

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - Campus de Guaratinguetá

NATHALY PROENÇA LOPES

**DESEMPENHO FÍSICO-MECÂNICO E ACÚSTICO DE PAINÉIS COMPÓSITOS DE
LÃ DE MADEIRA E CIMENTO**

Guaratinguetá
2025



NATHALY PROENÇA LOPES

**DESEMPENHO FÍSICO-MECÂNICO E ACÚSTICO DE PAINÉIS COMPÓSITOS DE
LÃ DE MADEIRA E CIMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, para obtenção do título de Mestra em Engenharia.

Área de Concentração: Materiais

Orientadora: Prof. Dra. Cristiane Inácio de Campos

Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza

Guaratinguetá

2025

L864d	Lopes, Nathaly Proença Desempenho físico-mecânico e acústico de painéis compósitos de lâ de madeira e cimento / Nathaly Proença Lopes - Guaratinguetá, 2025. 119 f : il. Bibliografia: f. 99-116 Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2025. Orientadora: Prof^ª. Dr^a Cristiane Inácio de Campos Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza 1. Painéis de madeira. 2. Madeira engenheirada. 3. Isolamento acústico. 4. Construção civil. I. Título. CDU 69(043)
-------	--

Luciana Máximo
Bibliotecária/CRB-8 3595

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A utilização de madeira na produção de painéis para fins acústicos representa uma alternativa sustentável e inovadora para a construção civil. Ao substituir materiais convencionais, como as espumas sintéticas, por produtos à base de madeira, reduz-se a dependência de recursos não renováveis, além disso, os painéis compósitos de madeira apresentam diversas vantagens, como leveza, resistência mecânica à diversas solicitações e propriedades termoacústicas, tornando-os uma opção atraente para diversas aplicações na construção civil.

Sendo assim, a presente pesquisa buscou o desenvolvimento de um produto a partir de matéria-prima renovável que tenha propriedades competitivas com os materiais já existentes no mercado.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The utilization of wood in the production of panels for acoustic purposes represents a sustainable and innovative alternative for civil construction. By replacing conventional materials, such as synthetic foams, with wood-based products, the dependence on non-renewable resources is reduced. Furthermore, composite wood panels offer several advantages, including lightness, mechanical resistance to various stresses, and thermoacoustic properties, making them an attractive option for diverse applications in civil construction.

Therefore, the present research aimed at developing a product from renewable raw material that possesses properties competitive with existing materials on the market.

NATHALY PROENÇA LOPES

Desempenho físico-mecânico e acústico de painéis compósitos de tiras de madeira e cimento.

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, para obtenção do título de Mestra em Engenharia

Data da defesa: 30/07/2025

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **CRISTIANE INACIO DE CAMPOS**
Data: 30/07/2025 17:14:37-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. CRISTIANE INACIO DE CAMPOS
Orientador - UNESP

Documento assinado digitalmente
 **DIEGO HENRIQUE DE ALMEIDA**
Data: 31/07/2025 09:52:17-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof.Dr. DIEGO HENRIQUE DE ALMEIDA
Universidade Federal de Rondônia

Documento assinado digitalmente
 **MARILIA DA SILVA BERTOLINI**
Data: 01/08/2025 08:49:36-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. MARILIA DA SILVA BERTOLINI
UNESP

Dedico este trabalho a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a minha formação e me inspiraram a seguir este caminho.

Dedico também especialmente à minha família, fonte inesgotável de amor e apoio incondicional, que sempre acreditou em meu potencial.

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo incentivo, apoio e auxílio para a continuidade nos estudos;

Aos meus orientadores, a professora Dra. Cristiane Inácio de Campos e professor Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza, pela paciência e compreensão ao longo do curso;

Ao Programa de pós-graduação da UNESP;

Ao Instituto de Ciências e Engenharia – Campus de Itapeva da Universidade pela disponibilidade de uso de laboratórios, instalações e equipamentos;

A todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a realização desse curso;

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. A autora agradece o apoio financeiro concedido para a realização deste estudo.

“A pesquisa é ver o que todo mundo já viu
e pensar o que ninguém nunca pensou.”

Albert Szent-Györgyi

RESUMO

A madeira é um material renovável e sustentável com ótimas propriedades termoacústicas, sendo uma alternativa a produtos não renováveis, como as espumas sintéticas. Nesse cenário, a pesquisa sobre painéis Wood Wool Cement Board (WWCB) tem crescido no Brasil, aproveitando a expertise nacional em painéis de cimento e madeira para desenvolver um produto inovador para o mercado. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de painéis WWCB, fabricados com tiras/lã de *Pinus sp.*, investigando a influência de quatro etapas distintas do processo produtivo em suas propriedades físico-mecânicas e acústicas. Cada etapa consistiu em escolher o melhor processo de prensagem, a espessura das lãs de madeira, o traço e a adição de camada externa cimentícia. Os traços diferenciaram-se na quantidade de água utilizada, adição de cloreto de cálcio (CaCl_2), cimento e madeira. A caracterização físico-mecânica e acústica incluiu a análise da densidade (ASTM D 2395-2022), resistência mecânica à flexão estática (ASTM D1037-2020), resistência ao arrancamento de parafuso (ABNT NBR 14810-2:2013), desempenho acústico (adaptado de ABNT NBR 10152-2017) e análise da microestrutura com o auxílio do microscópio eletrônico de varredura (MEV). O melhor processo de prensagem foi realizado na prensa hidráulica automatizada, a espessura da lã de 0,2 mm resultou em painéis de melhor desempenho físico e acústico do que os painéis de lãs de 0,4 mm, o melhor traço foi o que possuiu em sua composição uma maior proporção de madeira para quantidade de cimento, a adição de uma camada externa cimentícia foi positiva para as caracterizações realizadas. Os dados obtidos revelaram que a densidade dos painéis produzidos variou de 137 kg/m^3 a 371 kg/m^3 sem camada externa e de 346 kg/m^3 a 734 kg/m^3 com. A análise microscópica indicou diferença na interação cimento-madeira entre as amostras de cada processo, a presença de vazios e a não homogeneidade na distribuição do cimento nas lãs. No teste de isolamento acústico os painéis reduziram até 20% de ruído, até 19,9 dB. O teste de flexão estática revelou um módulo de resistência a ruptura (MOR) de 1,72 MPa para o painel de 20 mm, com maior densidade e maior proporção madeira-cimento, o que está dentro do esperado para painéis WWCB, ao comparar com painéis comerciais. O teste de arrancamento de parafuso demonstrou que os painéis produzidos suportam em média 17 kg de fixação. Os painéis de maior densidade, maior quantidade de madeira em sua composição e com camada externa cimentícia

indicaram melhor desempenho acústico e resistência mecânica, onde a melhor amostra foi obtida a partir do Traço I, com camada externa cimentícia. Foi possível observar como os diferentes processos de fabricação influenciaram as propriedades físicas e mecânicas do painel produzido, e como isso pode ser manipulado a fim de otimizar suas características para aplicações em diversos segmentos e aplicações.

Palavras-chave: painel cimento-madeira; WWCB; lã de madeira; isolamento acústico; caracterização físico-mecânica.

ABSTRACT

Wood, a renewable and sustainable material with excellent thermo-acoustic properties, offers a viable alternative to non-renewable products like synthetic foams. Given Brazil's strong expertise in cement-wood panels, there is a growing interest in researching Wood Wool Cement Board (WWCB) as an innovative product for the national market. This study aimed to evaluate the performance of WWCB panels made from Pinus sp. wool, investigating how four distinct stages of the production process influence their physical, mechanical, and acoustic properties. The evaluated stages included the pressing method, wood wool thickness, mix design, and the addition of an external cementitious layer. The mix designs varied in the proportions of water, calcium chloride (CaCl_2), cement, and wood. The physical, mechanical, and acoustic characterization included density analysis (adapted from ASTM D 2395-2022), static bending strength (adapted from ASTM D1037-2020), screw withdrawal resistance (adapted from ABNT NBR 14810-2:2013), acoustic performance (adapted from ABNT NBR 10152-2017), and microstructural analysis using a scanning electron microscope (SEM). The automated hydraulic press yielded the best pressing results. Panels made with 0.2 mm wood wool demonstrated superior physical and acoustic performance compared to those with 0.4 mm wool. The optimal mix design was found to have a higher wood-to-cement ratio, and the addition of an external cementitious layer positively impacted all characterizations. Density varied from 137 kg/m^3 to 371 kg/m^3 for panels without the external layer and from 346 kg/m^3 to 734 kg/m^3 with it. Microscopic analysis revealed inconsistencies in the cement-wood interface, presence of voids, and non-uniform cement distribution. Acoustic isolation tests showed a noise reduction of up to 20% (19.9 dB). The static bending strength test yielded a Modulus of Rupture (MOR) of 1.72 MPa for the 20 mm panel with the highest density and wood-to-cement ratio, which is consistent with commercial WWCB panels. Screw withdrawal tests showed that the panels could support an average of 17 kg of load. Panels with higher density, a greater proportion of wood, and an external cementitious layer exhibited improved acoustic performance and mechanical resistance. The best overall sample was obtained from Mix Design I with the external cementitious layer. These findings demonstrate how different manufacturing processes influence the panels' properties, providing a basis for optimizing their characteristics for various applications.

Keywords: cement-wood panel; WWCB; wood wool; acoustic insulation; physical-mechanical characterization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas e estrutura de pesquisa.....	23
Figura 2 - Diagrama de fluxo de coleta de dados.....	24
Figura 3 - Mapeamento gráfico: Coocorrência de palavras.....	26
Figura 4 - Mapeamento gráfico: Autores e citações	27
Figura 5 - Documentos encontrados por país ou território	28
Figura 6 - Exemplos de produtos engenheirados de madeira	37
Figura 7 - A) Representação esquemática de uma madeira de conífera; B) Representação esquemática de uma madeira de folhosa; C) Micrografia da conífera; D) Micrografia da folhosa. Escala de 300µm.....	42
Figura 8 – Representação esquemática da reflexão, absorção e transmissão do som através de um meio material	43
Figura 9 - Absorção sonora e conversão de energia.....	43
Figura 10 - Redução da reflexão sonora com o aumento da absorção	44
Figura 11 - Painéis cimento-madeira de variadas espessuras	50
Figura 12 - Aplicações de painéis cimento-madeira em edificações	51
Figura 13 - Vantagens do compósito cimento-madeira	51
Figura 14 - WWCB colorido hexagonal comercial	53
Figura 15 - Planta de produção simplificada de WWCB.....	54
Figura 16 - Características técnicas: WWCB comercial	54
Figura 17 - Etapas do processo produtivo em laboratório dos painéis WWCB.	57
Figura 18 - Produção das lãs de madeira: (a) Plaina manual adaptada sobre tábua de madeira apoiada no torno de bancada; (b) Faca da plaina manual modificada; (c) Lãs produzidas.....	58
Figura 19 - Produção do painel: (a) Lãs de madeira umedecidas; (b) Adição da pasta de cimento às lãs; (c) Modelagem da mistura na forma para prensagem; (d) Painel pronto.	60
Figura 20 – Prensas hidráulicas utilizadas para a fabricação dos painéis: a) manual; b) automatizada.....	61
Figura 21 - Confeção de camada externa com partículas: a) partículas de madeira de <i>pinus</i> de 35 <i>mesh</i> ; b) WWCB com camada externa cimentícia particulada não aderida indicada pelas setas brancas.	64

Figura 22 – Painel WWCB traço I confeccionado com camadas cimentícias externas	65
Figura 23 - Teste de resistência na flexão estática: (a) Máquina universal de ensaios EMIC; (b) Corpo de prova biapoiado para teste de flexão estática	66
Figura 24 - Determinação da resistência ao arrancamento de parafuso: (a) Corpo de prova para arranque de superfície; (b) Corpo de prova para arranque de topo; (c) Corpo de prova na máquina de ensaios.....	68
Figura 25 - Câmara Reverberante para teste de isolamento acústico	69
Figura 26 - Câmara emissora construída: a) vista frontal; b) vista frontal e superior; c) moldura para encaixe do painel.	70
Figura 27 - MEV modelo HITACHI TM 4000 Plus	71
Figura 28 – Análise visual da superfície dos painéis: a) perfil lateral painel prensa automática; b) perfil superior painel prensa automática; c) perfil lateral painel prensa manual; d) perfil superior painel prensa manual.....	73
Figura 29 - Microscopia: a) painel prensa automática; b) painel prensa manual. Ampliação de 30x.....	74
Figura 30 - Painéis WWCB produzidos com: a) lãs de 0,2 mm de espessura; b) lãs de 0,4 mm de espessura.....	77
Figura 31 - Painéis produzidos, da esquerda para direita, Traços I, II, III e IV	80
Figura 32 – Micrografia da lã de madeira de <i>Pinus</i> sp.: (a) aumento de 40x; (b) aumento de 500x; (c) aumento de 800x; (d) aumento de 1000x	81
Figura 33 – Micrografia WWCB: (a) Traço I aumento de 30x; (b) Traço II aumento de 30x; (c) Traço III aumento de 35x; (d) Traço IV aumento de 30x	82
Figura 34 - Vista lateral dos painéis de cada traço.....	86
Figura 35 – Camada superior cimentícia: a) painel de 20 mm; b) painel de 30 mm..	87
Figura 36 - Micrografia camada externa cimentícia painéis WWCB: (a) CE aumento de 200x; (b) CE aumento de 500x; (c) área captada MEV	88
Figura 37 - Intensidade sonora captada: painéis WWCB produzidos	91
Figura 38 - Correlação entre intensidade sonora medida e densidade dos painéis ..	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Métricas Scopus: Os 10 trabalhos mais citados na área de painéis cimento-madeira	30
Quadro 2 - Métricas Scopus: Os 10 trabalhos mais citados na área de painéis WWCB	31
Quadro 3 - Síntese dos cinco trabalhos sobre painéis de madeira e cimento com maior número de citações na Scopus, em ordem crescente.....	32
Quadro 4 - Síntese dos cinco trabalhos sobre WWCB com maior número de citações na Scopus	35
Quadro 5 - Painéis de madeira e seus fragmentos de madeira utilizados	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Etapas analisadas para a produção de WWCB.	59
Tabela 2 - Comparativo das condições de produção de painéis cimento-madeira de <i>Pinus</i> sp.....	62
Tabela 3 - Traços analisados	63
Tabela 4 – Densidade, espessura média e desvio padrão dos painéis produzidos ..	75
Tabela 5 – Atenuação sonora e desvio padrão dos painéis produzidos	76
Tabela 6 - Densidade, espessura média e desvio padrão dos painéis produzidos ...	78
Tabela 7 - Atenuação sonora média e desvio padrão dos painéis produzidos.....	79
Tabela 8 – Densidade, desvio padrão e espessura média final do painel.....	83
Tabela 9 - Atenuação sonora média dos painéis de cada traço.....	84
Tabela 10 - Densidade, desvio padrão e espessura média final dos painéis	89
Tabela 11 - Atenuação sonora média de cada traço com CE e sem manta cimentícia.	90
Tabela 12 - Módulo de Resistência e Módulo de Elasticidade na flexão estática	93
Tabela 13 - Força máxima média de resistência ao arrancamento de parafuso da superfície e do topo	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAC	Concreto Aerado Autoclavado
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEC	Indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção
ASTM	American Society for Testing and Materials
CaCl ₂	Cloreto de Cálcio
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAU/BR	Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil
CE	Camada Externa
CGS	Sistema centímetro-grama-segundo
CP	Cimento Portland
IBÁ	Indústria Brasileira de Árvores
ISO	International Organization for Standardization
IUPAC	União Internacional de Química Pura e Aplicada
LCA	Análise do Ciclo de Vida (Life Cycle Analysis)
L-P	Sistema Polegada-Libra
MEV	Microscopia Eletrônica por Varredura
MOE	Módulo de Elasticidade
MOR	Módulo de Resistência a Ruptura
MSWI	Municipal Solid Waste Incineration
SI	Sistema Internacional
SNIC	Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
WWCB	Wood-wool Cement Board

