,11	24,38	23,21	27,34	26,22	22,78	20,63
85,59	85,07	64,01	62,93	23,75	22,58	27,61	26,50	22,73	20,58
83,26	82,72	63,03	61,94	23,34	22,17	27,15	26,03	22,76	20,61
86,56	86,05	64,91	63,83	23,52	22,35	27,19	26,07	22,8	20,65
89,71	89,22	66,11	65,04	23,55	22,38	27,16	26,04	22,79	20,64
88,3	87,80	65,59	64,52	23,23	22,06	27,3	26,18	22,78	20,63
86,02	85,50	64,37	63,29	23,5	22,33	27,36	26,24	22,76	20,61
83,66	83,12	63,59	62,50	23	21,83	27,19	26,07	22,74	20,59
86,2	85,68	64,9	63,82	23,11	21,94	26,87	25,75	22,77	20,62
89,02	88,53	65,74	64,67	22,61	21,43	26,87	25,75	22,57	20,42
86,12	85,60	64,72	63,64	22,79	21,62	27,1	25,98	22,55	20,40
83,84	83,30	63,95	62,87	23,21	22,04	27,18	26,06	22,53	20,38
84,38	83,85	64,1	63,02	22,88	21,71	26,79	25,66	22,5	20,35
88,77	88,27	65,54	64,47	24,81	23,65	27,83	26,72	22,6	20,45
86,71	86,20	64,61	63,53	23,65	22,48	27,15	26,03	22,51	20,36
83,97	83,43	63,63	62,54	23,02	21,85	26,87	25,75	22,63	20,48
82,83	82,28	63,08	61,99	23,11	21,94	27,04	25,92	22,56	20,41
89,16	88,67	65,99	64,92	23,73	22,56	27,26	26,14	22,69	20,54
87,01	86,50	65,34	64,27	23,66	22,49	27,05	25,93	22,6	20,45
84,65	84,12	63,99	62,91	22,69	21,51	26,87	25,75	22,72	20,57
83,27	82,73	63,48	62,39	23,04	21,87	27,13	26,01	22,68	20,53

88,73	88,23	66,15	65,08	25	23,84	27,88	26,77	22,73	20,58
86,64	86,13	65,37	64,30	23,84	22,67	27,22	26,10	22,75	20,60
84,45	83,92	64,56	63,48	23,35	22,18	27,25	26,13	22,82	20,67
83,78	83,24	64,46	63,38	22,76	21,59	27,13	26,01	22,78	20,63
89,69	89,20	66,4	65,34	23,73	22,56	27,05	25,93	22,69	20,54
86,71	86,20	65,3	64,23	24,21	23,04	27,65	26,54	22,65	20,50
84,48	83,95	64,47	63,39	24,2	23,03	27,41	26,29	22,67	20,52
82,51	81,96	63,23	62,14	24,83	23,67	28,09	26,98	22,78	20,63
Média	85,57±2,32		63,59±1,00		22,39±0,63		26,09±0,31		20,56±0,11

Fonte: Do Autor (2026).

**APÊNDICE F – PLANILHAS DE MEDIÇÕES DE NÍVEL DE PRESSÃO SONORA
OBTIDAS COM OS DECIBELÍMETROS NOS ENSAIOS ACÚSTICOS PARA A
CATEGORIA RUÍDO EXTERNO**

Tabela F.1 – Medições de nível de pressão sonora (dB) obtidas com os decibelímetros para o Som Ambiente de Construção.

Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente de Construção									
Categoria do Ruído: Externo									
Tipo de Ensaio	Decibelímetro Fluke 495 (posicionado frontalmente a cabine)				Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posicionado dentro da Caixa 02)				
	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100	
Ensaio Acústico simulado uma Fachada Tradicional	37,4	66,1	84,6	103,8	29,9	30,1	37,5	59,4	
	37,2	66,7	85,1	104,7	29,7	30,1	37,5	58,1	
	37,3	67	84,7	103,8	29,7	30,1	37,5	59,1	
	37,3	67	84,4	104,5	29,7	30,3	38,6	58,7	
	37,4	66,3	84,8	104,6	29,8	30,4	37,9	59,9	
	37,2		84,3	104,4	29,8	30,5	38,2	58,6	
	37,2		84,9	104,5	29,7	30,2	37,2	58,5	
	37,3		85,4		29,9	30,3	38,1	58,4	
	37,2				29,6	31,2	38,5		
	37,4				29,7	30,1	38,1		
					29,6		37,8		
					29,8				
					29,8				
	Média	37,29	66,62	84,78	104,33	29,75	30,33	37,90	58,84
	D.P.	0,09	0,41	0,36	0,37	0,10	0,34	0,45	0,59
Ensaio Acústico simulado uma Fachada Ventilada – REFT1140	36,4	66,1	83,9	104,1	29,3	29,7	35,7	53,9	
	37	66,5	84	104,1	29,4	29,9	36,8	55,0	
	37,1	66,4	84,1	104,5	29,3	29,9	35,9	53,7	
	36,5	67	84,3	104,5	29,4	29,8	36,6	54,4	
	36,9	66	84,2	104,5	29,5	29,9	35,6	54,2	
	36,5	66,4	84,3	104,1	29,5	29,8	36,9	54,5	
	37,1	66,3	84,5	104,3	29,5	29,9	36,4	53,8	
	36,9	66,1	84,6		29,3	29,7	36,3	53,7	
	37		84,6		29,4	29,9	36,5	55,2	
	36,7		84,5		29,4	29,8	36,1		
	36,8		84,7		29,3		36,7		
	36,9				29,3		36,2		
	37				29,3		36,3		
	36,6				29,3				

Ensaio Acústico simulado uma Fachada Ventilada – Melhor Condição Experimental - F50T1140	36,6					29,3			
	36,9					29,3			
						29,3			
						29,4			
	Média	36,81	66,35	84,34	104,30	29,36	29,83	36,31	54,27
	D.P.	0,23	0,32	0,27	0,20	0,08	0,08	0,41	0,56
	36,4	66,3	84,4	103,9		29,9	30,4	36,1	53
	36,5	66,1	84,3	104,1		29,9	30,3	35,8	53,5
	36,4	66,1	84,5	104,2		29,9	30,5	36,3	53,2
	36	66,5	84,2	104,2		29,8	30,3	35,9	53
	36,5	66,4	84,3	104,3		30,3	30,4	36,1	53,4
	36,3	66,3	84,2	104,1		29,8	30,4	36,1	53,6
	36,4	66,4	84,3	104,2		29,8	30,3		
	36,5		84,1			29,9	29,9		
	36,5		83,9			29,9	29,8		
	36,3					29,8			
	36,4					29,8			
						29,8			
						29,9			
						29,8			
	Média	36,38	66,30	84,24	104,14	29,88	30,26	36,05	53,28
	D.P.	0,15	0,15	0,17	0,13	0,13	0,24	0,18	0,26

Nota: Todos os níveis de pressão sonora estão expressos em dB(A).

Fonte: Do Autor (2026).

Tabela F.2 – Medições de nível de pressão sonora (dB) obtidas com os decibelímetros para o Som Ambiente Barulho de Trânsito Urbano.

Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente Barulho de Trânsito Urbano									
Categoria do Ruído: Externo									
Tipo de Ensaio	Decibelímetro Fluke 495 (posicionado frontalmente a cabine)				Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posicionado dentro da Caixa 02)				
	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100	
Ensaio Acústico simulado uma Fachada Tradicional	37,2	69,3	87,4	103,6	29,8	31,5	43,4	57,6	
	37,2	68,3	88,6	103,4	29,8	32,3	43,3	57,5	
	37,2	69,5	88	103,6	29,7	31,1	44,6	58,5	
	37,3	68,4	87,5	104	29,7	31,2	43,2	57,7	
	37,3	68,9	87,9	103,9	29,7	31,5	43,9	58,2	
	37,3	69,1	87	103,9	29,8	31,2	43,6	58,1	
	37,3	68,2	87	103,4	29,8	31,8	43,7	58,4	
	37,3	68,2	87,8	104,1	29,7	31,1	43,8	58,4	
	37,4			104,8	29,8			57,8	
	37,3			103,8	29,9				
	37,2			104,4	29,7				
					29,7				
					29,7				
					29,8				
	Média	37,27	68,74	87,65	103,90	29,76	31,46	43,69	58,02
	D.P.	0,06	0,53	0,54	0,42	0,06	0,42	0,44	0,38
Ensaio Acústico simulado uma Fachada Ventilada – REFT1140	36,9	67,9	87,4	102,9	29,5	30,5	41,1	56,1	
	37,1	67,9	87,3	103,3	29,6	30,5	41	56,7	
	37	68,3	87,5	103,9	29,5	30,7	41,1	56,6	
	37,2	68,2	87,1	103,3	29,6	30,9	41,6	56,6	
	37,3	68,4	87,3	103,4	29,6	30,7	41	56,4	
	37	68,5	87,2	103,7	29,5	30,8	41,3	55,5	
	37,2	68,5	87,2	103,4	29,5	30,8	42,4	55,5	
	37,1		87,5		29,4	30	41		
	36,9				29,6	31	42,3		
	36,9				29,5	30,4	41,2		
	37,1				29,4	30,4			
	37				29,4	30,3			
	37,1				29,5	30,6			
					29,5	30,4			
					29,5	30,4			
					29,5	30,1			
					29,6				
					29,4				

Ensaio Acústico simulado uma Fachada Ventilada – Melhor Condição Experimental - F50T1140						29,5			
	Média	37,06	68,24	87,31	103,41	29,51	30,53	41,40	56,20
	D.P.	0,13	0,26	0,15	0,32	0,07	0,28	0,53	0,52
		37,3	68	87,9	102,9	30	30,4	40,5	54,9
		37,2	68,1	87,8	103,1	29,7	30,6	40,4	55,5
		37,1	68,7	87,5	103,1	29,9	30,6	40,9	55,1
		37,4	68,5	87,6	102,8	30,3	30,5	40,5	54
		37,3	68,2	87,5	103,7	29,9	30,4	40,9	55
		37,4	68,4	87,8	103,1	30,1	30,3	40,4	54,9
		37,2	68,5	87,6	103,5	29,9			54,5
		37,1	68,5		103,7	29,8			
		37	68,5		103,5	29,8			
		37,4				29,8			
		37,4				29,9			
	Média	37,25	66,38	87,67	103,27	29,92	30,47	40,60	54,84
	D.P.	0,15	0,23	0,16	0,34	0,17	0,12	0,24	0,48

Nota: Todos os níveis de pressão sonora estão expressos em dB(A).

Fonte: Do Autor (2026).

Tabela F.3 – Medições de nível de pressão sonora (dB) obtidas com os decibelímetros para o Som Ambiente de Bar.

Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente de Bar										
Categoria do Ruído: Externo										
Tipo de Ensaio	Decibelímetro Fluke 495 (posicionado frontalmente a cabine)				Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posicionado dentro da Caixa 02)					
	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100		
Ensaio Acústico simulado uma Fachada Tradicional	37,2	69,9	92,6	106,6	29,9	32,3	42,9	58,1		
	37,4	69,8	92,7	106,6	29,9	32,5	43	58,2		
	37,4	69,9	93,4	106,5	30	33	43,1	58,1		
	37,7	69,7	92,2	106,7	29,8	32,6	42,1	59,1		
	37,4	69,6	92	107,4	30,1	33	42,2	58,1		
	37,3	69,7	92,3	107,6	30,3	33,2	42,4	59,3		
	37,1	69,8	92,4	107,3	30,2	32,2	42,8	59,2		
	37,2	69,9	92,5	106,8	30,2	32,7	43,1	58,5		
	37,4			106,9	30,3	33,5	42,9			
	37,5			107,1	30,4		42,5			
	37,3			107,8	30,3					
					30,1					
					30,1					
					29,9					
					29,8					
					29,9					
		Média	37,35	69,79	92,51	107,03	30,08	32,78	42,70	58,58
		D.P.	0,16	0,11	0,42	0,44	0,19	0,43	0,37	0,54
Ensaio Acústico simulado uma Fachada Ventilada – REFT1140	37	69,7	91,9	106,9	29,3	29,8	40,4	56,5		
	37,4	68,6	92,7	106,8	29,3	29,9	40,7	56,7		
	37,5	68,8	92,5	106,9	29,3	30,4	40,5	56,9		
	37,4	69,6	92,5	106,9	29,3	30,2	40,6	56,9		
	37,5	69,7	92,4	107,1	29,3	30,1	40,6	55,8		
	37,3	69,8	92,5	107,3	29,3	30,1	40,5	56,5		
	37,2	69,9	92,4	107,1	29,3	30,4	41,4	56,6		
	37,4		92,7	107,2	29,3	30,4				
	37,3			107,1	29,3	30,4				
	37,5				29,2	30				
	37,4				29,3	30,1				
	37,5				29,2	30				
	37,4				29,3	30,1				
	37,5				29,3	30,1				
	37,6				29,3	30,6				
					29,3	30,9				

Ensaio Acústico simulado uma Fachada Ventilada – Melhor Condição Experimental – F50T1140					29,2	30,4			
					29,3	30,3			
	Média	37,39	69,44	92,45	107,03	29,28	30,23	40,67	56,56
	D.P.	0,15	0,52	0,25	0,17	0,04	0,27	0,34	0,37
	37	69,9	95,8	106,9	30,3	30,4	40,6	56,7	
	37,1	69,5	92,5	106,9	29,8	30,4	40,7	57,1	
	37,5	69,4	92,6	107,1	29,8	30,9	40,6	56,4	
	37,4	69,4	92,6	107,2	29,8	30,6	41,1	56,3	
	37,3	69,3	92,7	107,3	30	30,1	40,5	56,1	
	37,5	69,2	92,8	107,4	30,1	30,6	40,7	56,1	
	37,4	69,5	92,7	107,5	30	30,5			
	37,5	69,4	92,5	107,5	29,9				
	37,1	69,3		107,5	29,8				
	37,5				29,9				
	37,4				29,8				
	37,3				29,8				
					29,9				
	Média	37,33	69,43	92,65	107,26	29,92	30,50	40,70	56,45
	D.P.	0,18	0,20	0,12	0,25	0,15	0,24	0,21	0,39

Nota: Todos os níveis de pressão sonora estão expressos em dB(A).

Fonte: Do Autor (2026).

Tabela F.4 – Medições de nível de pressão sonora (dB) obtidas com os decibelímetros para o Som Ambiente de Feira.

Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente de Feira										
Categoria do Ruído: Externo										
Tipo de Ensaio	Decibelímetro Fluke 495 (posicionado frontalmente a cabine)				Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posicionado dentro da Caixa 02)					
	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100		
Ensaio Acústico simulado uma Fachada Tradicional	37,7	72,6	91,3	106,1	29,9	30,7	44,1	57,8		
	38	72,5	92,5	105,9	29,7	30,9	44,3	57,8		
	37,8	72,8	92,1	105,8	29,5	30,4	43,5	57,7		
	37,9	72,6	92,4	105,7	29,6	30,5	44	57,6		
	37,8	72,8	92,4	105,2	29,6	30,6	44,1	58,2		
	37,9	73,7	91,5	105,4	29,7	30,5	44,3	57,9		
	37,9	72,6	91,8	105,2	29,6	31,5	43,8	57,8		
	37,9	72,9	91,6	105,2	29,6	31,6	43,5	58,7		
	38	73,1	92,8		29,6	30,5		58,4		
	38,2				29,6	31				
	37,9				29,6	30,4				
	37,9				29,6	30,7				
					29,7					
					29,7					
		Média	37,91	72,84	92,04	105,56	29,64	30,78	43,95	57,99
		D.P.	0,12	0,37	0,52	0,36	0,09	0,41	0,32	0,37
Ensaio Acústico simulado uma Fachada Ventilada – REFT1140	37	72,8	92,4	104,6	29,4	29,9	40,3	55,8		
	37,3	72,6	92,5	104,5	29,4	30,1	41,8	56,1		
	37,2	72,7	92,3	105,3	29,3	29,1	41,1	56,4		
	37,4	72,1	92,1	105,2	29,3	30,1	41,6	55,5		
	37,4	72,1	92	104,9	29,3	30	41,5	56,3		
	37,3	72,3	91,8	105,7	29,3	29,8	41,4	56,3		
	37,3	72,8	92,3	105,7	29,3	29,9	40,8	56,2		
	37,1	72,9	92,4		29,3	30,1	40,9			
	37,1	72,8			29,3	30,1	41,1			
	37	72,7			29,3	30,1				
	37,1				29,3	30,1				
	37				29,3	29,8				
	37,1				29,3	30				
	37,2				29,3	30,1				
	37,3				29,3	29,8				
	37,2				29,3	29,9				
	37,2				29,3					
	37,1				29,2					

Ensaio Acústico simulado uma Fachada Ventilada – Melhor Condição Experimental – F50T1140		37,2							
	Média	37,18	72,58	92,23	105,13	29,31	29,93	41,17	56,09
	D.P.	0,13	0,30	0,24	0,49	0,04	0,25	0,46	0,32
		37,8	72,9	91,8	104,9	30,1	30,2	39,5	55,9
		37	72,8	92,2	104,8	29,9	30,7	39,5	55,8
		37,7	72,8	92,1	105,3	30,2	30,5	39,6	55,4
		36,8	72,7	91,8	105,4	30,1	30,7	40,3	55,9
		36,9	72,6	91,9	105,7	30,3	30,3	40,3	56
		37,7	72,5	92,2	105,8	29,9	30,9	40,5	55,9
		37,1	72,5	92,4	105,4	29,9			
		37,4	72,4	92,4		29,9			
		37,2							
		37,7							
		37,9							
	Média	37,38	72,65	92,10	105,33	30,04	30,55	39,95	55,82
	D.P.	0,10	0,18	0,24	0,37	0,16	0,27	0,46	0,21

Nota: Todos os níveis de pressão sonora estão expressos em dB(A).

Fonte: Do Autor (2026).

Tabela F.5 – Medições de nível de pressão sonora (dB) obtidas com os decibelímetros para o Som Ambiente de Crianças Brincando.

Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente de Crianças Brincando										
Categoria do Ruído: Externo										
Tipo de Ensaio	Decibelímetro Fluke 495 (posicionado frontalmente a cabine)				Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posicionado dentro da Caixa 02)					
	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100		
Ensaio Acústico simulado uma Fachada Tradicional	37,4	61,5	79,8	100,1	29,8	31,2	31,4	46,1		
	38,1	61,4	80	99,9	29,8	30	31,8	45,4		
	38	61,4	80,3	99,5	29,8	29,7	31,1	46,4		
	38,1	60,6	79,2	99,2	29,7	29,6	31,1	45,7		
	38	60,7	79,4	100,9	29,6	29,5	31,3	45,3		
	37,9	60,5	79,4	100,5	29,7	29,6	31,8	46,6		
	37,8	60,8	79,7	100,7	29,7	29,7	32,7	45,6		
	38	61,6	80,1	100,1	29,8	29,7	31,7	46,2		
	37,8					29,6	31,7	46		
	37,9					29,6	31,7			
	37,8					29,6				
	37,6					29,7				
	37,7					29,9				
	37,6					29,7				
	37,6					29,8				
						29,6				
		Média	37,82	61,06	79,74	100,11	29,74	29,78	31,63	45,92
		D.P.	0,21	0,45	0,39	0,58	0,07	0,40	0,46	0,45
Ensaio Acústico simulado uma Fachada Ventilada – REFT1140	37,5	61,9	78,9	100,3	29,8	29,5	30,7	45		
	37,6	61,7	79,2	100,4	29,5	29,7	30,6	44,7		
	37,8	61,5	79,5	100,5	29,5	29,5	31,3	44,7		
	37,6	61,2	79,1	100,2	29,5	29,6	31,06	44,7		
	37,9	61	79,3	100,7	29,5	29,8	30,7	44,4		
	37,7	61,2	79,1	100,5	29,6	30	31,6	45,6		
	37,6	61,2	79,1	100,4	29,4	29,6	30,9	45		
	37,5	61,4	79,5		29,4	29,4	30,7			
	37,9	61,2			29,7	29,4	30,7			
	37,4				29,4	29,4	30,6			
	37,8				29,4	29,4	30,7			
	37,7				29,3	29,4	31			
	37,6				29,4	29,3	30,7			
	37,8				29,4	29,5	30,6			
	37,5				29,3	29,3	30,7			
	37,8				29,3	29,3	30,6			

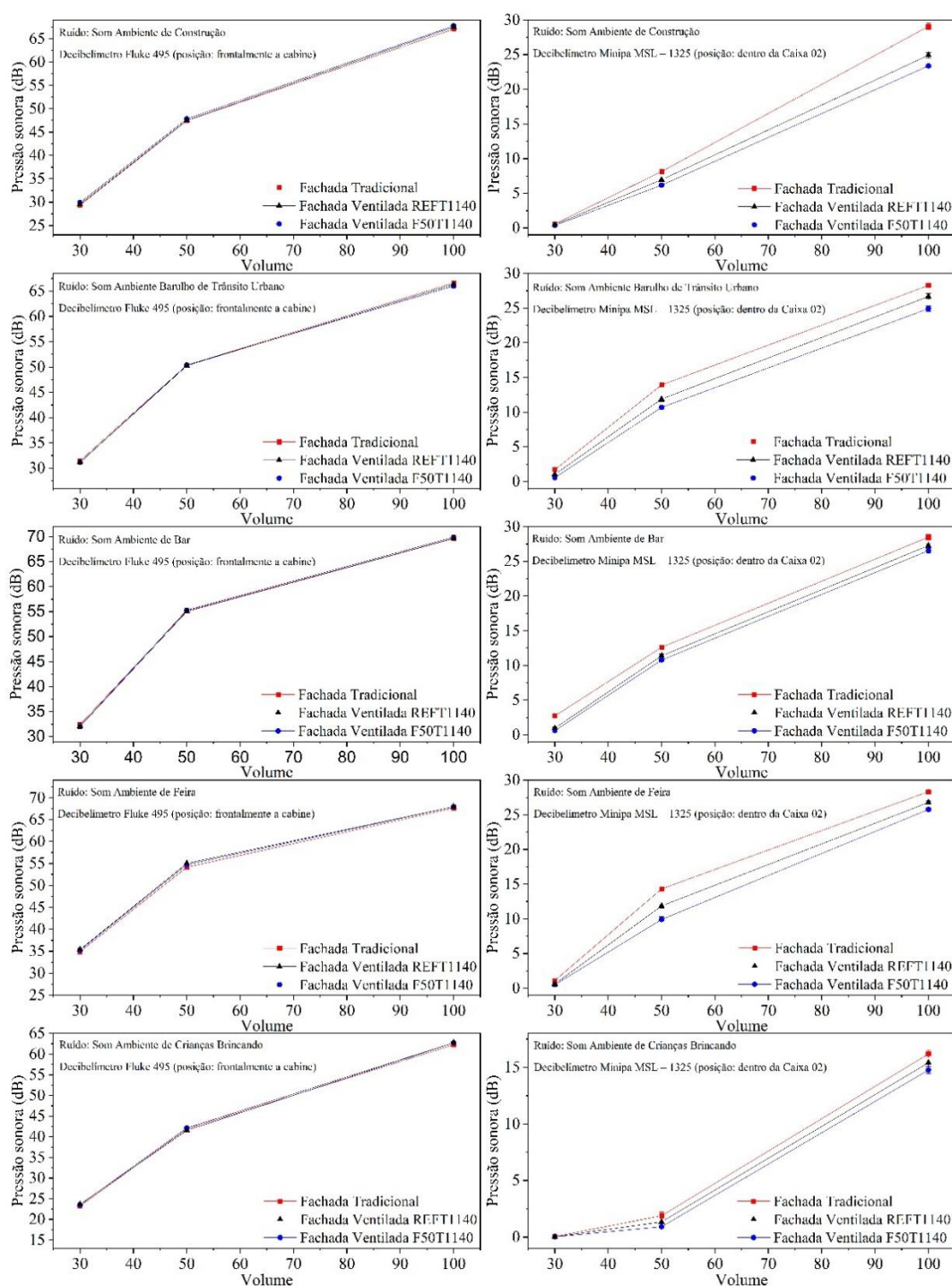
Ensaio Acústico simulado uma Fachada Ventilada – Melhor Condição Experimental – F50T1140	37,8					29,4	29,4	30,6	
	37,7						29,4	30,8	
							29,4	30,8	
	Média	37,68	61,37	79,21	100,43	29,46	29,49	30,81	44,87
	D.P.	0,15	0,29	0,21	0,16	0,14	0,18	0,27	0,38
	36,8	60,9	79,5	99,9		29,8	29,9	30,9	44,9
	36,7	60,7	79,6	100,2		29,9	29,9	30,6	44
	37,1	60,8	79,5	100,1		29,8	29,9	30,7	44,5
	37,1	60,8	79,7	100		30,3	29,9	31	44,8
	37,8	61	79,6	100,5		29,9	29,9	30,6	44,9
	37,4	61,2	79,5	100,6		29,8	29,9	30,8	44,8
	37,5	61,2	79,5			29,7	30	30,9	
	37,2	60,9				29,8		31	
	37,6					29,9			
	37,6					29,8			
	37,4					30,1			
	37,3					29,9			
	37,8								
	37,8								
	37,8								
	37,6								
	37,5								
	37,4								
	Média	37,41	60,94	79,56	100,16	29,89	29,91	30,81	44,65
	D.P.	0,33	0,18	0,08	0,30	0,16	0,04	0,16	0,35

Nota: Todos os níveis de pressão sonora estão expressos em dB(A).

Fonte: Do Autor (2026).

**APÊNDICE G – CONJUNTO DE GRÁFICOS DA DIFERENÇA DA RELAÇÃO
SINAL-RUÍDO (dB) CONSIDERANDO OS NÍVEIS DE VOLUME SONORO (30, 50 E
100 DB) PARA AS DIFERENTES CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS, NA
CATEGORIA DE RUÍDO EXTERNO.**

Figura G. 1 – Diferença da relação sinal-ruído (dB) para cada condição experimental analisada para a categoria do ruído externo versus níveis de volume 30, 50 e 100 (dB).



Fonte: Do Autor (2026).

**APÊNDICE H – PLANILHAS DE MEDIÇÕES DE NÍVEL DE PRESSÃO SONORA
OBTIDAS COM OS DECIBELÍMETROS NOS ENSAIOS ACÚSTICOS PARA A
CATEGORIA RUÍDO INTERNO**

Tabela H.1 – Medições de nível de pressão sonora (dB) obtidas com os decibelímetros para o Som Ambiente de Festa.

Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente de Festa								
Categoria do Ruído: Interno								
Tipo de Ensaio	Decibelímetro Fluke 495 (posicionado frontalmente a cabine)				Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posicionado dentro da Caixa 02)			
	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100
Ensaio Acústico simulado uma Fachada Tradicional	36,8	38,1	47,3	63,7	30,2	63,7	81,3	84,8
	36,9	38,4	48,9	62,7	30,1	64	81,6	84,6
	37	38,1	48,5	63,1	30,3	63,8	82,3	84,6
	36,7	38,5	48	63,6	30,4	64	81,6	84,7
	36,9	38	48,2	62,7	30,2	63,9	81,8	84,7
	36,6	38,1	47,8	63	30,4	63,1	81,2	84,6
	36,6	39	47,3	63,1	30,3	63,9	81,7	84,7
	37,2	39	48,2	62,6	30,3	63,8	81,5	84,7
	37	39,6		63	30,2	63,7	81,3	84,7
	37	38,5		62,8	30,2	63,6	82,2	84,8
	37	38,4		63,7	30,5	63,1	82,8	84,8
	36,8	38,5		63,3	30,4	64,3	81,4	84,6
	36,8				30,4	64,2		84,6
	37,1				30,2	64,1		84,6
					30,1	64,6		84,6
					30,1	64,8		84,7
					30,2			
					30,3			
					30,4			
	Média	36,89	38,52	48,03	30,27	63,91	81,73	84,68
	D.P.	0,18	0,47	0,55	0,12	0,15	0,48	0,08
Ensaio Acústico simulado uma Fachada Ventilada – REFT1140	36,5	36,1	46,7	61,6	29,6	63,8	81,3	84,3
	36,8	36,9	46,2	60,6	29,6	63,6	81,6	84,2
	37,1	37,3	46,5	61,6	29,7	63,5	81,5	84,1
	37,2	37,4	45,8	61,1	29,7	63,6	81,4	84
	36,8	37,2	45,8	61,4	29,7	63,4	81,5	84,1
	36,9	37,3	46,8	60,8	29,8	63,2	81,6	84
	36,9	37,2	46,4	60,8	29,6	63,3	81,6	84,3
	37,1	37,2	46,3	61,7	29,8	63,5	81,7	84,4