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	OBJETIVOS	21
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
3	REVISÃO BIBLIOMÉTRICA	22
3.1	METODOLOGIA DE PESQUISA.....	22
3.1.1	Seleção da fonte, coleta de dados e avaliação do panorama	23
3.1.1.1	<i>Mapeamento gráfico e sistematização</i>	25
3.2	RESULTADOS DA ANÁLISE	25
4	REVISÃO SISTEMÁTICA WWCB	32
5	REVISÃO DE LITERATURA.....	37
5.1	PRODUTOS ENGENHEIRADOS DE MADEIRA.....	37
5.1.1	Propriedades mecânicas	40
5.2	MADEIRA	41
5.2.1	Propriedades acústicas	43
5.2.2	Densidade.....	46
5.3	CIMENTO	47
5.4	COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS.....	49
5.4.1	Painéis cimento-madeira	50
5.5	WWCB.....	52
6	MATERIAL E MÉTODO	56
6.1	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	56
6.2	ETAPAS ENVOLVIDAS NA CONFEÇÃO DOS PAINÉIS	57
6.2.1	Produção da lâ.....	58
6.2.2	Produção dos painéis	58
6.2.3	Primeira etapa: processo de prensagem	61
6.2.4	Segunda etapa: espessura da lâ	62
6.2.5	Terceira etapa: traço.....	62
6.2.6	Quarta etapa: camada externa cimentícia	64
6.2.7	Determinação das propriedades físico-mecânicas	65
6.2.7.1	<i>Determinação de densidade</i>	65
6.2.7.2	<i>Determinação da rigidez e resistência na flexão estática</i>	66
6.2.7.3	<i>Determinação da resistência ao arrancamento de parafuso</i>	67

6.2.7.4	Desempenho acústico.....	68
6.2.7.5	Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV).....	70
6.2.8	Análise dos dados	71
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
7.1	ETAPA 1: PROCESSO DE PRENSAGEM	73
7.1.1	Análise visual e microscópica	73
7.1.2	Densidade.....	75
7.1.3	Isolamento acústico	76
7.2	ETAPA 2: ESPESSURA DAS LÃS	77
7.2.1	Análise visual.....	77
7.2.2	Densidade.....	78
7.2.3	Isolamento acústico	79
7.3	ETAPA 3: TRAÇO	80
7.3.1	Análise visual e microscópica	80
7.3.2	Densidade.....	83
7.3.3	Isolamento acústico	84
7.4	ETAPA 4: CAMADA EXTERNA CIMENTÍCIA	86
7.4.1	Análise visual e microscópica	86
7.4.2	Densidade.....	89
7.4.3	Isolamento acústico	90
7.5	RESISTÊNCIA NA FLEXÃO ESTÁTICA	92
7.6	RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO.....	94
8	CONCLUSÕES	96
	REFERÊNCIAS	99
	DADOS CURRICULARES.....	117

1 INTRODUÇÃO

A conscientização sobre a utilização responsável dos recursos florestais impulsionou avanço de tecnologias que visam assegurar a sustentabilidade no setor madeireiro. Como resultado, surgiram os painéis de madeira, que são materiais compósitos constituídos de madeira processada de diferentes formas, compactadas por pressão e unidas por aglutinantes. Esses painéis se tornaram substitutos da madeira maciça em diversos seguimentos industriais e utilizam a vantagem do maior aproveitamento da matéria-prima e, conseqüentemente, menor geração de resíduos (Lun *et al.*, 2016; Pizzi; Papadopoulos; Policardi, 2020).

Segundo o relatório da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2023), esses painéis têm desempenhado um papel positivo no impulsionamento da economia do Brasil e as crescentes pesquisas e inovações tecnológicas na área de painéis de madeira, tem promovido oportunidade de trabalho e ganhos econômicos nos setores da construção civil e mobiliário. O setor apresentou um crescimento de 14,6%, ocupando o 8º lugar no ranking mundial de produção de painéis em 2023, onde o volume de painéis produzidos em território nacional foi de mais de 8,5 milhões de metros cúbicos (IBÁ, 2023).

A aplicação de painéis derivados da madeira tem sido bastante explorada no setor da construção civil e em outras áreas devido as suas características físicas e mecânicas vantajosas, como flexibilidade, sustentabilidade e conforto termo-acústico (Mirski *et al.*, 2021; Pędzik *et al.*, 2022; Gois, 2022).

A capacidade de isolamento e absorção sonora desempenha um papel crucial no projeto de espaços arquitetônicos, especialmente em ambientes como salas de aula e estúdios, onde há muita presença de ruído e sons que podem causar desconforto as pessoas que não estão ocupando o mesmo local (Ribeiro *et al.*, 2021). A otimização do condicionamento acústico de um ambiente construído não deve se limitar à consideração exclusiva dos parâmetros acústicos, mas sim integrar o potencial de sustentabilidade inerente aos materiais empregados (Ribeiro, 2020).

Entre os painéis para fins de isolamento acústico, é válido mencionar o painel de lã de madeira com incorporação de cimento, compostos por lã de madeira entrelaçadas, também conhecidos como *Wood-Wool Cement Board* (WWCB), unidos por meio de aglutinante a uma pressão e temperatura conhecidas (Ribeiro *et al.*, 2021). A literatura disponível que aborda este tipo de material, tem demonstrado que

há pesquisas em constante desenvolvimento e que novos estudos estão sendo conduzidos para aprimorar o conhecimento sobre o WWCB e torná-lo ainda mais atrativo e sustentável.

A produção desses painéis envolve um processo que inicia com a transformação de peças de madeira em lâs finas, ou lâ, como é comumente chamado. Após um tratamento em solução salina para melhorar a aderência ao cimento, essa lâ é misturada ao cimento e submetida a uma prensagem em moldes. Após o período de cura, os painéis estão prontos para armazenamento (Van Elten, 2006; Ribeiro *et al.*, 2021; Koh *et al.*, 2024).

No cenário regional, a produção de painéis WWCB emerge como uma alternativa promissora, impulsionada pela vasta disponibilidade de resíduos provenientes de indústrias madeireiras, tais como destopos, costaneiras e peças defeituosas, que podem ser transformados em lâ de madeira para a composição do painel. A hipótese de desenvolvimento do WWCB na região do Sudoeste do Estado de São Paulo é particularmente relevante devido à sua característica como grande produtora de cimento e à abundante geração de resíduos madeireiros (SNIC, 2024; Vasconcellos; Oliveira, 2020).

A utilização de WWCB contribui para a minimização do impacto ambiental na construção civil, devido ao uso da madeira ao invés de materiais sintéticos. Destaca-se que materiais isolantes acústicos sintéticos de baixo custo, frequentemente à base de poliuretano (PU), têm sido associados a acidentes graves, como incêndios em casas noturnas, devido à sua toxicidade e alta propagação de fogo (FUNDACENTRO, 2024). Nesse contexto, a escolha de materiais com menor risco de incêndio, como o WWCB, torna-se um fator crucial para a segurança.

Adicionalmente, a mudança climática intensifica a necessidade de isolantes térmicos eficientes para minimizar a demanda energética das habitações. Embora a produção de cimento envolva um gasto energético considerável, a perspectiva de longo prazo da edificação revela um equilíbrio favorável, dada a economia de energia proporcionada pelo isolamento térmico do WWCB ao longo do seu ciclo de vida. De acordo com a base de dados da Scopus, o Brasil, com sua forte tradição no uso de cimento e extensas áreas de plantio florestal, posiciona-se como um líder global em publicações sobre painéis cimento-madeira, demonstrando um potencial notável para o desenvolvimento de soluções inovadoras e sustentáveis nessa área.

No entanto, apesar da proeminência do Brasil na pesquisa em painéis cimento-madeira, observa-se uma escassez de informações e trabalhos específicos sobre o *Wood Wool Cement Board* (WWCB), mesmo diante do considerável potencial do material. Uma problemática central que contribui para essa lacuna reside na ausência de dados atualizados sobre as propriedades de isolamento acústico fornecidos pelas indústrias brasileiras produtoras desse tipo de painel.

Além disso, a nomenclatura variada empregada pelas indústrias nacionais, como "placa de madeira mineralizada" ou "*fiberwood*", dificulta a padronização, a divulgação e a realização de pesquisas abrangentes sobre o produto. Essa diversidade terminológica cria uma barreira para a consolidação do conhecimento e para a efetiva comunicação científica e tecnológica em torno do WWCB no cenário brasileiro.

Nesse contexto, o presente estudo analisou painéis do tipo WWCB produzidos para fins de isolamento acústico, averiguou-se os seus diferenciais, sua viabilidade produtiva, a influência da densidade nas propriedades físico-mecânicas e acústicas, o processo de prensagem e o acabamento superficial dos painéis confeccionados. Adicionalmente, uma discussão sobre o estado da arte também é apresentada.

2 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar o desempenho físico-mecânico e acústico, por meio do teste de isolamento acústico, de painéis compósitos constituídos de lã de madeira e cimento, visando sua aplicação na construção civil e comparando com produtos disponíveis no mercado.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar e sintetizar as informações sobre painéis cimento-madeira, com foco no estágio atual das pesquisas sobre o assunto;
- b) Avaliar a influência da espessura da lã de madeira no desempenho acústico e físico;
- c) Avaliar a influência do processo de prensagem nas propriedades físico-mecânicas e acústicas;
- d) Avaliar a proporção cimento-madeira para a confecção do painel nas propriedades físico-mecânicas;
- e) Avaliar a influência da densidade do painel nas propriedades físico-mecânicas e acústicas;
- f) Avaliar a influência da proporção de madeira/cimento no desempenho acústico do painel.

3 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

A revisão bibliométrica é uma abordagem quantitativa que permite analisar a produção científica de forma ampla, identificando tendências, autores e temas relevantes em uma determinada área. Ao analisar artigos, patentes e citações em bases de dados como a Scopus, é possível mapear a evolução e o estado atual da pesquisa em um determinado campo (Soares *et al.*, 2016; Belter, 2015).

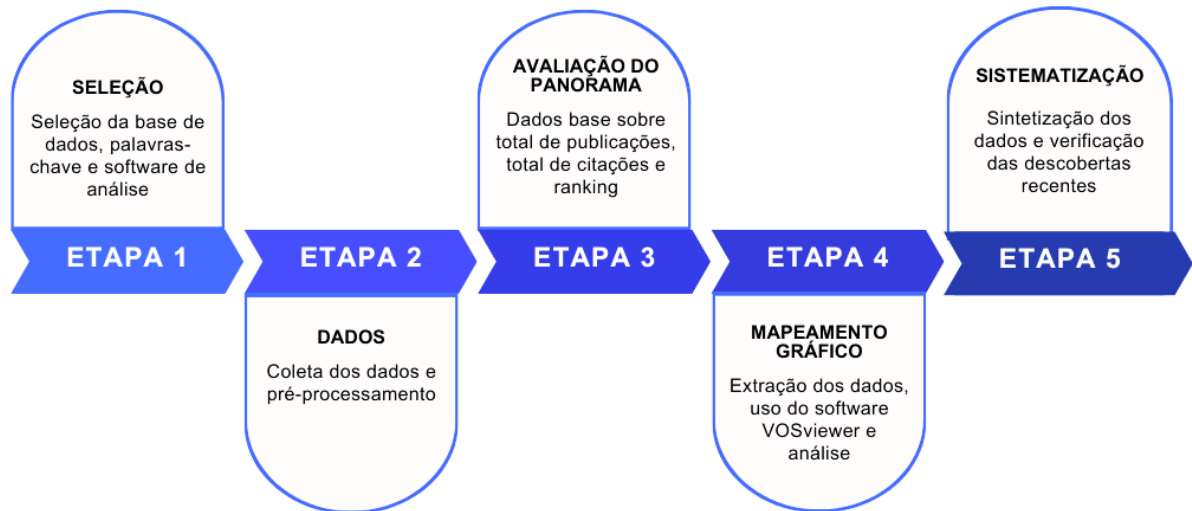
O mapeamento gráfico é uma representação visual de relações entre os trabalhos selecionados e tem como objetivo construir mapas que descrevam como campos de pesquisa específicos, disciplinas e domínios científicos são social e intelectualmente estruturados e relacionados. Para esse tipo de análise diferentes recursos, como softwares, podem ser utilizados (Van Eck; Waltman, 2010; Cobo *et al.*, 2011).

Esta seção emprega uma análise bibliométrica, combinada com a identificação de descobertas científicas recentes presentes nas publicações mais citadas na base de dados escolhida.

3.1 METODOLOGIA DE PESQUISA

Cinco fases foram delineadas para proporcionar uma compreensão aprimorada do procedimento de pesquisa adotado e o método aplicado em cada etapa é delineado na Figura 1.

Figura 1 - Etapas e estrutura de pesquisa



Fonte: Autoria própria (2024).

Este modelo de pesquisa foi adotado para responder as seguintes questões sobre painéis cimentícios no geral e também sobre o WWCB:

- a) Quais são os principais países, instituições, periódicos e autores?
- b) Quais são as principais categorias dos trabalhos encontrados?
- c) Quais são os tópicos centrais, suas relações e força de citação?
- d) Quais são as principais descobertas encontradas na literatura?

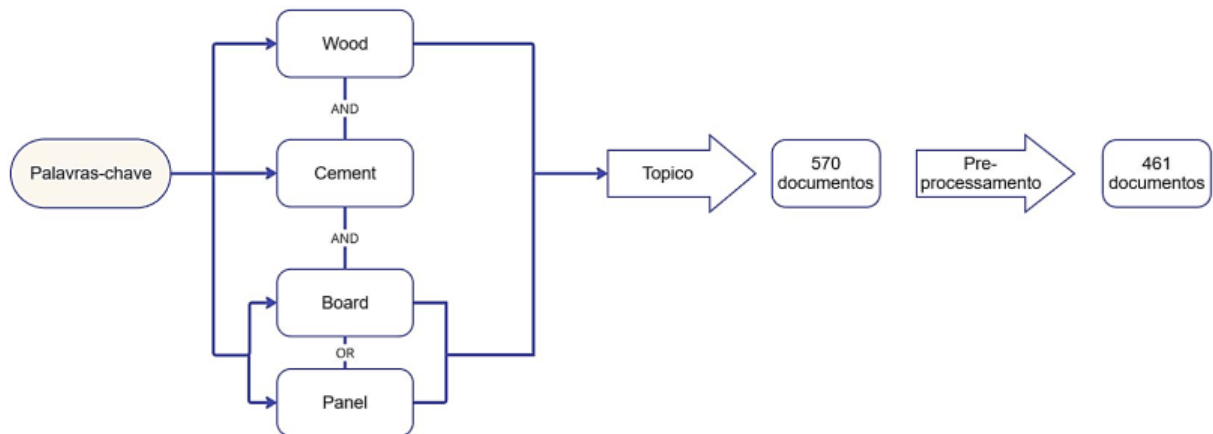
3.1.1 Seleção da fonte, coleta de dados e avaliação do panorama

Os dados para este estudo foram coletados de novembro de 2023 a setembro de 2024 utilizando a base de dados Scopus, que é considerada uma base de dados acadêmicos proeminente além de um dos mais amplos bancos de dados globais que oferece acesso a literatura online e dados científicos interdisciplinares (ELSEVIER, 2023). A Scopus disponibiliza uma grande biblioteca de conteúdo, permitindo o acesso a dados de alta qualidade através do e-mail institucional para aprimorar a pesquisa acadêmica. Além disso, oferece ferramentas analíticas que possibilitam a visualização, comparação e exportação de dados para avaliar as tendências de pesquisa, permitindo a avaliação do panorama e posterior uso em

algum software como o VOSviewer para mapeamento e visualização desses dados bibliométricos.

Empregou-se um conjunto específico de palavras-chave, conforme detalhado na Figura 2, para realizar a busca em "Título do artigo, Resumo, Palavras-chave". O intuito dessa abordagem era identificar estudos de maior relevância no âmbito do tema em questão. No contexto da busca por publicações que abordassem o uso de painéis isolantes de cimento à base de madeira, bem como novas tecnologias e produtos associados, foram selecionadas as palavras-chave "wood", "cement" e "board" ou "panel". Para essa finalidade, a base de dados da Scopus foi utilizada considerando apenas artigos das duas últimas décadas, ou seja, de 2004 a 2024.

Figura 2 - Diagrama de fluxo de coleta de dados



Fonte: Autoria própria (2024)

A pesquisa encontrou 570 documentos, sendo 67,2% artigos, seguido por documentos de conferência (21,1%), revisões (6,3%) e capítulos de livros (2,8%). A etapa de pré-processamento consistiu na seleção de trabalhos publicados em periódicos e escritos em inglês, no período de 2004 a 2024, seguida pela remoção de duplicatas para exportação dos dados, esse processo resultou em 461 documentos, que foram exportados no formato CSV para análise posterior utilizando o software VOSviewer versão 1.6.20.