Ensaio Acústico simulado uma Fachada Ventilada – Melhor Condição Experimental- F50T1140		37	37,6	45,5	60,7	29,7	63,7		84,3	
		37	37,7	46,2	60,5	29,8	63,8		84,2	
		36,9	37,6	45,6	61,4	29,7	63,7		84	
		37	37,7	45,6	60,9	29,6			84,1	
		37	37,4			29,6			84,3	
		37,2	37,3			29,7				
		36,9	37,1			29,7				
		37	37,2			29,7				
		37	37,4			29,6				
		36,9	37,5			29,7				
		36,8	37,3			29,7				
		Média	36,95	37,28	46,12	61,09	29,68	63,55	81,53	84,18
		D.P.	0,16	0,35	0,45	0,43	0,07	0,20	0,13	0,14
			35,7	34,6	41,7	58,8	30,2	63,8	81,6	84,6
			35,8	35,1	41,7	58,5	30,8	63,7	81,5	84,5
			35,7	35,5	41,4	58,1	30	63,8	81,5	84,6
			35,8	35,7	41,7	58,4	30,4	63,9	81,6	84,7
			36	35,8	41,9	58,3	30,2	63,7	81,7	84,9
			35,8	36	41,6	58,7	30,1	63,7	81,9	84,6
			35,7	36,1	41,6	58,4	30,3	63,6	81,7	84,8
		35,8	36,2	41,8		30		81,4	84,8	
		35,7	36,2	41,5		30,1		81,5	84,7	
		35,9	36,3	41,1				81,6	84,6	
		36	36,1	41,1				81,5		
		35,7	36	41,3						
		35,7	35,5	41,3						
		35,9	36,1	41,2						
			36,1	41,2						
			35,5	41,6						
			35,8	40,5						
			35,8	40,7						
			36	41,4						
		Média	35,80	35,81	41,38	58,46	30,23	63,74	81,59	84,68
		D.P.	0,11	0,43	0,36	0,24	0,25	0,10	0,14	0,12

Nota: Todos os níveis de pressão sonora estão expressos em dB(A).

Fonte: Do Autor (2026).

Tabela H.2 – Medições de nível de pressão sonora (dB) obtidas com os decibelímetros para o Som Ambiente Choro de Bebê.

Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente Choro de Bebê								
Categoria do Ruído: Interno								
Tipo de Ensaio	Decibelímetro Fluke 495 (posicionado frontalmente a cabine)				Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posicionado dentro da Caixa 02)			
	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100
8559Ensaio Acústico simulado uma Fachada Tradicional	36,7	37,4	46,2	62,2	30,2	61,9	80,9	85,6
	36,7	37,3	46,2	61,9	30,2	61,8	80,2	85,5
	36,7	37,8	46,1	61,1	30	62,1	79,9	85,7
	36,8	37,7	45,3	61,1	30,3	62,5	80,8	85,4
	36,9	38	46,5	61,9	30,2	63,2	79,5	85,5
	36,8	37,9	46,5	61,3	30	63,1	79,9	85,6
	36,7	37,4	46,5	62	30,2	62,2	79,6	85,7
	36,8	37,2	46,1	61,3	30	61,9	79,8	85,7
	36,9	37,6	46,3	61,8	30,1	62,6		
	36,7	37,8		61,5	30,1			
	36,8			61,6	30,2			
	36,6			62,1	30,1			
	36,7			62,2	30,1			
	36,6				30			
	36,5				30			
	36,5				30,2			
	36,5				30,1			
	36,8				30			
					30,1			
	Média	36,71	37,61	46,19	30,11	62,37	80,08	85,59
	D.P.	0,13	0,27	0,37	29,8	0,52	0,52	0,11
Ensaio Acústico simulado uma Fachada Ventilada – REFT1140	36,3	36,3	43,3	60,4	29,7	61,8	80,5	85,5
	36,5	36,8	43,7	60,3	29,7	61,9	80,4	85,4
	36,6	37	44,7	60,8	29,6	62	80,2	85,3
	36,8	37,2	43,3	60,7	29,6	62,1	79,9	85,3
	36,6	37,1	44,1	60,2	29,7	62,3	80,3	85,5
	36,7	36,9	43,5	60,1	29,6	62,2	80	85,4
	36,8	37,1	43,7	61,1	29,6	62,2	80,4	85,3
	36,8	37,2	44	60,7	29,6	62,3	79,9	85,3
	36,9	37,1	44,1	60	29,6	62,6	79,8	85,2
	36,7	37,2			29,6	62,3	79,8	84,6
	36,9	37,2			29,6	62,5		84,7
	36,9	37			29,6			84,7
	36,7	36,8			29,6			84,5

Ensaio Acústico simulado uma Fachada Ventilada – Melhor Condição Experimental – F50T1140	36,6				29,7			84,6	
	36,7				29,5			84,6	
	36,6				29,5			84,5	
	36,7				29,6			84,6	
	36,5				29,7			84,6	
	36,7				29,6			84,6	
	Média	36,68	36,99	43,82	60,48	29,63	62,20	80,12	84,96
	D.P.	0,15	0,25	0,45	0,37	0,07	0,24	0,27	0,40
	35,8	35,1	40,9	57,9	29,9	62	79,9	84,9	
	35,6	35	41,7	57,8	29,8	62,1	80,1	85	
	35,5	35,5	41,2	57,9	29,9	62,3	80,2	85,1	
	35,8	35,5	40,6	57,8	29,8	62,3	80	85,2	
	35,5	35,2	40,7	58,3	29,9	62	80,1	84,9	
	35,8	36	40,6	57,9	29,9	62,4	79,8	84,9	
	35,8	36			29,7		79,9	84,8	
	35,5	36			29,8			85	
	35,7	36,2			29,8			85,1	
	35,3	35,8			29,8			85,1	
	35,3	36,2			29,8			85	
	35,7	35,8			29,8				
	35,7	36,1							
		35,9							
		36							
		35,8							
		35,8							
		36							
		35,8							
	Média	35,62	35,77	40,95	57,93	29,83	62,18	80,00	85,00
	D.P.	0,18	0,36	0,43	0,19	0,06	0,17	0,14	0,12

Nota: Todos os níveis de pressão sonora estão expressos em dB(A).

Fonte: Do Autor (2026).

Tabela H.3 – Medições de nível de pressão sonora (dB) obtidas com os decibelímetros para o Som Ambiente de Bateria.

Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente de Bateria									
Categoria do Ruído: Interno									
Tipo de Ensaio	Decibelímetro Fluke 495 (posicionado frontalmente a cabine)				Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posicionado dentro da Caixa 02)				
	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100	RF	Volume 30	Volume 50	Volume 100	
Ensaio Acústico simulado uma Fachada Tradicional	36,8	38,3	45,8	57,2	29,9	59,2	75,6	83,5	
	36,8	38,4	45,4	57,5	29,7	59,9	74,5	84	
	36,7	38,8	46,6	58,3	29,8	58,6	75,6	84	
	36,7	38,4	45,6	58,3	29,8	58,3	75,1	83,9	
	36,8	38,2	45,8	57,2	29,9	58,5	75,8	84	
	36,9	38	45	57,9	29,9	58,5	74,6	83,9	
	37,1	38,2	45,8	58,2	29,9	59	74,9	83	
	37,2	38,1	45,1	58,1	29,9	59,5	74,4	84,1	
	37	37,7	46,1	57,3	29,9			83,8	
	37,3	38		57,4	29,9			83,5	
	37	38,1			29,8			84,2	
	36,8	37,6			29,7			83,5	
	36,6	37,4			29,7				
	36,7	37,2			29,7				
	36,9	37,4			29,8				
	36,7	37,5			29,9				
	37,2	37,6			29,8				
		38,2			29,8				
					29,7				
	Média	36,89	37,95	45,69	57,74	29,82	58,94	75,06	83,79
	D.P.	0,21	0,43	0,49	0,46	0,08	0,56	0,55	0,35
Ensaio Acústico simulado uma Fachada Ventilada – REFT1140	37,3	37,4	43,4	56,8	29,9	58,9	75,2	83,9	
	37,4	37,9	42,2	56,4	29,9	58,7	75,4	83,8	
	37,2	37,3	42,3	55,6	29,9	58,6	75,6	83,5	
	37,4	37,8	42	56,6	29,7	58,7	75,4	83,5	
	37,4	37,9	43	55,9	29,7	58,5	75,3	83,7	
	37,2	37,8	43,1	55,6	29,9	58,7	75,6	83,9	
	37,4	37,5	42,3	55,6	29,9	58,6	75,5	83,7	
	37,2	37,7	43	55,5	29,8		75,4	83,5	
	37	37,6	42,8	56	29,7		75,5	83,4	
	37	37,6		56,7	29,7			83,4	
	37	37,4		56,9	29,6				
	37,1			56,8	29,6				
	37				29,7				

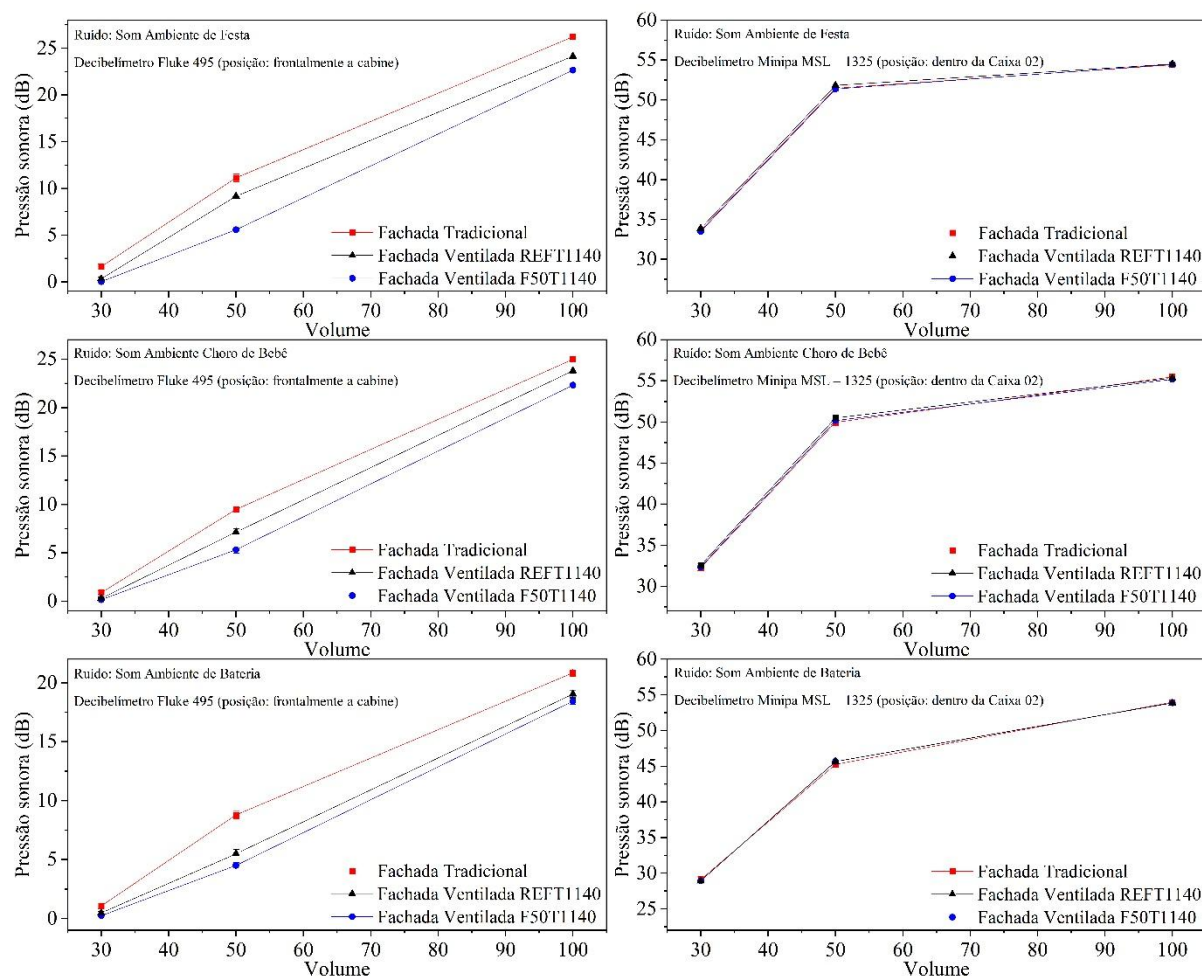
Ensaio Acústico simulado uma Fachada Ventilada – Melhor Condição Experimental – F50T1140	37					29,7			
	37,3					29,8			
	37,2					29,8			
	37,1					29,8			
	36,9					29,8			
	Média	37,17	37,63	42,68	56,20	29,77	58,67	75,43	83,63
	D.P.	0,17	0,21	0,49	0,55	0,10	0,13	0,13	0,19
	35,7	35,2	40	53,9		29,9	58,9	75,3	84
	35,5	35,9	40,2	54,4		29,8	58,8	75,4	83,9
	35,4	35,9	39,8	53,4		29,8	58,7	75,5	83,5
	35,4	35,8	39,8	54,2		29,8	58,7	75,6	83,5
	35,7	35,7	40	53,7		29,7	58,6	75,4	83,6
	35,6	35,6	39,8	53,8		29,8	58,5	75,5	83,5
	35,4	35,8	39,3	53,6		29,8	58,9		83,6
	35,6	35,7	40,3	54,4		29,8			
	35,6	35,9	40,6			29,8			
	35,7	35,8	40,3			29,8			
	35,4	35,7	39,8			29,8			
	35,2	35,8	39,3			29,8			
	35,1	35,8	40,5			29,8			
		35,7	40,2			29,7			
		35,8				29,8			
		35,7				29,7			
	Média	35,48	35,74	39,99	53,93	29,79	58,73	75,45	83,66
	D.P.	0,19	0,17	0,39	0,37	0,05	0,15	0,10	0,21

Nota: Todos os níveis de pressão sonora estão expressos em dB(A).

Fonte: Do Autor (2026).

**APÊNDICE I – CONJUNTO DE GRÁFICOS DA DIFERENÇA DA RELAÇÃO
SINAL-RUÍDO (DB) CONSIDERANDO OS NÍVEIS DE VOLUME SONORO (30, 50 E
100 DB) PARA AS DIFERENTES CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS, NA
CATEGORIA DE RUÍDO INTERNO.**

Figura I. 1 – Diferença da relação sinal-ruído (dB) para cada condição experimental analisada para a categoria do ruído interno versus níveis de volume 30, 50 e 100 (dB).



Fonte: Do Autor (2026).

APÊNDICE J – PLANILHAS DE CÁLCULO ESTATÍSTICO DO ENSAIO COM APARATO ACÚSTICO PARA A CATEGORIA RUÍDO EXTERNO

Tabela J.1 – Planilha de cálculos estatísticos do ensaio acústico para ruído externo com tipo de som reproduzido: Som Ambiente de Construção.

Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente de Construção																			
Categoria do Ruído: Externo																			
Tipo de Ensaio	Decibelímetro Fluke 495 (posicionado frontalmente a cabine)										Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posicionado dentro da Caixa 02)								
	Volume	$\bar{L}_V$	S_V	n_V	ΔSNR	$SE(\Delta SNR)$	df	t	ME	IC _{95 %}	$\bar{L}_V$	S_V	n_V	ΔSNR	$SE(\Delta SNR)$	df	t	ME	IC _{95 %}
Fachada Tradicional	RF	37,29	0,09	10	-	-	-	-	-	-	29,75	0,10	13	-	-	-	-	-	-
	30	66,62	0,41	5	29,33	0,185	13	2,16	0,40	29,33 ± 0,40	30,33	0,34	10	0,58	0,11	21	2,08	0,23	0,58 ± 0,23
	50	84,78	0,36	8	47,49	0,131	16	2,12	0,28	47,49 ± 0,28	37,90	0,45	11	8,15	0,137	22	2,074	0,29	8,15 ± 0,29
	100	104,33	0,37	7	67,04	0,144	15	2,131	0,31	66,97 ± 0,31	58,84	0,59	8	29,09	0,21	19	2,093	0,44	29,09 ± 0,44
Fachada Ventilada – REFT1140	RF	36,81	0,23	16	-	-	-	-	-	-	29,36	0,08	19	-	-	-	-	-	-
	30	66,35	0,32	8	29,54	0,125	22	2,074	0,26	29,54 ± 0,26	29,83	0,08	10	0,47	0,031	27	2,052	0,06	0,47 ± 0,06
	50	84,34	0,27	11	47,53	0,098	25	2,06	0,20	47,53 ± 0,20	36,31	0,41	13	6,95	0,114	30	2,042	0,23	6,95 ± 0,23
	100	104,30	0,20	7	67,49	0,094	21	2,08	0,20	67,49 ± 0,20	54,27	0,56	9	24,91	0,186	26	2,056	0,38	24,91 ± 0,38
Fachada Ventilada – F50T1140	RF	36,38	0,15	11	-	-	-	-	-	-	29,88	0,13	14	-	-	-	-	-	-
	30	66,30	0,15	7	29,92	0,073	16	2,12	0,15	29,92 ± 0,15	30,26	0,24	9	0,38	0,087	21	2,08	0,18	0,38 ± 0,18
	50	84,24	0,17	9	47,86	0,073	18	2,101	0,15	47,86 ± 0,15	36,05	0,18	6	6,17	0,08	18	2,101	0,17	6,17 ± 0,17
	100	104,14	0,13	7	67,76	0,065	16	2,12	0,14	67,76 ± 0,14	53,28	0,26	6	23,40	0,11	18	2,101	0,23	23,40 ± 0,23

Nota: Todos os níveis de pressão sonora estão expressos em dB(A).

Fonte: Do Autor (2026).

Tabela J.2 – Planilha de cálculos estatísticos do ensaio acústico para ruído externo com tipo de som reproduzido: Som Ambiente Barulho de Trânsito Urbano.

Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente Barulho de Trânsito Urbano																			
Categoria do Ruído: Externo																			
Tipo de Ensaio	Decibelímetro Fluke 495 (posicionado frontalmente a cabine)										Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posicionado dentro da Caixa 02)								
	Volume	$\bar{L}_V$	S_V	n_V	ΔSNR	$SE(\Delta SNR)$	df	t	ME	IC _{95 %}	$\bar{L}_V$	S_V	n_V	ΔSNR	$SE(\Delta SNR)$	df	t	ME	IC _{95 %}
Fachada Tradicional	RF	37,27	0,06	11	-	-	-	-	-	-	29,76	0,06	14	-	-	-	-	-	-
	30	68,74	0,53	8	31,46	0,187	17	2,11	0,39	31,46 ± 0,39	31,46	0,42	8	1,71	0,149	20	2,086	0,31	1,71 ± 0,31
	50	87,65	0,54	8	50,38	0,192	17	2,11	0,40	50,38 ± 0,40	43,69	0,44	8	13,93	0,157	20	2,086	0,33	13,93 ± 0,33
	100	103,90	0,42	11	66,63	0,129	20	2,086	0,27	66,63 ± 0,27	58,02	0,38	9	28,27	0,128	21	2,08	0,27	28,27 ± 0,27
Fachada Ventilada – REFT1140	RF	37,06	0,13	13	-	-	-	-	-	-	29,51	0,07	19	-	-	-	-	-	-
	30	68,24	0,26	7	31,18	0,103	18	2,101	0,22	31,18 ± 0,22	30,53	0,28	16	1,03	0,071	33	2,035	0,14	1,03 ± 0,14
	50	87,31	0,15	8	50,25	0,062	19	2,093	0,13	50,25 ± 0,13	41,40	0,53	10	11,89	0,169	27	2,052	0,35	11,89 ± 0,35
	100	103,41	0,32	7	66,35	0,125	18	2,101	0,26	66,35 ± 0,26	56,20	0,52	7	26,69	0,196	24	2,064	0,40	26,69 ± 0,40
Fachada Ventilada – F50T1140	RF	37,25	0,14	11	-	-	-	-	-	-	29,92	0,17	11	-	-	-	-	-	-
	30	68,38	0,23	9	31,12	0,087	18	2,101	0,18	31,12 ± 0,18	30,47	0,12	6	0,55	0,07	15	2,131	0,15	0,55 ± 0,15
	50	87,67	0,16	7	50,42	0,075	16	2,12	0,16	50,42 ± 0,16	40,60	0,24	6	10,68	0,109	15	2,131	0,23	10,68 ± 0,23
	100	103,27	0,34	9	66,01	0,121	18	2,101	0,25	66,01 ± 0,25	54,84	0,48	7	24,92	0,187	16	2,12	0,40	24,92 ± 0,40

Nota: Todos os níveis de pressão sonora estão expressos em dB(A).

Fonte: Do Autor (2026).

Tabela J.3 – Planilha de cálculos estatísticos do ensaio acústico para ruído externo com tipo de som reproduzido: Som Ambiente de Bar.

Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente de Bar																			
Categoria do Ruído: Externo																			
Tipo de Ensaio	Decibelímetro Fluke 495 (posicionado frontalmente a cabine)										Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posicionado dentro da Caixa 02)								
	Volume	$\bar{L}_V$	S_V	n_V	ΔSNR	$SE(\Delta SNR)$	df	t	ME	IC _{95 %}	$\bar{L}_V$	S_V	n_V	ΔSNR	$SE(\Delta SNR)$	df	t	ME	IC _{95 %}
Fachada Tradicional	RF	37,35	0,16	11	-	-	-	-	-	-	30,08	0,19	16	-	-	-	-	-	-
	30	69,79	0,11	8	32,43	0,063	17	2,11	0,13	32,43 ± 0,13	32,78	0,43	9	2,70	0,151	23	2,069	0,31	2,70 ± 0,31
	50	92,51	0,42	8	55,16	0,157	17	2,11	0,33	55,16 ± 0,33	42,70	0,37	10	12,63	0,127	24	2,064	0,26	12,63 ± 0,26
	100	107,03	0,44	11	69,67	0,142	20	2,086	0,30	69,67 ± 0,30	58,58	0,54	8	28,50	0,196	22	2,074	0,41	28,50 ± 0,41
Fachada Ventilada – REFT1140	RF	37,39	0,15	15	-	-	-	-	-	-	29,28	0,04	18	-	-	-	-	-	-
	30	69,44	0,52	7	32,05	0,20	20	2,086	0,42	32,05 ± 0,42	30,23	0,27	18	0,95	0,064	34	2,032	0,13	0,95 ± 0,13
	50	92,45	0,25	8	55,06	0,097	21	2,08	0,20	55,06 ± 0,20	40,67	0,34	7	11,39	0,127	23	2,069	0,26	11,39 ± 0,26
	100	107,03	0,17	9	69,64	0,067	22	2,074	0,14	69,64 ± 0,14	56,56	0,37	7	27,27	0,141	23	2,069	0,29	27,27 ± 0,29
Fachada Ventilada – F50T1140	RF	37,33	0,18	12	-	-	-	-	-	-	29,92	0,15	13	-	-	-	-	-	-
	30	69,43	0,20	9	32,10	0,084	19	2,093	0,18	32,10 ± 0,18	30,50	0,24	7	0,58	0,102	18	2,101	0,21	0,58 ± 0,21
	50	92,65	0,12	8	55,32	0,066	18	2,101	0,14	55,32 ± 0,14	40,70	0,21	6	10,78	0,095	17	2,11	0,20	10,78 ± 0,20
	100	107,26	0,25	9	69,92	0,097	19	2,093	0,20	69,92 ± 0,20	56,45	0,39	6	26,53	0,164	17	2,11	0,35	26,53 ± 0,35

Nota: Todos os níveis de pressão sonora estão expressos em dB(A).

Fonte: Do Autor (2026).

Tabela J.4 – Planilha de cálculos estatísticos do ensaio acústico para ruído externo com tipo de som reproduzido: Som Ambiente de Feira.

Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente de Feira																			
Categoria do Ruído: Externo																			
Tipo de Ensaio	Decibelímetro Fluke 495 (posicionado frontalmente a cabine)										Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posicionado dentro da Caixa 02)								
	Volume	$\bar{L}_V$	S_V	n_V	ΔSNR	$SE(\Delta SNR)$	df	t	ME	IC _{95 %}	$\bar{L}_V$	S_V	n_V	ΔSNR	$SE(\Delta SNR)$	df	t	ME	IC _{95 %}
Fachada Tradicional	RF	37,91	0,12	12	-	-	-	-	-	-	29,64	0,09	14	-	-	-	-	-	-
	30	72,84	0,37	9	34,94	0,129	19	2,093	0,27	34,94 ± 0,27	30,78	0,41	12	1,13	0,120	24	2,064	0,25	1,13 ± 0,25
	50	92,04	0,52	9	54,14	0,176	19	2,093	0,37	54,14 ± 0,37	43,95	0,32	8	14,31	0,116	20	2,086	0,24	14,31 ± 0,24
	100	105,56	0,36	8	67,65	0,132	18	2,101	0,28	67,65 ± 0,28	57,99	0,37	9	28,35	0,124	21	2,08	0,26	28,35 ± 0,26
Fachada Ventilada – REFT1140	RF	37,18	0,13	19	-	-	-	-	-	-	29,31	0,04	18	-	-	-	-	-	-
	30	72,58	0,30	10	35,40	0,10	27	2,052	0,20	35,40 ± 0,20	29,93	0,25	16	0,63	0,064	32	2,037	0,13	0,63 ± 0,13
	50	92,23	0,24	8	55,04	0,089	25	2,06	0,18	55,04 ± 0,18	41,17	0,46	9	11,86	0,155	25	2,06	0,32	11,86 ± 0,32
	100	105,13	0,49	7	67,94	0,186	24	2,064	0,38	67,94 ± 0,38	56,09	0,32	7	26,78	0,123	23	2,069	0,25	26,78 ± 0,25
Fachada Ventilada – F50T1140	RF	37,38	0,40	11	-	-	-	-	-	-	30,04	0,16	8	-	-	-	-	-	-
	30	72,65	0,18	8	35,27	0,135	17	2,11	0,29	35,27 ± 0,29	30,55	0,27	6	0,51	0,123	12	2,179	0,27	0,51 ± 0,27
	50	92,10	0,24	8	54,72	0,148	17	2,11	0,31	54,72 ± 0,31	39,95	0,46	6	9,91	0,198	12	2,179	0,43	9,91 ± 0,43
	100	105,33	0,37	7	67,95	0,185	16	2,12	0,39	67,95 ± 0,39	55,82	0,21	6	25,78	0,104	12	2,179	0,23	25,78 ± 0,23

Nota: Todos os níveis de pressão sonora estão expressos em dB(A).

Fonte: Do Autor (2026).

Tabela J.5 – Planilha de cálculos estatísticos do ensaio acústico para ruído externo com tipo de som reproduzido: Som Ambiente de Crianças Brincando.

Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente de Crianças Brincando																			
Categoria do Ruído: Externo																			
Tipo de Ensaio	Decibelímetro Fluke 495 (posicionado frontalmente a cabine)										Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posicionado dentro da Caixa 02)								
	Volume	$\bar{L}_V$	S_V	n_V	ΔSNR	$SE(\Delta SNR)$	df	t	ME	IC _{95 %}	$\bar{L}_V$	S_V	n_V	ΔSNR	$SE(\Delta SNR)$	df	t	ME	IC _{95 %}
Fachada Tradicional	RF	37,82	0,21	15	-	-	-	-	-	-	29,74	0,07	8	-	-	-	-	-	-
	30	61,06	0,45	8	23,24	0,169	21	2,08	0,35	23,24 ± 0,35	29,78	0,40	16	0,04	0,103	22	2,074	0,21	0,04 ± 0,21
	50	79,74	0,39	8	41,92	0,146	21	2,08	0,30	41,92 ± 0,30	31,63	0,46	10	1,89	0,149	16	2,12	0,32	1,89 ± 0,32
	100	100,11	0,58	8	62,29	0,213	21	2,08	0,44	62,29 ± 0,44	45,92	0,45	9	16,18	0,152	15	2,131	0,32	16,18 ± 0,32
Fachada Ventilada – REFT1140	RF	37,68	0,15	18	-	-	-	-	-	-	29,46	0,14	17	-	-	-	-	-	-
	30	61,37	0,29	9	23,69	0,102	25	2,06	0,21	23,69 ± 0,21	29,49	0,18	19	0,03	0,053	34	2,032	0,11	0,03 ± 0,11
	50	79,21	0,21	8	41,53	0,082	24	2,064	0,17	41,53 ± 0,17	30,81	0,27	19	1,35	0,07	34	2,032	0,14	1,35 ± 0,14
	100	100,43	0,16	7	62,75	0,07	23	2,069	0,14	62,75 ± 0,14	44,87	0,38	7	15,41	0,148	22	2,074	0,31	15,41 ± 0,31
Fachada Ventilada – F50T1140	RF	37,41	0,33	18	-	-	-	-	-	-	29,89	0,16	12	-	-	-	-	-	-
	30	60,94	0,18	8	23,53	0,102	24	2,064	0,21	23,53 ± 0,21	29,91	0,04	7	0,02	0,049	17	2,11	0,10	0,02 ± 0,10
	50	79,56	0,08	7	42,15	0,083	23	2,069	0,17	42,15 ± 0,17	30,81	0,16	8	0,92	0,075	18	2,101	0,16	0,92 ± 0,16
	100	100,16	0,30	7	62,75	0,137	23	2,069	0,28	62,75 ± 0,28	44,65	0,35	6	14,76	0,151	16	2,12	0,32	14,76 ± 0,32

Nota: Todos os níveis de pressão sonora estão expressos em dB(A).

Fonte: Do Autor (2026).

Tabela J.6 – Resultados da ANOVA bifatorial (p-valores) para os fatores tipo de fachada e volume sonoro nos ensaios com ruídos externos ($\alpha = 0,05$).

Tipo de Ruído Sonoro Reproduzido	Variável Fachada	Variável Volume
	<i>p</i> -valor	<i>p</i> -valor
	Minipa MSL-1325	Minipa MSL-1325
Som Ambiente de Construção	$6,8966 \times 10^{-12}$	$5,06935 \times 10^{-78}$
Som ambiente Barulho de Trânsito Urbano	$9,46412 \times 10^{-24}$	$3,06936 \times 10^{-92}$
Som ambiente de Bar	$4,20985 \times 10^{-29}$	$4,39331 \times 10^{-107}$
Som Ambiente de Feira	$8,50630 \times 10^{-18}$	$2,47102 \times 10^{-88}$
Som Ambiente de Crianças Brincando	$1,40438 \times 10^{-8}$	$2,51410 \times 10^{-95}$

Fonte: Do Autor (2026).

APÊNDICE L – PLANILHAS DE CÁLCULO ESTATÍSTICO DO ENSAIO COM APARATO ACÚSTICO PARA A CATEGORIA RUÍDO INTERNO

Tabela L.1 – Planilha de cálculos estatísticos do ensaio acústico para ruído interno com tipo de som reproduzido: Som Ambiente de Festa.

Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente de Festa																			
Categoria do Ruído: Interno																			
Tipo de Ensaio	Decibelímetro Fluke 495 (posicionado frontalmente a cabine)										Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posicionado dentro da Caixa 02)								
	Volume	$\bar{L}_V$	S_V	n_V	ΔSNR	$SE(\Delta SNR)$	df	t	ME	IC _{95 %}	$\bar{L}_V$	S_V	n_V	ΔSNR	$SE(\Delta SNR)$	df	t	ME	IC _{95 %}
Fachada Tradicional	RF	36,89	0,18	14	-	-	-	-	-	-	30,27	0,12	19	-	-	-	-	-	-
	30	38,52	0,47	12	1,63	0,145	24	2,064	0,30	$1,63 \pm 0,30$	63,91	0,45	16	33,64	0,117	33	2,035	0,24	$33,64 \pm 0,24$
	50	48,03	0,55	8	11,14	0,202	20	2,086	0,42	$11,14 \pm 0,42$	81,73	0,48	12	51,45	0,141	29	2,045	0,29	$51,45 \pm 0,29$
	100	63,11	0,39	12	26,22	0,123	24	2,064	0,25	$26,22 \pm 0,25$	84,68	0,08	16	54,40	0,034	33	2,035	0,07	$54,40 \pm 0,07$
Fachada Ventilada – REFT1140	RF	36,95	0,16	19	-	-	-	-	-	-	29,68	0,07	19	-	-	-	-	-	-
	30	37,28	0,35	19	0,34	0,089	36	2,028	0,18	$0,34 \pm 0,18$	63,55	0,20	11	33,87	0,061	28	2,048	0,13	$33,87 \pm 0,13$
	50	46,12	0,45	12	9,17	0,134	29	2,045	0,27	$9,17 \pm 0,27$	81,53	0,13	8	51,84	0,048	25	2,06	0,10	$51,84 \pm 0,10$
	100	61,09	0,43	12	24,14	0,129	29	2,045	0,26	$24,14 \pm 0,26$	84,18	0,14	13	54,49	0,041	30	2,042	0,08	$54,49 \pm 0,08$
Fachada Ventilada – F50T1140	RF	35,80	0,11	14	-	-	-	-	-	-	30,23	0,25	9	-	-	-	-	-	-
	30	35,81	0,43	19	0,01	0,102	31	2,04	0,21	$0,01 \pm 0,21$	63,74	0,10	7	33,51	0,091	14	2,145	0,20	$33,51 \pm 0,20$
	50	41,38	0,36	19	5,58	0,089	31	2,04	0,18	$5,58 \pm 0,18$	81,59	0,14	11	51,36	0,093	18	2,101	0,20	$51,36 \pm 0,20$
	100	58,46	0,24	7	22,66	0,094	19	2,093	0,20	$22,66 \pm 0,20$	84,68	0,12	10	54,45	0,092	17	2,11	0,19	$54,45 \pm 0,19$

Nota: Todos os níveis de pressão sonora estão expressos em dB(A).

Fonte: Do Autor (2026).

Tabela L.2 – Planilha de cálculos estatísticos do ensaio acústico para ruído interno com tipo de som reproduzido: Som Ambiente Choro de Bebê.

Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente Choro de Bebê																			
Categoria do Ruído: Interno																			
Tipo de Ensaio	Decibelímetro Fluke 495 (posicionado frontalmente a cabine)										Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posicionado dentro da Caixa 02)								
	Volume	$\bar{L}_V$	S_V	n_V	ΔSNR	$SE(\Delta SNR)$	df	t	ME	IC _{95 %}	$\bar{L}_V$	S_V	n_V	ΔSNR	$SE(\Delta SNR)$	df	t	ME	IC _{95 %}
Fachada Tradicional	RF	36,71	0,13	18	-	-	-	-	-	-	30,11	0,09	19	-	-	-	-	-	-
	30	37,61	0,27	10	0,90	0,091	26	2,056	0,19	0,90 ± 0,19	62,37	0,52	9	32,26	0,175	26	2,056	0,36	32,26 ± 0,36
	50	46,19	0,37	9	9,48	0,128	25	2,06	0,26	9,48 ± 0,26	80,08	0,52	8	49,96	0,186	25	2,06	0,38	49,96 ± 0,38
	100	61,69	0,40	13	24,99	0,115	29	2,045	0,24	24,99 ± 0,24	85,59	0,11	8	55,48	0,045	25	2,06	0,09	55,48 ± 0,09
Fachada Ventilada – REFT1140	RF	36,68	0,15	19	-	-	-	-	-	-	29,63	0,07	19	-	-	-	-	-	-
	30	36,99	0,25	13	0,31	0,079	30	2,042	0,16	0,31 ± 0,16	62,20	0,24	11	32,57	0,075	28	2,048	0,15	32,57 ± 0,15
	50	43,82	0,45	9	7,14	0,155	26	2,056	0,32	7,14 ± 0,32	80,12	0,27	10	50,49	0,087	27	2,052	0,18	50,49 ± 0,18
	100	60,48	0,37	9	23,79	0,127	26	2,056	0,26	23,79 ± 0,26	84,96	0,40	19	55,33	0,092	36	2,028	0,19	55,33 ± 0,19
Fachada Ventilada – F50T1140	RF	35,62	0,18	13	-	-	-	-	-	-	29,83	0,06	12	-	-	-	-	-	-
	30	35,77	0,36	19	0,16	0,096	30	2,042	0,20	0,16 ± 0,20	62,18	0,17	6	32,36	0,073	16	2,12	0,15	32,36 ± 0,15
	50	40,95	0,43	6	5,33	0,184	17	2,11	0,39	5,33 ± 0,39	80,00	0,14	7	50,18	0,056	17	2,11	0,12	50,18 ± 0,12
	100	57,93	0,19	6	22,32	0,091	17	2,11	0,19	22,32 ± 0,19	85,00	0,12	11	55,18	0,04	21	2,08	0,08	55,18 ± 0,08

Nota: Todos os níveis de pressão sonora estão expressos em dB(A).