A etapa de avaliação do panorama consistiu em extrair informações da base de dados da Scopus referente ao cenário atual de pesquisa do tema em questão, como a quantidade de publicações nos últimos anos, os autores com maior número de publicações e citações. Essa estratégia de busca visa abranger o espectro de estudos relacionados ao tema, permitindo a identificação de pesquisas significativas

e relevantes para a compreensão das tecnologias envolvidas, as aplicações práticas e as inovações nesse campo específico. O uso criterioso de palavras-chave específicas foi essencial para refinar os resultados da pesquisa, garantindo que as publicações recuperadas estejam alinhadas com os objetivos e escopo da investigação em questão.

3.1.1.1 Mapeamento gráfico e sistematização

O mapeamento gráfico é uma representação visual de relações entre os trabalhos selecionados e tem como objetivo construir mapas que descrevam como campos de pesquisa específicos, disciplinas e domínios científicos são social e intelectualmente estruturados e relacionados. Para esse tipo de análise, diferentes recursos como softwares, podem ser utilizados (Van Eck; Waltman, 2010; Cobo *et al.*, 2011).

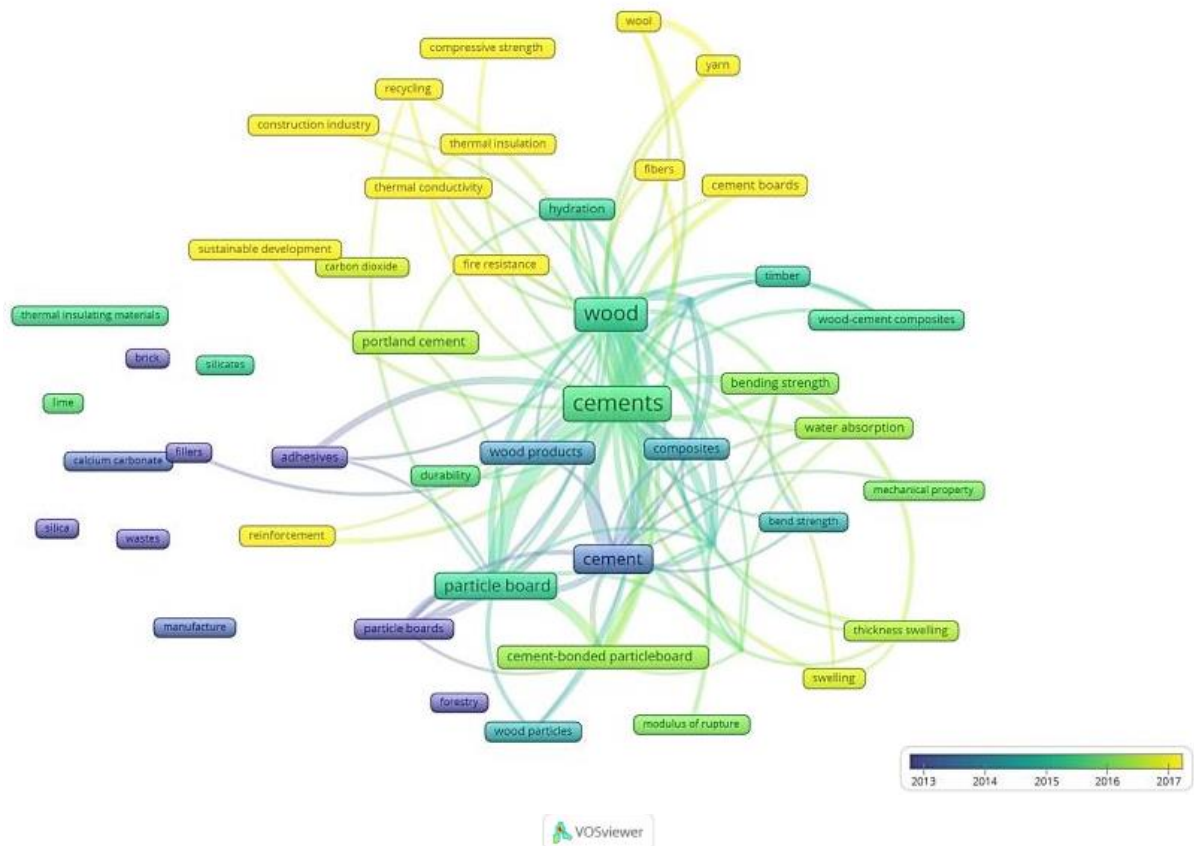
A etapa de mapeamento gráfico foi realizada através da exportação dos dados disponibilizados pela Scopus. Um arquivo em formato CSV foi gerado para obter informações sobre autores, títulos, instituições, palavras-chave, área de pesquisa, periódicos, ano de publicação e entre outros. Através da importação destes dados para o software VOSviewer versão 1.6.20, foi possível obter diferentes tipos de mapas (coautoria, coocorrência de palavras-chave, citação, acoplamento bibliográfico ou cocitação) com base nos dados importados.

O estágio de revisão sistemática foi realizado mediante as métricas da Scopus, que disponibiliza o número de citações de cada trabalho selecionado. Com base nestes dados obtidos, os dez trabalhos com mais citações foram analisados com a finalidade de verificar as características da produção dos painéis, a metodologia e as principais descobertas dos autores.

3.2 RESULTADOS DA ANÁLISE

A busca inicial pelas palavras-chave "wood" AND "cement" AND "board" OR "panel", revela um total de 461 trabalhos publicados entre 2004 e 2024 na base de dados da Scopus. A Figura 3 demonstra as palavras com mais coocorrências que estão relacionadas com a busca principal.

Figura 3 - Mapeamento gráfico: Coocorrência de palavras



Fonte: Autoria própria (2024).

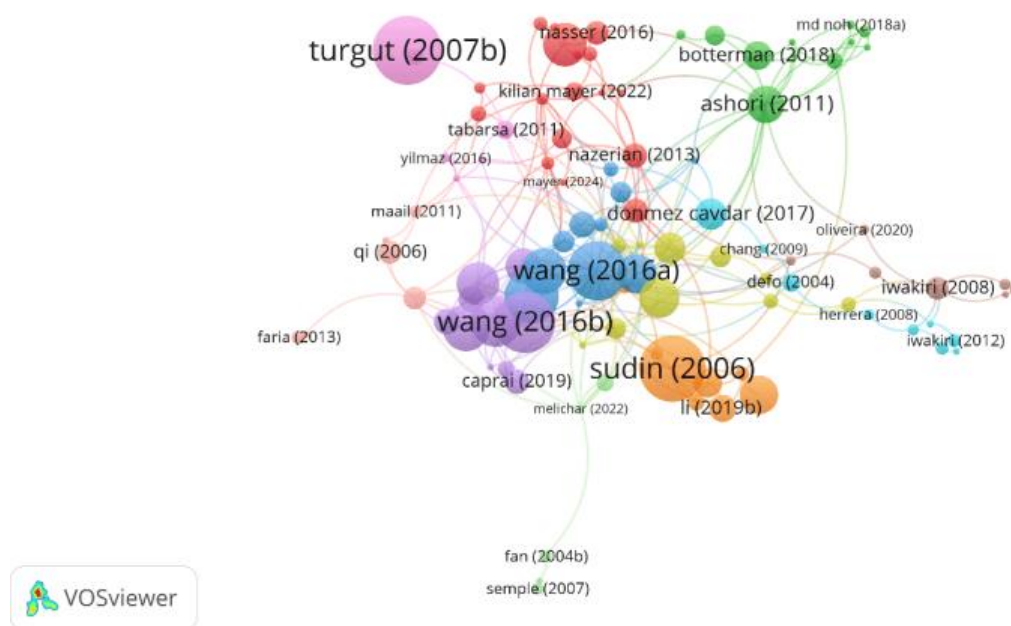
Na visualização da rede, os itens são representados por seus rótulos e, por padrão, também por um retângulo. O tamanho do retângulo e do rótulo de um item é determinado pelo peso deste, ou seja, quanto maior o peso de um item, maior o retângulo e seu respectivo rótulo. Para alguns itens, o rótulo pode não ser exibido. Isso é feito para evitar sobreposição de rótulos. As linhas entre os retângulos representam os links, e sua espessura significa a força de link entre os itens. A distância entre retângulos na visualização indica aproximadamente a relação entre eles em termos de links de citação. Em geral, quanto mais próximos dois rótulos estiverem localizados, mais forte será a relação entre eles (Nees; Ludo, 2019).

A temporalidade das palavras é representada pelas cores, onde o amarelo indica os documentos mais recentes e a cor roxa, as publicações mais antigas. Os termos com maior coocorrência foram “*cements*” e “*wood*”, que estão fortemente relacionadas com as palavras “*fibers*”, “*cement boards*” e “*wood-cement composites*”. Ao analisar o mapeamento gráfico dentro do software é possível observar também a forte relação entre a palavra “*wool*” com as demais citadas anteriormente, o que

demonstra um *link strength* muito forte, além disso observa-se que a temporalidade dessa palavra se dá a partir do ano de 2017, aproximadamente, o que corrobora com a intenção e busca de desenvolvimento de pesquisas mais atuais na área de painéis a base de lâ de madeira e cimento.

Foi realizada também uma busca afim de estabelecer conexões entre os documentos selecionados com base na frequência com que foram citados em conjunto nas referências bibliográficas de outros trabalhos. Essa abordagem proporcionou verificar a relação e a identificação de padrões de associação e afinidade temática. Mapeou-se as interconexões entre eles para compreender a influência mútua que exercem sobre o desenvolvimento do tema estudado. A relação entre os autores está representada na Figura 4.

Figura 4 - Mapeamento gráfico: Autores e citações



Fonte: Autoria própria (2024).

Assim como a Figura 3, a visualização segue o mesmo padrão. O tamanho do círculo e do rótulo de um item é determinado pelo peso deste, ou seja, quanto maior o peso de um item, maior o círculo e seu respectivo rótulo, significando maior número de citações. A cor de um item é determinada pelo cluster (agrupamento) ao qual o item pertence.

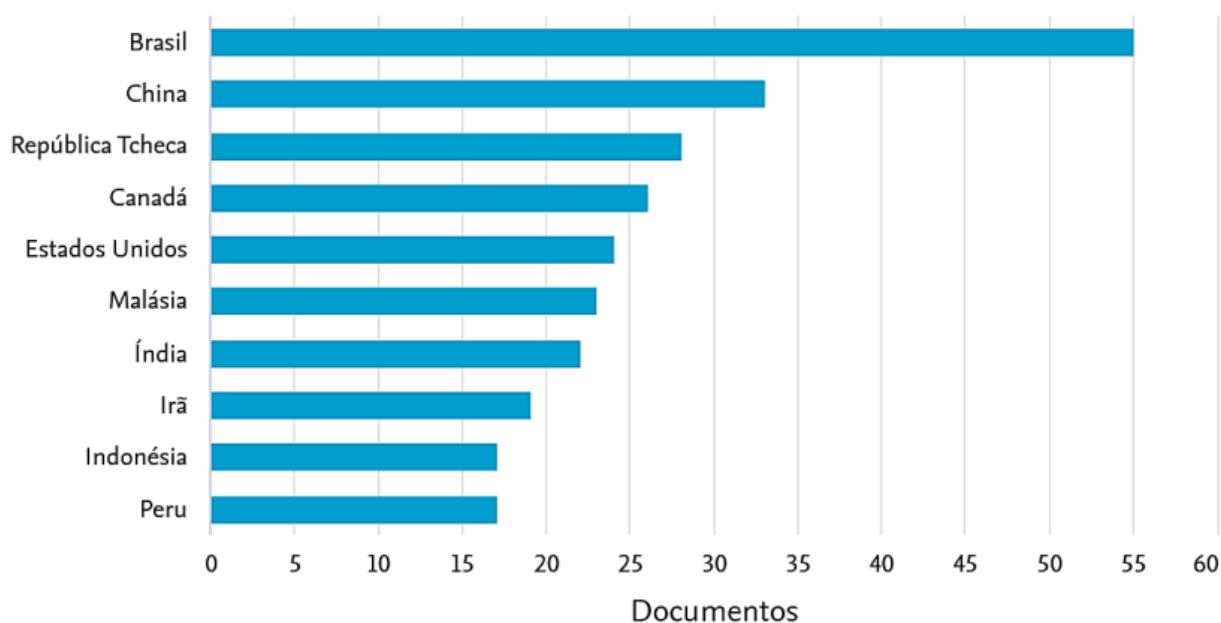
Verificou-se que os autores com maiores citações foram Turgut, P., com 143 citações; Sudin, R., com 134 e Wang, L., com 116. Conforme indicado pela base

de dados da Scopus, as duas principais categorias dos documentos encontrados são Engenharia, com 249 documentos, equivalendo a 29,8% do total de arquivos, seguida por Ciência dos materiais (21,9%).

Ao inserir a palavra “wool”, é possível observar que os trabalhos com maiores citações foram escritos por Berger, Gauvin e Brouwers (2020), publicados na revista *Construction and Building Materials*, com 53 citações, seguidos por Ashori *et al.* (2011), publicados em *Industrial Crops and Products*, com 50 citações e Gauvin *et al.* (2018), publicado em *Applied Catalysis B: Environmental*, com 47 citações. As duas principais categorias dos documentos encontrados são Engenharia, com 30 documentos, equivalendo a 34,5% do total de arquivos, seguida por Ciência dos Materiais (21,8%). É possível verificar a multidisciplinaridade deste tema em particular e como ele abrange diversas áreas da ciência.

A Figura 5 indica a quantidade de documentos encontrados por país ou território, sendo os três mais relevantes, Brasil, com 55 documentos publicados, seguido por China, com 33 documentos e República Tcheca com 28 publicações.

Figura 5 - Documentos encontrados por país ou território



Fonte: Scopus (2024).

A liderança brasileira em pesquisas sobre painéis cimento-madeira demonstra o potencial do país em gerar soluções inovadoras para os desafios da construção civil, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do país. A maior parte dos artigos de origem nacional têm como principal área temática ciências agrárias e biológicas, seguidas por engenharia e ciência dos materiais, trabalhos esses voltados principalmente para a área de reciclagem, degradação e sustentabilidade, é grande a recorrência de trabalhos que utilizam resíduos como matéria prima para confecção dos painéis estudados.

De acordo com a Scopus, o autor com maior número de publicações é o brasileiro Iwakiri, S, com 15 documentos de 2004 a 2024 nessa área. Dos trabalhos publicados, as fontes com maior número de publicações é a Universidade Federal de Lavras, localizada no estado de Minas Gerais no Brasil, com 16 publicações, e a Universidade Tecnológica Brno, localizada na República Tcheca, com 14 documentos.

Em relação ao ano de publicação, no período de 2004 a 2014 foram divulgados 196 documentos, ao passo que entre 2015 e 2024 foram lançados 265, o que corresponde a um aumento de 35,2%, demonstrando grande evolução no interesse em se pesquisar e desenvolver novos produtos nessa área. Por outro lado, de acordo com a base de dados da Scopus, ao pesquisar sobre o painel WWCB, verificou-se um total de apenas 55 documentos entre 2004 a 2024, é importante destacar que a maior parte dos estudos sobre painéis à base de lã de madeira e cimento data de 2017 em diante, indicando uma tendência recente de investigação nesse campo. Essa temporalidade sugere que a área está em constante desenvolvimento e que novas pesquisas estão sendo conduzidas para aprimorar o conhecimento sobre esses materiais.

Para analisar os documentos, foram utilizadas as métricas da Scopus, e os resultados foram organizados pelo número de citações e apresentados no Quadro 1 e Quadro 2, que inclui o número total de vezes que este documento foi citado na Scopus.

Quadro 1 - Métricas Scopus: Os 10 trabalhos mais citados na área de painéis cimento-madeira

Ano	Autores	Título	Citações na Scopus
2007	Turgut, P., Murat Algin, H.	Limestone dust and wood sawdust as brick material	143
2006	Sudin, R., Swamy, N.	Bamboo and wood fibre cement composites for sustainable infrastructure regeneration	134
2012	Gong, X. <i>et al.</i>	Life cycle energy consumption and carbon dioxide emission of residential building designs in Beijing: A comparative study	125
2016	Wang, L. <i>et al.</i>	Recycling contaminated wood into eco-friendly particleboard using green cement and carbon dioxide curing	116
2016	Wang, L. <i>et al.</i>	Value-added recycling of construction waste wood into noise and thermal insulating cement-bonded particleboards	111
2007	Viitanen, H., Ojaten, T.	Improved model to predict mold growth in building materials	110
2018	Hossain, M.U., Poon, C.S.	Comparative LCA of wood waste management strategies generated from building construction activities	95
2018	Wang, L. <i>et al.</i>	Upcycling wood waste into fibre-reinforced magnesium phosphate cement particleboards	87
2004	Okino, E.Y.A. <i>et al.</i>	Cement-bonded wood particleboard with a mixture of eucalypt and rubberwood	80
2010	Acda, M.N.	Waste chicken feather as reinforcement in cement-bonded composites	79

Fonte: Adaptado de Scopus (2024).

Os três trabalhos com maior número de citações foram escritos por Turgut, P. *et al.* (2007), publicado na revista *Building and Environment*, com 143 citações, seguido por Sudin, R. *et al.* (2006), publicado em *Journal of Materials Science*, com 134 citações e Gong, X. *et al.* (2012), publicado em *Journal of Industrial Ecology*, com 125 citações.

Quadro 2 - Métricas Scopus: Os 10 trabalhos mais citados na área de painéis WWCB

Ano	Autores	Título	Citações na Scopus
2020	Berger, F., Gauvin, F., Brouwers, H.J.H.	The recycling potential of wood waste into wood-wool/cement composite	60
2018	Gauvin, F., Caprai, V., Yu, Q.L., Brouwers, H.J.H.	Effect of the morphology and pore structure of porous building materials on photocatalytic oxidation of air pollutants	53
2011	Ashori, A., Tabarsa, T., Azizi, K., Mirzabeygi, R.	Wood-wool cement board using mixture of eucalypt and poplar	52
2018	Botterman, B., La Grée, G.C.H.D., Hornikx, M.C.J., Yu, Q.L., Brouwers, H.J.H.	Modelling and optimization of the sound absorption of wood-wool cement boards	34
2019	Caprai, V., Gauvin, F., Schollbach, K., Brouwers, H.J.H.	MSWI bottom ash as binder replacement in wood cement composites	26
2020	Tudor, E.M., Scheriau, C., Barbu, M.C., Krišt'ák, L., Schnabel, T.	Enhanced resistance to fire of the bark-based panels bonded with clay	24
2018	Caprai, V., Gauvin, F., Schollbach, K., Brouwers, H.J.H.	Influence of the spruce strands hygroscopic behavior on the performances of wood-cement composites	21
2018	La Grée, G.C.H.D., Yu, Q.L., Brouwers, H.J.H.	Upgrading and evaluation of wastepaper sludge ash in eco-lightweight cement composites	19
2014	Barbu, M.C., Reh, R., Irle, M.	Wood-based composites	16
2009	Johnston, J.H., Kelly, F.M., Burridge, K.A., Borrmann, T.	Hybrid materials of conducting polymers with natural fibers and silicates	16

Fonte: Adaptado de Scopus (2024).

Os três trabalhos com maior número de citações foram escritos por Berger, Gauvin e Brouwers (2020), publicados na revista *Construction and Building Materials*, com 60 citações, seguidos por Gauvin *et al.* (2018), publicado em *Applied Catalysis B: Environmental*, com 53 citações e Ashori *et al.* (2011), publicados em *Industrial Crops and Products*, com 52 citações. Observa-se que o interesse por pesquisas nessa área, especificamente com painéis à base de lã de madeira e cimento (WWCB), são mais recentes, evidenciando uma tendência crescente de estudos mais atuais.

4 REVISÃO SISTEMÁTICA WWCB

Uma revisão sistemática da literatura consiste na pesquisa, seleção, avaliação, síntese e apresentação das descobertas relacionadas a um objeto de estudo específico ou tópico. No cenário atual, ela é reconhecida como uma abordagem mais racional e menos suscetível a vieses, proporcionando uma forma organizada, avaliativa e integradora das evidências científicas disponíveis. Este método contribui significativamente para a fundamentação de decisões clínicas e científicas, promovendo uma abordagem mais confiável e embasada no campo da pesquisa e prática (Roever, 2017; Galvão; Pereira, 2014).

Foram localizados e escolhidos diversos estudos que abordam o uso de painéis de madeira e cimento. Os Quadros 3 e 4 resume os trabalhos selecionados com maior número de citações na base de dados escolhida, abordando as características da produção dos painéis, a metodologia e as principais descobertas dos autores.

Quadro 3 - Síntese dos cinco trabalhos sobre painéis de madeira e cimento com maior número de citações na Scopus, em ordem crescente

(continua)

Autor e ano	Título	Objeto de estudo	Principais descobertas
Turgut, P., Murat Algin, H. (2007)	Limestone dust and wood sawdust as brick material	Resíduos de pó de calcário e serragem de madeira	Viabilidade técnica e ambiental da utilização desses resíduos na produção de materiais de construção inovadores e sustentáveis.
Sudin, R., Swamy, N. (2006)	Bamboo and wood fibre cement composites for sustainable infrastructure regeneration	Compósito cimentício feito de bambu e madeira	Materiais alternativos para a construção civil e a regeneração de infraestruturas. Viabilidade da produção de painéis compósitos sustentáveis.
Gong, X. et al. (2012)	Life cycle energy consumption and carbon dioxide emission of residential building designs in Beijing: A comparative study	Comparação do consumo de energia do ciclo de vida e emissão de dióxido de carbono em três tipos de edifícios residenciais, sendo eles construído em estrutura de concreto, estrutura de aço leve e estrutura de madeira	A construção com estrutura de madeira apresentou um menor impacto ambiental em termos de consumo de energia e emissões de CO ₂ em comparação ao concreto e ao aço leve.

(conclusão)

Autor e ano	Título	Objeto de estudo	Principais descobertas
Wang, L. et al. (2016)	Recycling contaminated wood into eco-friendly particleboard using green cement and carbon dioxide curing	O estudo propõe uma tecnologia inovadora e de baixo carbono para reutilizar resíduos de madeira contaminada na produção de compósitos eco-friendly	A utilização de resíduos de madeira contaminada na produção de painéis compósitos apresenta diversas vantagens, como redução de porosidade, melhoria das propriedades mecânicas, resistência ao fogo e contribuição para o sequestro de carbono. Esses painéis podem ser utilizados em diversas aplicações na construção civil, contribuindo para a sustentabilidade e a economia circular.
Wang, L. et al. (2016)	Value-added recycling of construction waste wood into noise and thermal insulating cement-bonded particleboards	Uso de resíduos de madeira de construção em painéis cimentícios para fins de isolamento acústico e térmico	O painel produzido demonstrou ser viável economicamente e contribui para a redução do impacto ambiental causado pelo descarte de resíduos de madeira.

Fonte: Adaptado de Scopus (2024).

Os trabalhos analisados convergem para um objetivo comum: encontrar soluções sustentáveis para o manejo de resíduos de madeira na indústria. Também é possível verificar vários trabalhos empregando outros tipos de resíduos com a finalidade de produzir painéis mais sustentáveis, ao analisá-los, os principais assuntos abordados são:

- a) Utilização de resíduos de madeira: A maior parte dos trabalhos estudados exploram maneiras de reutilizar resíduos de madeira, seja de painéis, serragem ou outras fontes, transformando-os em novos produtos;
- b) Desenvolvimento de novos materiais: Os autores buscaram desenvolver novos materiais compostos, como painéis de partículas e compósitos utilizando os resíduos de madeira como matéria-prima;

- c) Avaliação de propriedades: As propriedades físicas e mecânicas dos painéis estudados foram analisadas para garantir sua viabilidade para aplicações específicas;
- d) Análise de ciclo de vida: Alguns estudos realizaram análises de ciclo de vida para avaliar o impacto ambiental dos processos de produção e utilização dos novos materiais, comparando-os com os materiais convencionais;
- e) Utilização de diferentes tipos de resíduos: Os pesquisadores exploraram a utilização de diversos tipos de resíduos, como serragem, pó de calcário e até mesmo penas de frango;
- f) Desenvolvimento de novas matrizes: Além da madeira, foram investigados outros materiais como aglutinantes além do cimento, como resina e polímeros, para criar os compósitos;
- g) Otimização de formulações: As pesquisas buscam encontrar as proporções ideais de cada componente para obter as melhores propriedades nos materiais finais;
- h) Avaliação da resistência a agentes externos: Os materiais desenvolvidos foram submetidos a testes para avaliar sua resistência à umidade, fungos e outros agentes que podem afetar sua durabilidade.

Em resumo, os estudos demonstram o grande potencial dos resíduos de madeira como matéria-prima para a produção de novos materiais com propriedades adequadas para diversas aplicações. Ao utilizar esses resíduos, as indústrias podem reduzir seus impactos ambientais, gerar novos produtos e contribuir para a economia circular. As pesquisas futuras devem continuar explorando novas possibilidades de utilização desses resíduos, buscando soluções cada vez mais sustentáveis e eficientes.

O Quadro 4 resume os trabalhos selecionados sobre WWCB, especificamente, com maior número de citações na base de dados escolhida, abordando as características da produção dos painéis, a metodologia e as principais descobertas dos autores.

Quadro 4 - Síntese dos cinco trabalhos sobre WWCB com maior número de citações na Scopus

Autor e ano	Título	Objeto de estudo	Principais descobertas
Berger, F. et al (2020)	The recycling potential of wood waste into wood-wool/cement composite	Uso de resíduos de madeira na confecção de WWCB	A utilização de resíduos de madeira se mostra uma solução promissora, porém é necessário à sua caracterização para avaliar o impacto destes no desempenho mecânico do produto final.
Ashori, A. et al (2011)	Wood-wool cement board using mixture of eucalypt and poplar	Painel de lã de duas espécies diferentes de madeira, eucalipto e álamo, e cimento. Adição de cloreto de cálcio (CaCl_2) no cimento	Os painéis feitos com lã de madeira de álamo e tinham propriedades superiores em comparação com os de eucalipto e álamo misturadas. A presença de eucalipto na mistura resultou em diminuição das propriedades mecânicas. A adição de 5% de CaCl_2 em peso de cimento melhorou suas propriedades.
Gauvin, F. et al (2018)	Effect of the morphology and pore structure of porous building materials on photocatalytic oxidation of air pollutants	WWCB comercial e concreto aerado autoclavado (AAC)	A superfície áspera e estrutura porosa dos dois materiais os tornam escolhas promissoras para a foto catalização do óxido nítrico (NO), em condições internas, ambos podem degradar até 99% de NO, fazendo com que haja um melhor fluxo de ar, evitando a liberação de NO_2 na atmosfera.
Botterman, B., et al (2018)	Modelling and optimization of the sound absorption of wood-wool cement boards	WWCB com variações de densidade, espessura e largura da lã	Os painéis possuem potencial para serem empregados em aplicações que demandam uma eficiente redução do ruído. O aumento da até certo ponto da densidade aumenta a absorção sonora em até 44%. O uso de multicamadas com densidade escalonada mostra uma melhoria na absorção sonora dos painéis.
Caprai, V. et al (2019)	MSWI bottom ash as binder replacement in wood cement composites	Adição de resíduos de incineração de resíduos sólidos urbanos (MSWI), como aglutinante no WWCB	Devido a estrutura porosa deste resíduo, ele é adequado quando adicionado ao aglutinante para melhorar as propriedades de isolamento de compósitos de madeira. Houve melhoria nas propriedades mecânicas quando usado até 30% do resíduo.

Fonte: Adaptado de Scopus (2024).

De forma geral, ao afunilar a pesquisa para o uso de lã de madeira na confecção dos painéis cimento-madeira (Quadro 4), observou-se que os trabalhos com maior número de citações são justamente aqueles que buscam a investigação da melhoria do WWCB padrão, através de espécies menos utilizadas, novos aglutinantes com a finalidade de substituir o uso do cimento, tornando o produto final mais sustentável, assim como o uso de diferentes resíduos para formar o painel. Foi verificado a multidisciplinaridade presente nos artigos, devido a necessidade de recorrer a diversas áreas do conhecimento para desenvolver e investigar diferentes materiais e suas variáveis, além da recorrência de pesquisas mais atuais na área de painéis a base de lã de madeira e cimento.

Cada vez mais se torna frequente a preocupação quanto a qualidade, preço e sustentabilidade dos produtos disponíveis no mercado e, levando em consideração uma provável futura escassez no fornecimento de madeira devido aos elevados volumes de produção (Klímek *et al.*, 2018), se torna muito necessário a pesquisa acerca de outros tipos de recursos lignocelulósicos, resíduos agroindustriais e materiais eco-friendly para geração de aglutinantes não tão prejudiciais quanto o cimento.

5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 PRODUTOS ENGENHEIRADOS DE MADEIRA

A crescente atenção global à mudança do clima tem impulsionado a busca por alternativas mais sustentáveis na construção civil, e a madeira tem se destacado nesse cenário (Aprilanti, 2019). Como um material natural renovável, a madeira apresenta um potencial significativo para reduzir os impactos ambientais associados à construção, principalmente devido à sua capacidade de sequestrar e armazenar dióxido de carbono (CO_2) (D'Amico; Pomponi; Hart, 2021), o principal gás de efeito estufa.

Dentre os diversos produtos de madeira disponíveis no mercado, a madeira engenheirada, ou painéis de madeira, tem se mostrado particularmente promissora para aplicações em projetos de edificações. Sua versatilidade permite uma ampla gama de utilizações, desde estruturas e fechamentos até revestimentos, atendendo às demandas da indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) (Caldas, 2021). A Figura 6 ilustra diversas aplicações deste produto na parte da construção civil.

Figura 6 - Exemplos de produtos engenheirados de madeira



Fontes: ArchDaily Brasil (2025); Polybett (2024); WasteNotCambodia (2012).

De acordo com Caldas *et al.* (2021), a utilização da madeira engenheirada na construção civil representa um avanço significativo em direção a práticas mais sustentáveis, aliando desempenho, versatilidade e responsabilidade ambiental.

Estudos indicam que o setor AEC é responsável por aproximadamente 37% do consumo global de energia e 40% das emissões de CO₂, considerando a produção dos materiais utilizados na construção (UNEP, 2024). Diante desse cenário, a busca por materiais de construção mais sustentáveis, torna-se cada vez mais urgente.

A madeira engenheirada passa por um processo industrial que aprimora suas características, melhorando seu desempenho possibilitando sua aplicação em projetos estruturais complexos (Rovaris, 2019). Essa tecnologia permite o uso de espécies de madeira de menor porte e de rápido crescimento, além de otimizar o aproveitamento da matéria-prima, contribuindo para a sustentabilidade da cadeia produtiva (Aprilanti, 2019).

A madeira engenheirada, ou painel de madeira, abrange uma variedade de produtos, cada um com características e aplicações específicas (Campos, 2024). Sendo os exemplos mais conhecidos de produtos engenheirados de madeira:

- a) Madeira Lamelada Colada (MLC);
- b) Madeira Lamelada Cruzada (CLT);
- c) Madeira Laminada folheada (LVL);
- d) Compensado;
- e) Painéis de madeira reconstituída:
 - a. Painel de Partículas (MDP);
 - b. Painel de Fibras de Média Densidade (MDF);
 - c. Painel de Fibras Orientadas (OSB).
- f) Painéis compósitos:
 - a. Painel cimento-madeira;
 - i. Wood Wool Cement Board (WWCB).
 - b. Plástico madeira (WPC);

Segundo Campos (2024), a madeira engenheirada demonstra sua adaptabilidade ao ser combinada com diferentes materiais, expandindo suas possibilidades de aplicação. A combinação com cimento, por exemplo, resulta em compósitos com propriedades específicas, como maior resistência à umidade e ao

fogo. A mistura com plástico, por sua vez, pode gerar materiais inovadores com características únicas, como maior leveza e durabilidade.

Os painéis de madeira se diferem quanto a sua formulação, podendo ser constituídos de fibras, partículas, lascas e entre outros, misturados com diversos agentes aglutinantes que fazem a ligação entre estes materiais. Tendo isso em vista, o Quadro 5 traz informações sobre os diferentes formatos que a madeira pode ser utilizada para confecção dos painéis.