Fonte: Do Autor (2026).

Tabela L.3 – Planilha de cálculos estatísticos do ensaio acústico para ruído interno com tipo de som reproduzido: Som Ambiente de Bateria.

Tipo do Ruído Reproduzido: Som Ambiente de Bateria																			
Categoria do Ruído: Interno																			
Tipo de Ensaio	Decibelímetro Fluke 495 (posicionado frontalmente a cabine)										Decibelímetro Minipa MSL – 1325 (posicionado dentro da Caixa 02)								
	Volume	$\bar{L}_V$	S_V	n_V	ΔSNR	$SE(\Delta SNR)$	df	t	ME	IC _{95 %}	$\bar{L}_V$	S_V	n_V	ΔSNR	$SE(\Delta SNR)$	df	t	ME	IC _{95 %}
Fachada Tradicional	RF	36,89	0,21	17	-	-	-	-	-	-	29,82	0,08	19	-	-	-	-	-	-
	30	37,95	0,43	18	1,06	0,113	33	2,035	0,23	1,06 ± 0,23	58,94	0,56	8	29,12	0,20	25	2,06	0,41	29,12 ± 0,41
	50	45,69	0,49	9	8,79	0,172	24	2,064	0,36	8,79 ± 0,36	75,06	0,55	8	45,25	0,195	25	2,06	0,40	45,25 ± 0,40
	100	57,74	0,46	10	20,85	0,155	25	2,06	0,32	20,85 ± 0,32	83,79	0,35	12	53,97	0,101	29	2,045	0,21	53,97 ± 0,21
Fachada Ventilada – REFT1140	RF	37,17	0,17	18	-	-	-	-	-	-	29,77	0,10	18	-	-	-	-	-	-
	30	37,63	0,21	11	0,46	0,075	27	2,052	0,15	0,46 ± 0,15	58,67	0,13	7	28,90	0,053	23	2,069	0,11	28,90 ± 0,11
	50	42,68	0,49	9	5,51	0,167	25	2,06	0,34	5,51 ± 0,34	75,43	0,13	9	45,66	0,05	25	2,06	0,10	45,66 ± 0,10
	100	56,20	0,55	12	19,03	0,164	28	2,048	0,34	19,03 ± 0,34	83,63	0,19	10	53,86	0,066	26	2,056	0,14	53,86 ± 0,14
Fachada Ventilada – F50T1140	RF	35,48	0,19	13	-	-	-	-	-	-	29,79	0,05	16	-	-	-	-	-	-
	30	35,74	0,17	16	0,25	0,067	27	2,052	0,14	0,25 ± 0,14	58,73	0,15	7	28,94	0,058	21	2,08	0,12	28,94 ± 0,12
	50	39,99	0,39	14	4,51	0,118	25	2,06	0,24	4,51 ± 0,24	75,45	0,10	6	45,66	0,045	20	2,086	0,09	45,66 ± 0,09
	100	53,93	0,37	8	18,44	0,142	19	2,093	0,30	18,44 ± 0,30	83,66	0,21	7	53,87	0,079	21	2,08	0,16	53,87 ± 0,16

Nota: Todos os níveis de pressão sonora estão expressos em dB(A).

Fonte: Do Autor (2026).

Tabela L.4 – Resultados da ANOVA bifatorial (p-valores) para os fatores tipo de fachada e volume sonoro nos ensaios com ruídos internos ($\alpha = 0,05$).

Tipo de Ruído Sonoro Reproduzido	Variável Fachada	Variável Volume
	Fluke 495	Fluke 495
	p-valor	p-valor
Som ambiente de Festa	$1,41425 \times 10^{-30}$	$1,04810 \times 10^{-113}$
Som ambiente Choro de Bebê	$4,36507 \times 10^{-23}$	$2,53634 \times 10^{-93}$
Som ambiente de Bateria	$4,11945 \times 10^{-19}$	$4,79790 \times 10^{-94}$

Fonte: Do Autor (2026).

ANEXO M – TABELA DA DISTRIBUIÇÃO T DE STUDENT

Tabela M.1 – Tabela da distribuição t de Student.

g.l.(v)	α											
	0.4	0.25	0.1	0.05	0.04	0.025	0.02	0.01	0.005	0.0025	0.001	0.0005
1	0.325	1.000	3.078	6.314	7.916	12.706	15.894	31.821	63.656	127.321	318.289	636.578
2	0.289	0.816	1.886	2.920	3.320	4.303	4.849	6.965	9.925	14.089	22.328	31.600
3	0.277	0.765	1.638	2.353	2.605	3.182	3.482	4.541	5.841	7.453	10.214	12.924
4	0.271	0.741	1.533	2.132	2.333	2.776	2.999	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	0.267	0.727	1.476	2.015	2.191	2.571	2.757	3.365	4.032	4.773	5.894	6.869
6	0.265	0.718	1.440	1.943	2.104	2.447	2.612	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	0.263	0.711	1.415	1.895	2.046	2.365	2.517	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	0.262	0.706	1.397	1.860	2.004	2.306	2.449	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	0.261	0.703	1.383	1.833	1.973	2.262	2.398	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	0.26	0.7	1.372	1.812	1.948	2.228	2.359	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	0.26	0.697	1.363	1.796	1.928	2.201	2.328	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	0.259	0.695	1.356	1.782	1.912	2.179	2.303	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	0.259	0.694	1.350	1.771	1.899	2.160	2.282	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	0.258	0.692	1.345	1.761	1.887	2.145	2.264	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	0.258	0.691	1.341	1.753	1.878	2.131	2.249	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	0.258	0.69	1.337	1.746	1.869	2.120	2.235	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	0.257	0.689	1.333	1.740	1.862	2.110	2.224	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	0.257	0.688	1.330	1.734	1.855	2.101	2.214	2.552	2.878	3.197	3.610	3.922
19	0.257	0.688	1.328	1.729	1.850	2.093	2.205	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	0.257	0.687	1.325	1.725	1.844	2.086	2.197	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	0.257	0.686	1.323	1.721	1.840	2.080	2.189	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	0.256	0.686	1.321	1.717	1.835	2.074	2.183	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	0.256	0.685	1.319	1.714	1.832	2.069	2.177	2.500	2.807	3.104	3.485	3.768
24	0.256	0.685	1.318	1.711	1.828	2.064	2.172	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	0.256	0.684	1.316	1.708	1.825	2.060	2.167	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	0.256	0.684	1.315	1.706	1.822	2.056	2.162	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707
27	0.256	0.684	1.314	1.703	1.819	2.052	2.158	2.473	2.771	3.057	3.421	3.689
28	0.256	0.683	1.313	1.701	1.817	2.048	2.154	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	0.256	0.683	1.311	1.699	1.814	2.045	2.150	2.462	2.756	3.038	3.396	3.660
30	0.256	0.683	1.310	1.697	1.812	2.042	2.147	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
31	0.256	0.682	1.309	1.696	1.810	2.040	2.144	2.453	2.744	3.022	3.375	3.633
32	0.255	0.682	1.309	1.694	1.808	2.037	2.141	2.449	2.738	3.015	3.365	3.622
33	0.255	0.682	1.308	1.692	1.806	2.035	2.138	2.445	2.733	3.008	3.356	3.611
34	0.255	0.682	1.307	1.691	1.805	2.032	2.136	2.441	2.728	3.002	3.348	3.601
35	0.255	0.682	1.306	1.690	1.803	2.030	2.133	2.438	2.724	2.996	3.340	3.591
36	0.255	0.681	1.306	1.688	1.802	2.028	2.131	2.434	2.719	2.990	3.333	3.582

37	0.255	0.681	1.305	1.687	1.800	2.026	2.129	2.431	2.715	2.985	3.326	3.574
38	0.255	0.681	1.304	1.686	1.799	2.024	2.127	2.429	2.712	2.980	3.319	3.566
39	0.255	0.681	1.304	1.685	1.798	2.023	2.125	2.426	2.708	2.976	3.313	3.558
40	0.255	0.681	1.303	1.684	1.796	2.021	2.123	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
60	0.254	0.679	1.296	1.671	1.781	2.000	2.099	2.390	2.660	2.915	3.232	3.460
80	0.254	0.678	1.292	1.664	1.773	1.990	2.088	2.374	2.639	2.887	3.195	3.416
100	0.254	0.677	1.290	1.660	1.769	1.984	2.081	2.364	2.626	2.871	3.174	3.390
120	0.254	0.677	1.289	1.658	1.766	1.980	2.076	2.358	2.617	2.860	3.160	3.373
140	0.254	0.676	1.288	1.656	1.763	1.977	2.073	2.353	2.611	2.852	3.149	3.361
160	0.254	0.676	1.287	1.654	1.762	1.975	2.071	2.350	2.607	2.847	3.142	3.352
180	0.254	0.676	1.286	1.653	1.761	1.973	2.069	2.347	2.603	2.842	3.136	3.345
200	0.254	0.676	1.286	1.653	1.760	1.972	2.067	2.345	2.601	2.838	3.131	3.340
250	0.254	0.675	1.285	1.651	1.758	1.969	2.065	2.341	2.596	2.832	3.123	3.330
inf	0.253	0.674	1.282	1.645	1.751	1.960	2.054	2.326	2.576	2.807	3.090	3.290

Fonte: Adaptado de UFRN (2026).