Quadro 5 - Painéis de madeira e seus fragmentos de madeira utilizados

MDP	MDF	OSB	WWCB
			
Partículas ^a	Fibras ^b	Lascas ^c (strands)	Lã ^d

Fontes: ^a: AliExpress (2024); ^b: AmazonSat (2013); ^c:Vecteezy (2024); ^d:SisalSul (2024)

Por tanto, a partir do processamento da madeira, é possível obter partículas de diversos tamanhos e formatos, que são adequadas para a fabricação de painéis distintos, cada um com suas aplicações específicas e funcionalidades, onde o conhecimento da matéria prima disponível e o tipo de painel a ser confeccionado, é de extrema importância para a escolha do tipo de partícula a ser utilizada (Rovaris, 2019; Campos, 2024).

5.1.1 Propriedades mecânicas

O emprego de produtos engenheirados de madeira representa uma estratégia eficaz na busca de construções mais eficientes e sustentáveis, pois contribui para a redução do uso de matérias-primas não renováveis (Martinho, 2017; Bederina *et al.*, 2009). Painéis de madeira são atrativos em comparação a outros materiais de origem não sustentável, pois utilizam uma matéria-prima renovável e possuem propriedades desejáveis, dentre essas características, destacam-se suas boas propriedades de isolamento termoacústico e mecânicas (Campos, 2024).

As propriedades mecânicas dos painéis de madeira variam conforme o tipo e a finalidade do produto, que pode ser estrutural ou não estrutural. Inúmeros fatores contribuem para a resistência mecânica, mas a densidade da madeira é uma das variáveis mais cruciais no processo de produção (Moslemi; Pfister, 1987). Curiosamente, madeiras mais leves podem resultar em painéis com maior resistência para uma mesma densidade final, embora isso possa gerar custos mais elevados de transporte e armazenamento da matéria-prima (Hillig; Haselein; Santini, 2002).

Moslemi e Pfister (1987) constaram que, para painéis de densidade equivalente, aqueles produzidos a partir de espécies de baixa densidade geralmente exibiram maior resistência à flexão e à tração, um módulo de elasticidade superior e melhor ligação interna do que os painéis derivados de espécies de alta densidade. Portanto, a seleção do tipo de madeira deve ser diretamente correlacionada ao uso final do produto.

Além da seleção da madeira, a escolha do aglomerante é de extrema importância, pois adesivos distintos conferem propriedades variadas ao produto final, como maior ou menor resistência mecânica e durabilidade em ambientes úmidos (Hillig; Haselein; Santini, 2002).

Portanto, a resistência mecânica dos painéis é influenciada por uma variedade de fatores. No caso específico dos painéis cimento-madeira, é notável que o produto final sintetiza as vantagens de seus componentes (Bertolini, 2009; Sposito, 2024). Ele herda do cimento a incombustibilidade, a resistência à umidade e a proteção contra ataques biológicos, enquanto a madeira contribui com a resistência à tração e a redução de fissuras. Essa combinação resulta em um material de alto valor agregado e com propriedades aprimoradas.

5.2 MADEIRA

A madeira, material abundante na natureza, tem sido utilizada pela humanidade desde tempos remotos em diversas aplicações (Lourenço; Branco, 2012). Este material de origem orgânica e renovável, destaca-se por sua resistência e versatilidade, com ampla aplicação em diversos setores, como construção civil, indústria moveleira e produção de papel e celulose.

Nos compósitos à base de cimento e madeira, a madeira atua como reforço, contribuindo para melhorar a resistência à flexão e o isolamento térmico e acústico do material. A matriz cimentícia, por sua vez, garante a coesão do material e a resistência à compressão. A adição de aditivos específicos visa otimizar a interface entre a madeira e o cimento, superando as incompatibilidades químicas e melhorando as propriedades do compósito (Bertolini, 2009).

A incorporação de sais como o cloreto de cálcio, cloreto de magnésio, silicato de sódio e silicato de potássio, agem como aditivos químicos e o cloreto de cálcio é o mais utilizado, onde na mistura do concreto visa acelerar o processo de endurecimento do cimento, reduzindo o tempo de pega e cura, onde estudos sugerem que a dosagem ideal de cloreto de cálcio varia entre 3% e 5% em relação à massa do cimento (Iwakiri *et al.*, 2012).

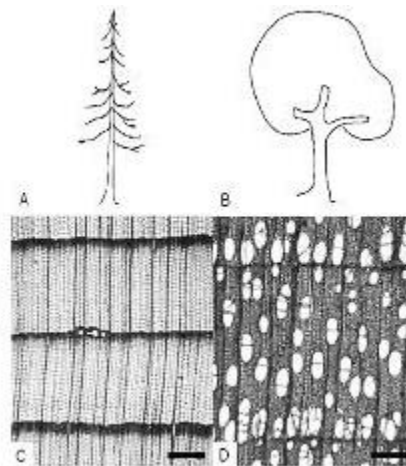
A composição química da madeira exerce influência significativa no processo de cura do cimento em compósitos de cimento e madeira (Latorraca; Iwakiri; Lelis, 1999), a presença de substâncias como taninos, açúcares e outros extrativos na madeira pode afetar tanto a interação entre a madeira e o cimento, quanto as interações internas do próprio cimento, o que resulta na queda da qualidade do compósito (Biblis; Lo, 1968). A concentração desses compostos varia em função da espécie da madeira, da posição da amostra no tronco (cerne ou alburno) e do tempo de armazenamento do material (Hofstrand; Moslemi; Garcia, 1984). O cerne, por exemplo, exibe uma maior concentração de extrativos, o que resulta em uma maior inibição da pega do cimento (Semple; Evans; Cunningham, 2000; Iwakiri *et al.*, 2012).

A escolha da espécie da madeira é fundamental para o sucesso da produção de compósitos madeira-cimento. Madeiras de folhosas, como o *Eucalyptus*, podem apresentar restrições devido à presença de substâncias inibidoras, como o alto teor de polióis e fenóis, que podem comprometer a adesão entre a madeira e o cimento, dificultando o processo de cura do compósito (Beraldo; Carvalho, 2004).

Nesse sentido, madeiras de coníferas, como o *Pinus*, que geralmente apresentam menor teor de extrativos, são mais indicadas para a produção desses compósitos, a microestrutura da madeira, especialmente em espécies de baixa densidade, como o *Pinus*, é eficaz na absorção acústica de frequências médias e altas.

A existência de características intrínsecas da madeira que favorecem o isolamento acústico é explicada pela sua estrutura celular (Bucur, 2006). A estrutura celular porosa da madeira (Figura 7) atua no controle do som e favorece as propriedades acústicas da madeira.

Figura 7 - A) Representação esquemática de uma madeira de conífera; B) Representação esquemática de uma madeira de folhosa; C) Micrografia da conífera; D) Micrografia da folhosa. Escala de 300µm.



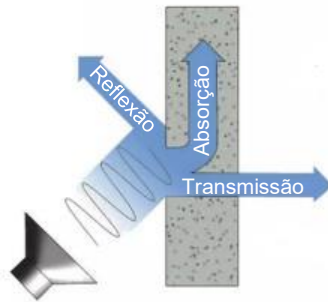
Fonte: Ross *et al.* (2010).

Essa estrutura anatômica da madeira, caracterizada por sua composição de células alongadas como traqueídes, fibras e vasos, forma uma rede tridimensional de microcavidades e poros interconectados, isso confere à madeira propriedades acústicas notáveis, as quais são interessantes para o desenvolvimento de materiais que vão ser utilizados em ambientes que requerem um conforto acústico melhorado (Schweingruber *et al.*, 2020).

5.2.1 Propriedades acústicas

As propriedades acústicas de um material descrevem como ele interage com as ondas sonoras que se propagam através dele pela vibração ou movimento elástico do retículo cristalino (Auld, 1973). Essas interações são avaliadas a partir da absorção sonora, isolamento acústico, reflexão sonora e transmissão sonora (Figura 8), sendo que o isolamento acústico ocorre quando há uma diminuição na transmissão do som através do material.

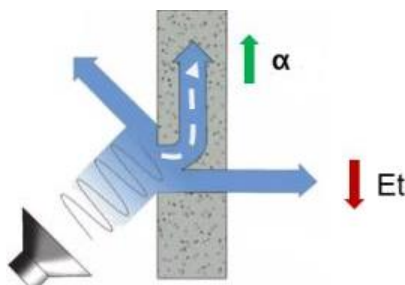
Figura 8 – Representação esquemática da reflexão, absorção e transmissão do som através de um meio material



Fonte: Adaptado de Portal Acústica (2016)

Na madeira, a absorção de energia sonora (α), acontece quando as ondas sonoras incidem sobre a superfície e penetram seus poros. Ao se propagarem através dessa rede de microcanais, as ondas sonoras sofrem múltiplos atritos internos com as paredes celulares. Esse processo de atrito converte a energia acústica das ondas sonoras em energia térmica, dissipando-a sob a forma de calor. Consequentemente, a intensidade das ondas sonoras é reduzida, diminuindo a energia sonora que é transmitida através do material (E_t) (Figura 9) (Neto *et al.*, 2008; Ross, 2010).

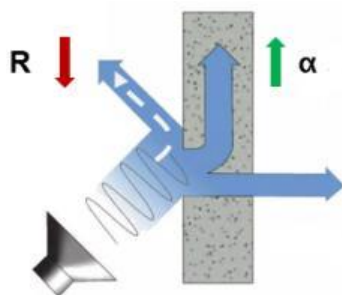
Figura 9 - Absorção sonora e conversão de energia



Fonte: Adaptado de Portal Acústica (2016)

A redução da reflexão sonora (R) (Figura 10) em uma superfície de madeira, em nível microscópico, ocorre devido as irregularidades e variações em sua estrutura celular. Essa superfície não uniforme promove a dispersão das ondas sonoras incidentes, em vez de sua reflexão direta (Ferreira, 2010). As ondas sonoras são espalhadas em diferentes direções, o que reduz a intensidade do som refletido e diminui a reverberação em ambientes fechados. A reverberação, definida como a persistência do som em um ambiente após a fonte sonora ser interrompida, é um fator importante na qualidade acústica de espaços como salas de concerto, auditórios e estúdios de gravação (Ribeiro, 2020).

Figura 10 - Redução da reflexão sonora com o aumento da absorção



Fonte: Adaptado de Portal Acústica (2016)

A combinação desses dois mecanismos, absorção e redução da reflexão sonora (Figura 10), confere à madeira um desempenho acústico significativo. No entanto, é importante ressaltar que a eficiência da madeira como material para isolamento acústico pode variar dependendo de diversos fatores, como a espécie da madeira, sua densidade, espessura, relação entre lenho inicial e tardio e quantidade de extrativos (Iwakiri *et al.*, 2012; Niemz; Teischinger; Sandberg, 2023).

O isolamento acústico se refere à capacidade de um material ou sistema de reduzir a transmissão de som de um ambiente para outro, minimizando o ruído que atravessa uma barreira. Já a absorção sonora diz respeito à capacidade de um material de converter a energia sonora em outras formas de energia, como calor, reduzindo as reflexões do som dentro de um mesmo ambiente e, assim, controlando a reverberação (Crocker, 1998; Pierce, 2019), a diferença entre os conceitos de absorção sonora e isolamento acústico é de extrema importância para a escolha do material que melhor se adequa ao espaço arquitetônico projetado.

Em um material de isolamento acústico, a densidade é o fator que exerce influência significativa sobre suas propriedades acústicas. Conforme Cox e d'Antonio (2016), em linha com os princípios estabelecidos por autores clássicos como Beranek e Mellow (1954) e Harris (1991), madeiras mais densas demonstram maior capacidade de isolamento acústico, uma vez que dificultam a propagação de ondas sonoras através de sua estrutura. Em contrapartida, essas madeiras exibem menor capacidade de absorção sonora, pois sua reduzida porosidade e menor capacidade vibratória limitam a dissipação da energia sonora incidente (Egan, 1988). Essa característica pode se tornar um fator limitante em ambientes que demandam controle de reverberação e eco, como salas de concerto e estúdios de gravação, onde a absorção é crucial para o condicionamento acústico (Ribeiro, 2020).

De acordo com Bucur (2006), a madeira maciça e certos compósitos à base de madeira são materiais acústicos viáveis devido à sua capacidade inerente de absorver uma proporção significativa do som incidente. A estrutura celular porosa da madeira confere ao material propriedades acústicas notáveis, atuando de duas formas principais no controle do som, a absorção e conversão de energia sonora e a redução da reflexão sonora.

Outra característica da madeira que a torna um material interessante para aplicações de isolamento acústico é a capacidade de amortecimento (*damping*), que se refere à capacidade de um material dissipar energia vibracional, quando um material é exposto a vibrações, parte da energia é absorvida e convertida em outras formas de energia, como calor (Boyer e Gall, 1985; Prasad, Shoba e Varma, 2015). Essa capacidade de dissipar energia vibracional é crucial para o isolamento acústico, pois reduz a transmissão de vibrações sonoras através do material.

Além de suas propriedades acústicas já discutidas, a madeira apresenta outra característica relevante para o conforto em ambientes construídos, o isolamento térmico. Essa propriedade, embora distinta do isolamento acústico, possui uma influência no desempenho acústico da madeira e dos compósitos à base de madeira (Bucur, 2006; Ross, 2010).

O isolamento térmico de um material refere-se à sua capacidade de resistir à transferência de calor através de sua estrutura. Materiais com bom isolamento térmico, como a madeira, dificultam a passagem de calor, contribuindo para temperaturas mais estáveis em ambientes internos (Lazzarin, 2021).

A baixa condutividade térmica da madeira (0,04–0,15 W/m·K) está ligada ao seu desempenho acústico, os poros retêm ar, que age como isolante térmico e acústico, esse processo é chamado de sinergia termoacústica (Ouakarrouch *et al.*, 2022) e relaciona porosidade, condutividade e absorção sonora. Além disso, em locais que utilizam sistemas de aquecimento ou resfriamento, a madeira pode auxiliar na redução da propagação de ruídos gerados por esses equipamentos. Ao isolar termicamente os ambientes, a madeira pode diminuir a necessidade de uso intenso desses sistemas, reduzindo a emissão de ruídos (Rindel, 2017).

Tendo isso em vista, o isolamento térmico é uma propriedade que pode influenciar direta ou indiretamente o isolamento acústico da madeira e de materiais a base de madeira. Ao considerar a espécie da madeira, a espessura e outros fatores relevantes, é possível otimizar o uso desse material orgânico e renovável para criar espaços mais confortáveis, eficientes e sustentáveis.

5.2.2 Densidade

A densidade é uma das propriedades físicas mais importantes da madeira, sendo parte da sua composição estrutural, influenciando na sua resistência e finalidade (Kollmann; Côte, 1968; Bowyer *et al.*, 2007; Desch; Dinwoodie, 2016). Vários fatores influenciam na densidade e na distribuição da densidade na madeira e de materiais à base de madeira (produtos engenheirados de madeira), fatores como a espécie da madeira, as condições de crescimento e localização, bem como a localização da árvore em uma floresta, o tipo de lenho, a localização anatômica na árvore da peça estudada e entre outros (Kollmann; Côte, 1968; Niemz; Teischinger; Sandberg, 2023).

Segundo a Organização Internacional de Normalização (ISO 717-1, 2020), há relação entre massa específica e desempenho acústico. A densidade da madeira varia conforme a espécie, sendo que essa propriedade influencia no bloqueio de ruído e isolamento, painéis mais densos possuem maior massa em sua estrutura, dificultando a transmissão de sons, segundo a lei da massa (Technicon Acoustics, 2023).

De acordo com Cox e d'Antonio (2016), a densidade exerce influência significativa sobre suas propriedades acústicas, onde madeiras mais densas apresentam maior capacidade de isolamento acústico, dificultando a propagação de

ondas sonoras, porém possuem menor capacidade de absorção sonora, pois sua menor porosidade e capacidade de vibração limitam a absorção de energia sonora. Essa característica pode ser um fator limitante em ambientes onde se busca controlar a reverberação e o eco, como salas de concerto e estúdios.

Os autores Botterman *et al.* (2018), estudaram os efeitos da densidade na modelagem e otimização da absorção e isolamento acústico em painéis de lã de madeira e cimento (WWCB) e verificaram que o aumento da densidade dos painéis em até certo ponto, aumenta a absorção sonora em até 44%, e o uso de multicamadas com densidade escalonada mostra também uma melhoria no isolamento acústico dos painéis.

A compreensão da relação entre a densidade e as propriedades acústicas da madeira e derivados, é fundamental para o projeto e a construção de ambientes acusticamente confortáveis e eficientes. Ao considerar as características específicas de cada tipo de madeira, é possível otimizar o uso desse material natural e renovável em diversas aplicações, contribuindo para a criação de espaços mais agradáveis e funcionais (Ribeiro *et al.*, 2021).

5.3 CIMENTO

A palavra "cimento" tem suas raízes na Roma Antiga, onde era utilizada para designar pedras naturais não lapidadas. John Smeaton, no século XVIII, foi pioneiro ao produzir um cimento de alta resistência através da calcinação de calcários e argilas. Seus trabalhos foram seguidos por Joseph Aspdin, que em 1824 patenteou o cimento Portland, um material que, após a hidratação, adquire propriedades semelhantes às rochas da ilha de Portland (Battagin, 2009).

A invenção do cimento Portland revolucionou a construção civil, proporcionando um material versátil e resistente para a construção de edificações e infraestruturas. Segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC, 2024), atualmente, o cimento é um dos materiais de construção mais utilizados no mundo, movimentando bilhões de dólares anualmente, sendo que a produção de cimento no Brasil alcançou 64,7 milhões de toneladas em 2024, um aumento de 3,9% em relação ao ano anterior.

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2009) classifica os cimentos Portland em diversas categorias, cada uma com características e aplicações

específicas. Cada categoria se diferencia devido as diferentes composições e suas propriedades, onde todo cimento Portland (CP) possui o clínquer como elemento principal e algumas adições, sendo que estas adições podem variar de acordo com o tipo de cimento.

A ABCP (2009) classifica os cimentos em diferentes tipos, sendo o CP II o mais versátil. O cimento CP I, serve como referência para a classificação dos demais tipos de cimento. Sendo eles:

- a) Cimento Portland Comum CP I e CP I-S (NBR 5732);
- b) Cimento Portland CP II (NBR 11578);
- c) Cimento Portland de alto forno CP III (Com escória - NBR 5735);
- d) Cimento Portland CP IV (Com pozolana - NBR 5736);
- e) Cimento Portland CP V - ARI (Alta resistência inicial - NBR 5733);
- f) Cimento Portland CP (RS) - (Resistente a sulfatos - NBR 5737);
- g) Cimento Portland de baixo calor de hidratação (BC - NBR 13116);
- h) Cimento Portland Branco (CPB) - (NBR 12989).

O CP II pode ser encontrado em três variações: CP II-E, CP II-Z e CP II-F, cada uma com adições específicas que conferem propriedades distintas ao material.

O cimento CP II-F é um dos tipos mais versáteis e amplamente utilizados no Brasil para diversas aplicações não estruturais e estruturais de menor porte. Conforme a ABNT NBR 16697 (2018), sua composição é caracterizada pela adição de material carbonático (filer) ao clínquer e gesso, geralmente em proporções que variam de 6% a 10% (Copafer, 2009). As principais características e aplicações do CP II-F incluem:

- a) Versatilidade: Adequado para uma ampla gama de usos, como argamassas de assentamento e revestimento, concretos convencionais, contrapisos, lajes e artefatos de cimento;
- b) Secagem rápida e resistências iniciais superiores: Comparado aos outros cimentos, o CP II-F tende a apresentar um desenvolvimento de resistência mais rápido, o que pode agilizar o andamento da obra (Copafer, 2009);

- c) Menor permeabilidade e boa trabalhabilidade: A adição de filer contribui para uma massa mais densa e com menor porosidade, resultando em menor permeabilidade.

A escolha do tipo de cimento empregado na produção de compósitos exerce influência direta sobre suas propriedades mecânicas. A composição química do cimento, em particular a proporção de seus constituintes, exerce um papel fundamental na reatividade, na resistência inicial e final, e na durabilidade do material (Carvalho, 2000).

5.4 COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS

Na literatura encontram-se variadas definições de compósitos que se complementam entre si. A ASTM D3878 (2020) conceitua os compósitos como materiais constituídos por pelo menos duas substâncias distintas, imiscíveis entre si, que ao serem combinadas, resultam em um material com propriedades únicas e superiores às dos componentes individuais.

Autores como Alencar (2019) e Callister e Rethwisch (2020), definem materiais compósitos como um material multifásico que exibe uma proporção significativa das propriedades de cada uma das fases que o constituem, resultando em uma combinação de propriedades aprimorada em relação aos seus componentes individuais. Essa combinação estratégica de materiais distintos, que permanecem identificáveis em escala macroscópica sem se difundirem ou se dissolverem completamente entre si, visa obter características específicas superiores que os materiais isoladamente não apresentam.

A União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC, 2019) apresenta uma definição mais abrangente, caracterizando compósitos como materiais multifásicos não gasosos, nos quais uma fase contínua, denominada matriz, engloba uma fase descontínua, constituída por partículas ou fibras. A interface entre essas fases desempenha um papel fundamental na determinação das propriedades mecânicas, físicas e químicas do compósito.

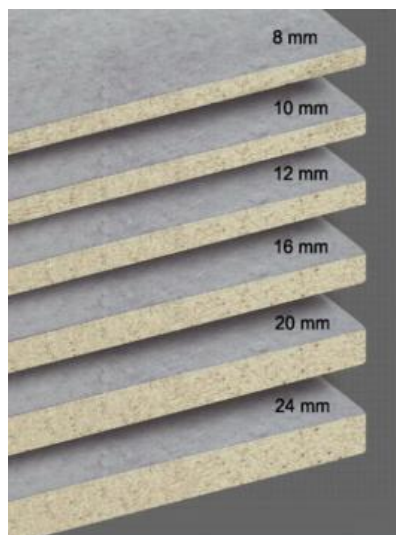
Nos compósitos cimentícios reforçados com materiais lignocelulósicos, a matriz é composta por cimento ou outro aglomerante, enquanto o reforço é

proveniente de materiais lignocelulósicos, como madeira ou bambu. A proporção entre a matriz e o reforço, bem como as características de cada componente, influencia significativamente as propriedades finais do material (Sais, 2015).

5.4.1 Painéis cimento-madeira

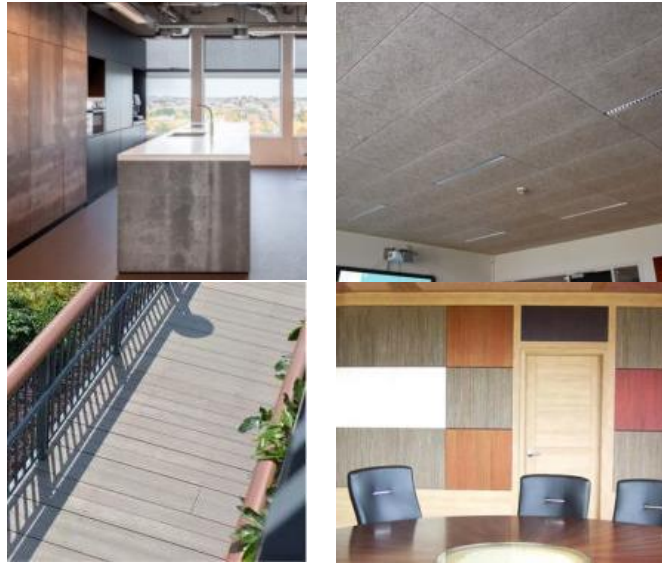
A combinação de cimento e madeira em painéis resulta em um material de boa trabalhabilidade com diversas vantagens, como menor densidade, maior resistência à tração, resistência biológica, menor tendência ao surgimento de fissuras e bom isolamento térmico e acústico, além de serem parcialmente incombustíveis (Pomarico, 2013; Sposito, 2024). A versatilidade desses painéis (Figura 11) permite sua utilização em diversas aplicações na construção civil, como revestimentos, painéis de isolamento e móveis (Figura 12), contribuindo para a construção de edificações mais sustentáveis e eficientes onde as características fazem desse painel uma opção promissora para o mercado brasileiro.

Figura 11 - Painéis cimento-madeira de variadas espessuras



Fonte: IndiaMart (2025).

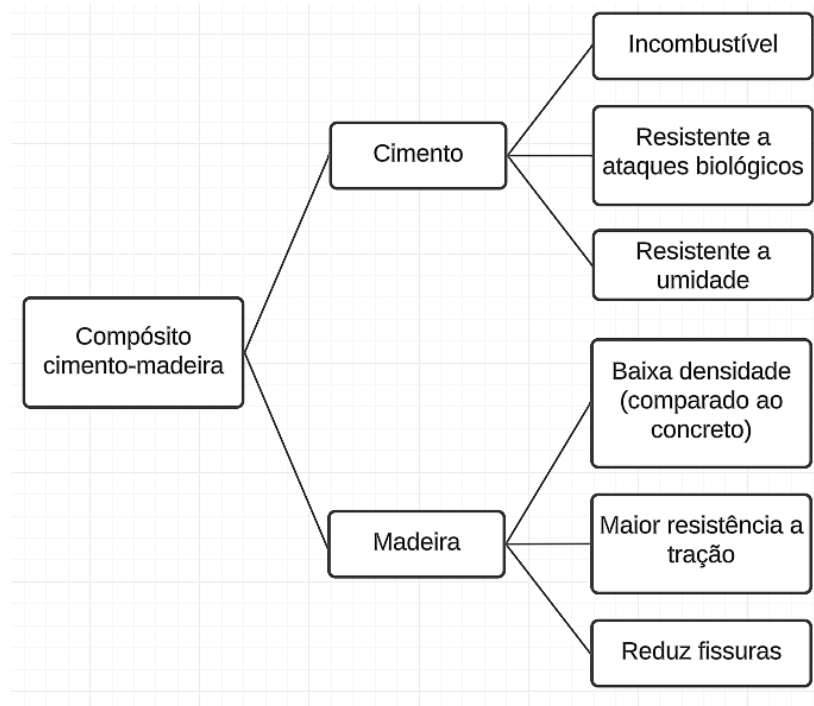
Figura 12 - Aplicações de painéis cimento-madeira em edificações



Fonte: InvestWood (2025); MadeInChina (2019); Alibaba (2015).

A produção de painéis cimento-madeira apresenta vantagens (Figura 13) em termos de linha de produção e custo do ligante, além da ausência da necessidade de aplicação de temperatura no processo de cura do cimento tornando a produção mais econômica e simplificada (Aras *et al.*, 2022).

Figura 13 - Vantagens do compósito cimento-madeira



Fonte: Adaptado de Bertolini, 2009; Sposito, 2024.

As propriedades mecânicas dos painéis de cimento-madeira são influenciadas por diversos fatores relacionados à madeira, como a densidade (Wang *et al.*, 2016; Sposito, 2024). A literatura reporta uma ampla variação nos resultados de resistência mecânica a tração desses painéis, com valores entre 3,9 MPa e 12 MPa, dependendo das características dos materiais e do processo de fabricação (Iwakiri *et al.*, 2017; Lilge; Haselein; Santini, 2021).

Todavia, também é importante discutir sobre a interação entre cimento e madeira. Um dos maiores desafios na fabricação de painéis de cimento-madeira é a compatibilidade entre a madeira e o cimento. A madeira contém extrativos solúveis em água que podem inibir a hidratação do cimento, comprometendo a pega (Dias *et al.*, 2022; Ruthes *et al.*, 2022; Peschard *et al.*, 2004). Os polissacarídeos presentes nesses extrativos são os principais responsáveis por esse efeito, pois interferem na formação do C-S-H (Sposito, 2024; Berger; Gauvin; Brouwers, 2020) um dos principais hidratos do cimento. A espécie de madeira e a sua idade são fatores determinantes na quantidade e tipo de extrativos presentes, influenciando diretamente a pega do cimento (Biblis; Lo, 1968; Govin; Peschard; Guyonnet, 2006; Herrera; Cloutier, 2008; Aras *et al.*, 2022).

Nesse contexto, os painéis cimento-madeira representam uma alternativa promissora para a construção civil, combinando as vantagens da madeira e do cimento em um material com propriedades únicas. Sua versatilidade e desempenho os tornam adequados para diversas aplicações, contribuindo para a construção de espaços mais eficientes e confortáveis.

5.5 WWCB

O desempenho acústico de um espaço influencia diretamente o conforto e a produtividade das pessoas, sendo fundamental em ambientes como salas de aula, escritórios e estúdios de gravação (Ribeiro *et al.*, 2021). Neste contexto, os painéis compósitos cimentícios com reforço lignocelulósico para fins de isolamento acústico *Wood-Wool Cement Board* (WWCB), apresentam-se como uma alternativa eficiente.

Compostos por lã de madeira entrelaçadas e unidas por um aglutinante cimentício, esses painéis possuem uma estrutura porosa que confere alta capacidade

de absorção sonora (Ribeiro *et al.*, 2021), além da possibilidade de ser comercializado em diferentes cores e formatos (Figura 14).

Figura 14 - WWCB colorido hexagonal comercial



Fonte: CAU/BR (2018).

A produção desses painéis remonta ao início do século XX. Inicialmente, esses painéis eram fabricados com lã de madeira e magnesita, resultando em produtos de baixa densidade (Irle; Barbu, 2010). Posteriormente, a magnesita foi substituída pelo cimento, ampliando as aplicações desses painéis para isolamento térmico e acústico. A partir da década de 1960, observou-se um avanço significativo na tecnologia com o desenvolvimento de painéis cimento-madeira de alta densidade. Esses novos painéis, produzidos com partículas de madeira menores oriundas de resíduos industriais, foram projetados para atender às demandas estruturais mais exigentes, pois apresentavam melhores propriedades físico-mecânicas (Moslemi; Pfister, 1987; Tittlein; Cloutier; Bissonnette, 2012; Cabral *et al.*, 2018).

A confecção desse painel (Figura 15) é realizada a partir do processamento de peças de madeira para gerar lãs de diferentes larguras, sendo estes menores ou iguais a 3,00 mm de largura. Depois desse processo, a lã de madeira é mergulhada em uma solução salinizada de baixa concentração, com a finalidade de estimular a ação do cimento. Na sequência a lã de madeira úmida é misturada ao cimento e prensada, após a cura do cimento, os painéis são retirados dos moldes e armazenados (Van Elten, 2006; Ribeiro *et al.*, 2021; Koh *et al.*, 2024).

Figura 15 - Planta de produção simplificada de WWCB

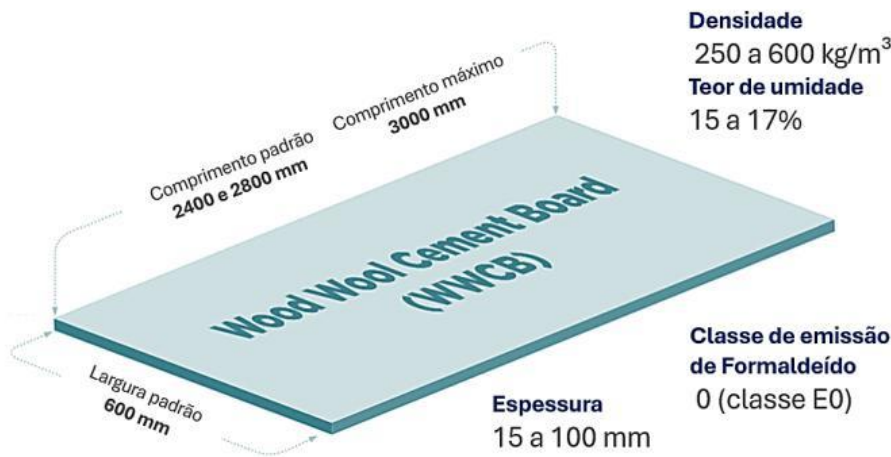


Fonte: Autoria própria (2024).

No cenário brasileiro, os painéis do tipo WWCB são comercialmente identificados sob as denominações de Placa de Madeira Mineralizada ou FiberWood. As principais empresas produtoras desse material no país são a Climatex e a Saint-Gobain. Atualmente, esses painéis encontram ampla aplicação em fachadas, telhados e coberturas externas.

As características técnicas do WWCB comercial estão representadas na Figura 16.

Figura 16 - Características técnicas: WWCB comercial



Fonte: Adaptado de NordEco (2012).

De acordo com os fabricantes, esses painéis apresentam um conjunto de vantagens que os tornam altamente atrativos para a construção civil, como a não suscetibilidade à decomposição e à infestação por microrganismos e insetos, conferindo-lhes elevada durabilidade, resistência à umidade e ao fogo, versatilidade e design e a sustentabilidade, devido ao menor consumo energético em seu processo produtivo e pela capacidade de armazenamento de carbono, alinhando-se aos princípios da construção sustentável. Essas características consolidam os painéis de madeira mineralizada, ou WWCB, como uma solução promissora para o mercado nacional (Zhou *et al.*, 2024; Ribeiro *et al.*, 2021; Pomarico, 2013).

A utilização de um painel composto de madeira é uma opção cada vez mais explorada e compete diretamente com materiais existentes no mercado que são produzidos a partir de matérias-primas não renováveis, como as espumas sintéticas. As espumas sintéticas são amplamente utilizadas em ambientes que requerem um bom desempenho acústico. No entanto, essas espumas não são produzidas a partir de fontes renováveis. Destaca-se ainda que produtos à base de madeira apresentam menor consumo energético em seu processo produtivo além de contribuir para o armazenamento de carbono, por ter como base matéria-prima renovável (Linkevičius; Žemaitis; Aleinikovas, 2023; Hossain; Poon, 2018).

6 MATERIAL E MÉTODO

A presente seção descreve os materiais e a metodologia utilizada para a produção e avaliação das propriedades dos painéis WWCB, incluindo a caracterização física, mecânica e acústica do compósito e os procedimentos experimentais. Destaca-se que as normas utilizadas para os testes físico-mecânicos foram as adotadas para painéis particulados à base de madeira devido a inexistência de documentos normativos para caracterização WWCB.

6.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Para produção da lâ de madeira e confecção dos painéis WWCB, os seguintes materiais foram utilizados:

- a) Peças de madeira de *Pinus* sp. $\approx$ 30 cm x 15 cm x 6 cm;
- b) Lã de *Pinus* sp. comercial *in natura*, de comprimento variado, largura de 2,5 mm a 3,5 mm e espessura de 0,2 mm a 0,4 mm;
- c) Pasta de cimento Portland CP II F;
- d) Água;
- e) Solução aquosa diluída de CaCl_2 .

A produção dos painéis foi realizada nos laboratórios do Instituto de Ciências e Engenharia (ICE – Unesp de Itapeva) e envolveu o uso de equipamentos como torno de bancada, serra seccionadora e prensa hidráulica, disponíveis no Laboratório de Materiais Compósitos e Lignocelulósicos (LaMCol) e no Laboratório de Usinagem e Automação (LUA). A caracterização físico-mecânica, como a densidade, resistência mecânica à flexão estática e ao arrancamento de parafuso dos painéis foi realizada com o auxílio de paquímetro, trena, balança semi-analítica e máquina de ensaios universal (EMIC), presente no laboratório de propriedades mecânicas da Unesp de Itapeva.

A análise da microestrutura dos painéis foi realizada por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), no laboratório de microscopia do campus,

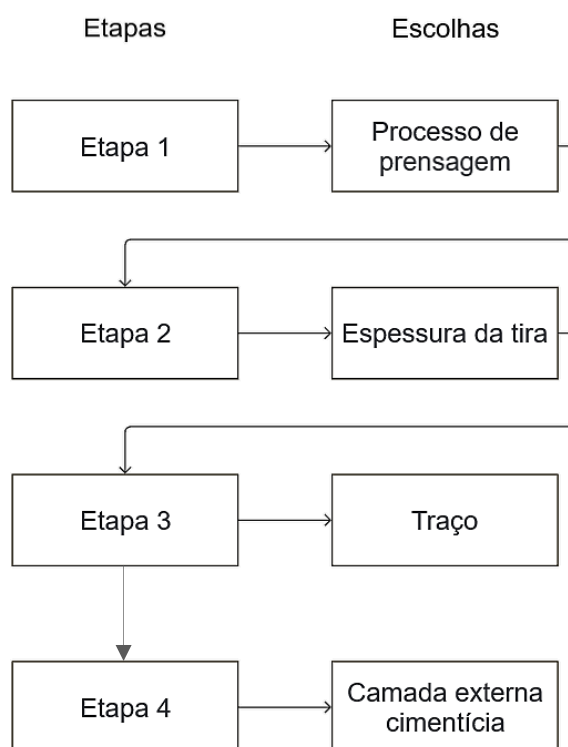
permitindo a visualização detalhada da interação entre os componentes e a identificação de vazios.

Para avaliar o desempenho acústico dos painéis, foram realizados ensaios em câmara reverberante produzida em laboratório, adaptada da norma ISO 10140-1 (2016), com dimensões internas de 180 x 120 x 150 cm, utilizando um decibelímetro e uma fonte sonora de 100 dB.

6.2 ETAPAS ENVOLVIDAS NA CONFECÇÃO DOS PAINÉIS

O presente trabalho dividiu as escolhas das melhores rotas de produção em quatro etapas diferentes. As etapas para a produção dos painéis WWCB estão indicadas no fluxograma apresentado na Figura 17.

Figura 17 - Etapas do processo produtivo em laboratório dos painéis WWCB.

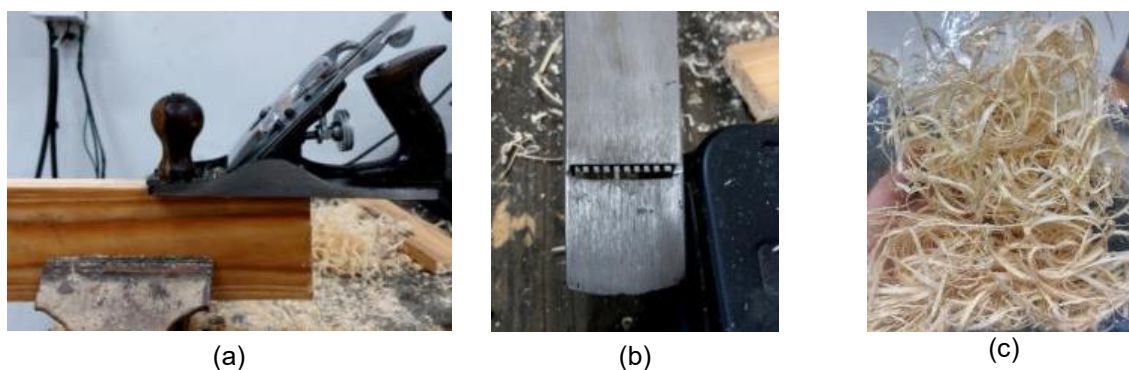


Fonte: Autoria própria (2025).

6.2.1 Produção da lã

Inicialmente, para a produção da lã de madeira, foram utilizadas tábuas umedecidas de *Pinus* sp. como matéria-prima, sendo essas fixadas em um torno de bancada para o uso da plaina manual adaptada (Figura 18a). A modificação feita na plaina manual (Figura 18b), consistiu na usinagem do objeto cortante com o objetivo de produzir lãs de espessuras e largura conhecidas e padronizadas, onde os dentes possuíam um espaçamento de 5 mm e produziram lãs de espessuras de até 0,5 mm e largura de 3,5 a 4,0 mm (Figura 18c).

Figura 18 - Produção das lãs de madeira: (a) Plaina manual adaptada sobre tábua de madeira apoiada no torno de bancada; (b) Faca da plaina manual modificada; (c) Lãs produzidas.



Fonte: Autoria própria (2024).

Devido à grande variabilidade observada nas lãs de madeira, além da dificuldade e lentidão deste processo manual, optou-se pela utilização de lã de madeira comercial *in natura* para evitar que a variação dimensional interferisse nas propriedades analisadas.

6.2.2 Produção dos painéis

A metodologia de fabricação dos painéis baseou-se em Elten (2006), La Grée, Yu e Brouwers (2014) e Ashori *et al.* (2011), com adaptações, onde buscou-se confeccionar painéis de espessura maior ou igual a 20 mm. A espessura do painel se justifica pela espessura desejável para painéis acústicos, por serem espessuras encontradas em espumas sintéticas e outros materiais disponíveis no mercado. Espessuras menores

que 20 mm não possuem um poder de absorção acústica significativo para eliminar a reverberação e, portanto, possuem reduzida capacidade de absorção sonora (Andrade *et al.*, 2018).

No presente estudo optou-se por dividir a fabricação em etapas onde sequencialmente, foram sendo escolhidas as condições que apresentaram melhor desempenho.

A 1ª. Etapa avaliou o processo de prensagem. A 2ª. Etapa avaliou a espessura das lâs de madeira. A 3ª. Etapa avaliou os traços a serem utilizados, ou seja, a quantidade de cimento, madeira e água com variações de densidades e espessuras dos painéis. Por fim, a 4ª. Etapa avaliou a viabilidade de acabamento dos painéis com camada externa cimentícia. As etapas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Etapas analisadas para a produção de WWCB.

Etapa	Análise	Opções
1	Processo de prensagem	Prensa hidráulica de acionamento automatizado de 50 bar ou prensa hidráulica manual de 10 bar
2	Espessura da lâ	0,2 mm ou 0,4 mm
3	Traço	I, II, III ou IV *
4	Camada externa cimentícia	Com adição ou sem

* Os traços estão detalhados nas seções seguintes.

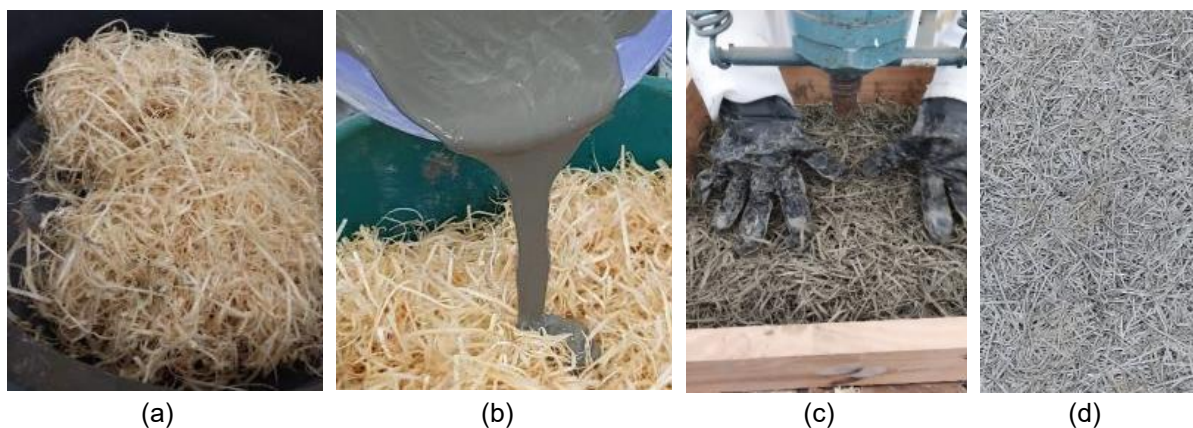
Fonte: Autoria própria (2025).

Para a produção dos painéis foi utilizada a lâ de *Pinus* sp. (Figura 19a) e pasta de cimento Portland CP II-F como agente aglutinante. A água foi utilizada na preparação do cimento para a mistura (Figura 19b), bem como na solução aquosa diluída de CaCl₂ (5% da massa de cimento), a qual foi pulverizada na lâ de madeira.

Após a lâ de madeira ser umedecida com uma solução salina de cloreto de cálcio, visando melhorar a adesão entre a madeira e o cimento, reduzir a ação de substâncias inibidoras da cura presentes na madeira e melhorar as propriedades mecânicas (Iwakiri *et al.*, 2016), a pasta de cimento Portland CP II foi adicionado e a mistura foi realizada manualmente, garantindo a distribuição do cimento sobre a lâ de madeira. Posteriormente, a mistura úmida de madeira e cimento foi colocada em moldes de dimensões de até 40x80 cm, para posterior prensagem (Figura 19c).

Por fim, após o processo de prensagem, os painéis foram retirados dos moldes (Figura 19d) e destinados a um período de cura de 28 dias e posterior acabamento.

Figura 19 - Produção do painel: (a) Lãs de madeira umedecidas; (b) Adição da pasta de cimento às lãs; (c) Modelagem da mistura na forma para prensagem; (d) Painel pronto.



Fonte: Autoria própria (2024).

Para os painéis estudados a pressão aplicada foi de 50 bar para prensa hidráulica automatizada e 10 bar para prensa hidráulica manual. Em ambos processos de prensagem o tempo foi de 12 horas sem aplicação de temperatura, segundo adaptações de Ashori *et al.* (2011). A aplicação de pressão controlada permitiu a compactação da mistura e a formação dos painéis com a espessura desejada.

Após a prensagem, os painéis foram cuidadosamente removidos dos moldes e submetidos a um período de cura de 28 dias. Esse período de cura é fundamental para garantir a hidratação adequada do cimento, evitar fissuras e irregularidades (Mehta; Monteiro, 2014), além da melhora nas propriedades mecânicas e de durabilidade dos painéis (Ashori *et al.*, 2011).

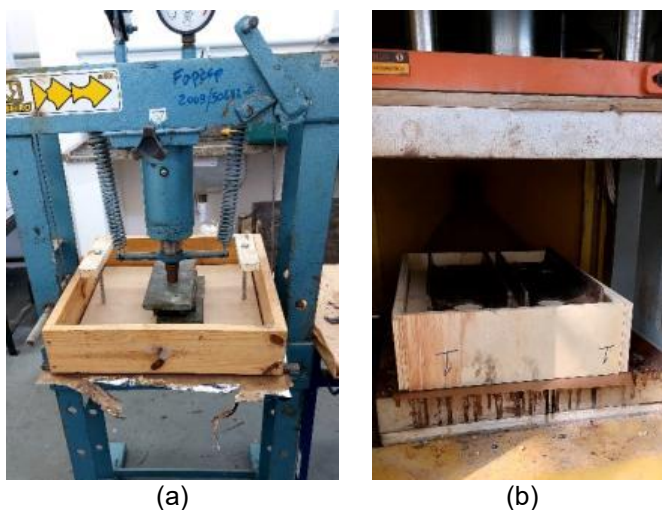
Após o período de cura, os painéis foram submetidos às etapas de caracterização de suas propriedades físicas, mecânicas e acústicas, conforme detalhado na seção 7.1 em diante.

A seguir estão apresentadas as 4 etapas do processo produtivo conforme indicado anteriormente na Tabela 1.

6.2.3 Primeira etapa: processo de prensagem

A primeira etapa da pesquisa consistiu na análise e seleção do processo de prensagem mais adequado para a produção dos painéis de cimento-madeira (WWCB). Para tanto, foram realizados testes comparativos utilizando duas prensas distintas: uma prensa hidráulica de acionamento automatizado e uma prensa hidráulica manual (Figura 20a e 20b). Os painéis produzidos em ambas as prensas foram submetidos a análises visuais, determinação de densidade e desempenho acústico, visando identificar o processo de prensagem que resultasse em painéis com melhores propriedades, para isso foi feita uma comparação entre painéis produzidos pela prensa hidráulica de acionamento automatizado e a prensa hidráulica manual, tendo como base o traço I.

Figura 20 – Prensas hidráulicas utilizadas para a fabricação dos painéis: a) manual; b) automatizada.



Fonte: Autoria própria (2024).

Após a análise dos resultados, optou-se pela utilização da prensa hidráulica automatizada em detrimento da prensa manual, pois os painéis produzidos nela apresentaram resultados mais promissores em todas as análises realizadas que serão detalhadas no item 7.1.

6.2.4 Segunda etapa: espessura da lâ

A segunda etapa das análises para a produção dos painéis consistiu na definição da espessura ideal da lâ de madeira para a confecção dos painéis de WWCB adotando também o traço I. Foram produzidos painéis com espessura de 20 mm e 40 cm de largura e até 80 cm comprimento, utilizando lâs de madeira de 0,2 mm de espessura ou 0,4 mm. Ambos os tipos de lâs apresentavam largura entre 2,5 mm e 3,5 mm, com comprimento variável.

A seleção da espessura ideal baseou-se na análise de diferentes parâmetros, como análise visual, densidade e desempenho acústico dos painéis produzidos. Os resultados obtidos demonstraram que a espessura das lâs influenciou significativamente as propriedades dos painéis WWCB, que serão detalhados no item 7.2.

6.2.5 Terceira etapa: traço

A terceira etapa da pesquisa consistiu na otimização do traço para a produção dos painéis. Para a definição do primeiro traço ideal foi realizado um comparativo entre os painéis compósitos com madeira de *Pinus* sp. produzidos neste trabalho e por outros autores (Tabela 2).

Tabela 2 - Comparativo das condições de produção de painéis cimento-madeira de *Pinus* sp.

Condições	Este trabalho	Ashori <i>et al.</i> , (2011)	Ruthes <i>et al.</i> , (2022)	Matoski e Iwakiri, (2007)	Comercial
Cimento	CP-II-F	CP-I	CP-II-E	CP-V-ARI	CP-V-ARI
Cimento: madeira: água	1:0,57:0,82*	1:0,4 a 0,60:0,80	1:0,21:0,6	1:0,25:variável	1:0,59:0,65
Aditivos	CaCl ₂ (5% m.c) **	CaCl ₂ (5% e 8% m.c)	-	CaCl ₂ (4% m.c)	CaCl ₂ (5% m.c)

*Referente ao traço I, adaptado de Ashori *et al.*, 2011

**m.c: massa de cimento

Fonte: autoria própria (2025).

Foram avaliadas diferentes composições para confecção dos painéis, a partir do traço adaptado dos autores Ashori *et al.* (2011), conforme detalhado na Tabela 3.

Tabela 3 - Traços analisados

Traço	Cimento (g)	Madeira (g)	Água ^a (ml)	Água ^b (ml)	CaCl ₂ (g)	Proporção cimento : madeira : água
I	450	256,5	369	202,5	22,5	1:0,57:0,82
II	600	256,5	369	202,5	30	1:0,43:0,62
III	768	256,5	476	202,5	38,4	1:0,33:0,62
IV	1536	512	952	400	76,8	1:0,33:0,62

^A: água utilizada para preparação do cimento; ^B: água utilizada para o umedecimento das lãs

Fonte: Autoria própria (2025).

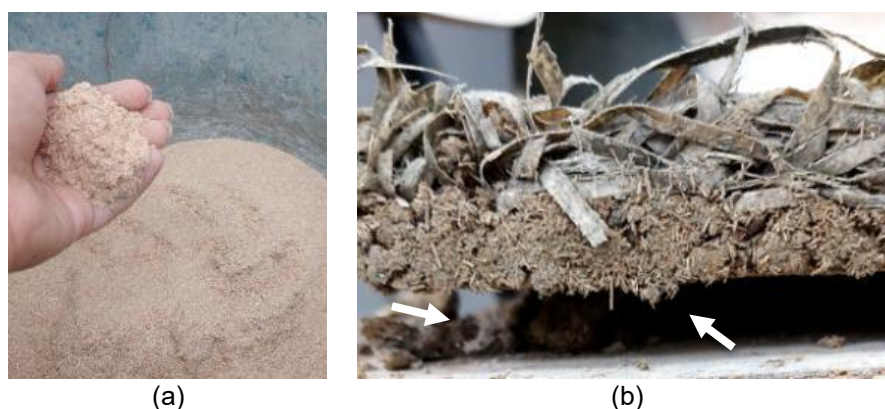
Nesta etapa foram produzidos painéis nas dimensões de 40 cm de largura, até 80 cm de comprimento e a espessura variou de 20 a 30 mm de acordo com a quantidade de material utilizado. A seleção do traço ideal baseou-se na análise de parâmetros como análise visual, densidade, resistência mecânica à flexão e ao arrancamento de parafuso e desempenho acústico dos painéis WWCB produzidos, que será detalhado no item 7.3.

6.2.6 Quarta etapa: camada externa cimentícia

Conforme proposto no projeto de pesquisa inicial, esta quarta etapa, buscou analisar a influência da adição de camadas cimentícias externas inferiores e superiores, nas propriedades dos painéis previamente fabricados. O intuito de adicionar camadas externas, fazendo com que o painel produzido de WWCB fosse o núcleo, foi justamente confeccionar um painel composto por mais de uma camada, a fim de melhorar o acabamento superficial e o isolamento acústico da composição através do aumento da densidade e uniformização da superfície inferior e superior do painel.

A proposta inicial previu utilizar compósito cimentício com partículas de madeira de *Pinus* de 35 *mesh* nas camadas externas do painel (Figura 21a), baseando-se no trabalho dos pesquisadores Argalis *et al.* (2024). Para isso os painéis WWCB do traço II foram utilizados. No entanto, não houve aderência entre a camada interna (WWCB) e externa (cimento + partículas) como ilustra a Figura 21b.

Figura 21 - Confeção de camada externa com partículas: a) partículas de madeira de *pinus* de 35 *mesh*; b) WWCB com camada externa cimentícia particulada não aderida indicada pelas setas brancas.



Fonte: autoria própria (2024).

Devido a não aderência da camada externa de cimento e partículas, optou-se pela utilização de uma nata de cimento aplicada em ambas as superfícies dos painéis WWCB confeccionados de todos os traços, como ilustra a Figura 22.

Figura 22 – Painel WWCB traço I confeccionado com camadas cimentícias externas



Fonte: autoria própria (2025).

A nata de cimento aplicada consistiu em uma mistura de 600 g de cimento e 370 g de água, aplicada de forma uniforme sobre as superfícies dos painéis WWCB. A aplicação da nata de cimento teve como objetivo principal promover o preenchimento de poros e irregularidades na superfície dos painéis, resultando em um acabamento mais liso e uniforme. Adicionalmente, esperava-se que a camada cimentícia externa contribuísse para o aumento da densidade dos painéis, o que poderia impactar positivamente outras propriedades, como a resistência mecânica e o isolamento acústico.

Após a aplicação da nata de cimento, os painéis foram submetidos a um novo período de cura, para garantir a adequada hidratação do cimento e a formação da ligação entre a camada cimentícia e o corpo do painel.

A análise dos resultados obtidos nesta etapa da pesquisa, presente no item 7.4, permitiu determinar se a adição de camadas cimentícias externas foi uma estratégia eficaz para aprimorar as propriedades dos painéis WWCB, ou se outros métodos ou materiais se mostram mais adequados para atingir os objetivos desejados.

6.2.7 Determinação das propriedades físico-mecânicas

6.2.7.1 Determinação de densidade

Para a determinação da densidade, foi adotada a norma ASTM D2395-17(2022), onde foram realizadas as medições de largura e comprimento, e quatro

medidas para a espessuras, por painel. Os valores médios obtidos foram utilizados na Equação 1.

$$d = \frac{m}{c.l.e} \quad (1)$$

Onde:

d = densidade aparente (kg/m³);

m = massa (kg);

c = comprimento (m);

l = largura (m);

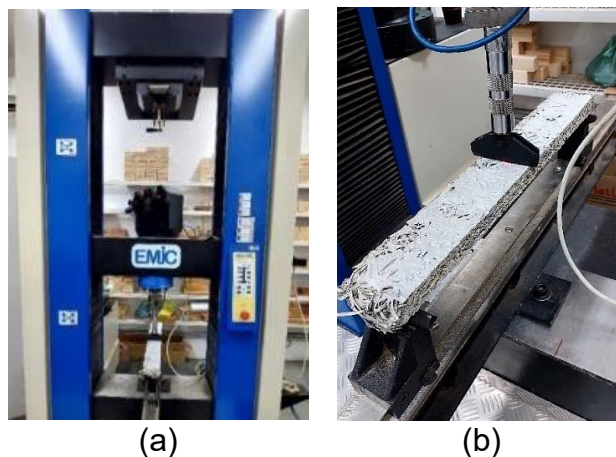
e = espessura (m);

6.2.7.2 Determinação da rigidez e resistência na flexão estática

O teste de flexão estática é importante para comprovar a viabilidade de aplicações em situações que demandem alguma resistência mecânica mínima do painel para a uso proposto.

Os testes mecânicos de determinação da rigidez e resistência na flexão estática foram realizados em máquina universal de ensaios (EMIC) (Figura 23a), pertencente ao Laboratório de Propriedades dos Materiais da Unesp de Itapeva. Os corpos de prova foram biapoiados em suportes cuja distância entre eles foi de 24 vezes a espessura nominal, e aplicou-se carga no centro das amostras (Figura 23b).

Figura 23 - Teste de resistência na flexão estática: (a) Máquina universal de ensaios EMIC; (b) Corpo de prova biapoiado para teste de flexão estática



Fonte: Autoria própria (2025).

Para determinação do módulo de elasticidade e do módulo de ruptura foi realizado teste de flexão estática, segundo a norma ASTM D-1037 (2020). Onde os corpos de prova testados possuíam comprimento igual a 24 vezes a sua espessura nominal, com adição de 50 mm, o que, no presente trabalho, representa 530 mm de comprimento e 75 mm de largura nominal, para os painéis de espessura igual a 20 mm e 770 mm de comprimento e 75 mm de largura nominal, para os painéis de espessura igual a 30 mm.

Os dados de carga e deslocamento, obtidos durante os ensaios, foram registrados e armazenados automaticamente por meio de um sistema de aquisição de dados computadorizado. Para este teste, todos os traços, com camada externa cimentícia, foram utilizados.

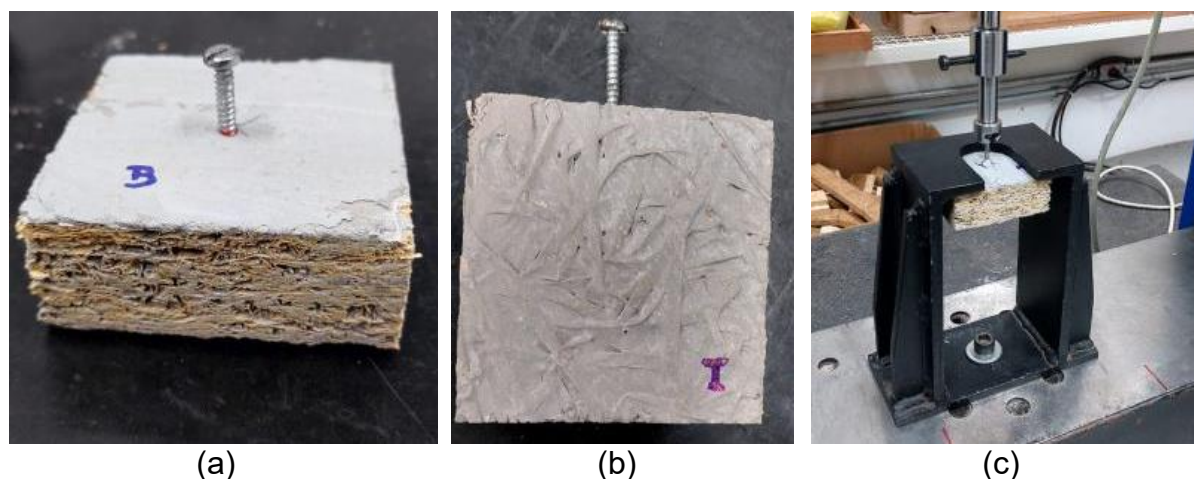
Todas as amostras utilizadas para o teste de flexão estática foram efetuadas com camada externa de manta cimentícia, devido a impossibilidade de realização desse teste em amostras sem a CE. Vale destacar que as bordas mais frágeis dos painéis resultaram no aumento das dificuldades na usinagem, onde a CE trouxe melhora na resistência dessas bordas.

6.2.7.3 Determinação da resistência ao arrancamento de parafuso

A determinação da resistência ao arrancamento de parafuso é importante para avaliar o desempenho do painel em situações de fixação em condições de uso como painel isolante. Os testes mecânicos foram realizados na máquina universal de ensaios (EMIC), pertencente ao Laboratório de Propriedades dos Materiais da Unesp de Itapeva.

Os corpos de prova de todos os traços foram recortados dos painéis WWCB, com camada externa cimentícia, em pedaços de 50 mm x 50 mm, seguindo a norma ABNT NBR 14810-2 (2013), e introduziu-se um parafuso no centro de todas as amostras, a uma profundidade de $(15,0 \pm 0,5)$ mm, para o arranque de parafuso na superfície (Figura 24a) e topo (Figura 24b). Após a inserção do parafuso nas amostras, os corpos de prova foram apoiados no suporte da máquina de ensaios (Figura 24c).

Figura 24 - Determinação da resistência ao arrancamento de parafuso: (a) Corpo de prova para arranque de superfície; (b) Corpo de prova para arranque de topo; (c) Corpo de prova na máquina de ensaios



Fonte: Autoria própria (2025).

Os dados de carga e deslocamento, obtidos durante os ensaios, foram registrados e armazenados automaticamente por meio de um sistema de aquisição de dados computadorizado.

Assim como para a análise na flexão estática, para os testes de arrancamento de parafuso (superfície e topo) todas as amostras utilizadas necessitaram de camada externa com manta cimentícia.

6.2.7.4 Desempenho acústico

A avaliação do desempenho acústico de materiais e componentes construtivos utiliza normativas internacionais, como a série ISO 10140-1 a 5 (2016) - Acústica - Medição laboratorial de isolamento acústico de elementos de construção. A norma brasileira ABNT NBR 10152 também oferece diretrizes para essa finalidade.

Essas normativas estabelecem os requisitos para a caracterização de elementos construtivos, detalhando a preparação, montagem, condições operacionais e de teste, onde estes estudos de desempenho acústico são realizados em câmaras reverberantes (Braglia *et al.*, 2018).

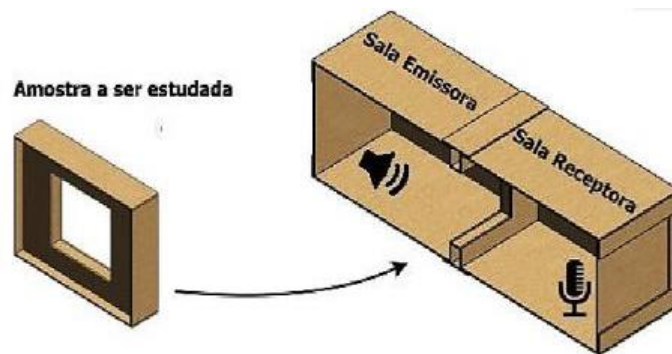
Contudo, a construção de uma câmara reverberante em escala real não foi possível durante a realização desta pesquisa, optou-se por realizar a metodologia

proposta por Guedes (2007), a partir da utilização de uma câmara reverberante em escala reduzida para a realização de ensaios em materiais absorventes e isolantes.

Sendo assim, para o teste de isolamento acústico, construiu-se uma câmara reverberante em escala reduzida e os testes foram conduzidos no Laboratório de Usinagem e Automação (LUA – Unesp Itapeva).

O painel confeccionado foi instalado entre duas câmaras, ambas com dimensões internas de 180 x 120 x 150 cm (comprimento x largura x espessura). Sendo uma câmara responsável por emitir e outra por receptor o som, conforme apresentado na Figura 25.

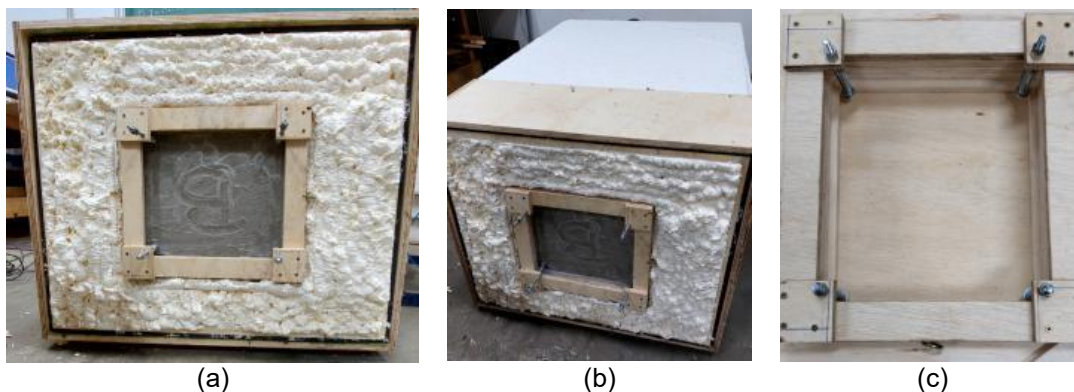
Figura 25 - Câmara Reverberante para teste de isolamento acústico



Fonte: Braglia *et al.*, (2018).

A câmara emissora construída (Figura 26a e b), foi confeccionada com compensado de *pinus* e seguiu o projeto dos autores Braglia *et al.* (2018), onde possuiu uma fonte sonora posicionada. O dispositivo utilizado para emissão de som foi uma caixa de som de computador com amplificador. A câmara receptora contou com um decibelímetro. A moldura (Figura 26c) a qual se inseria o painel a ser avaliado possuiu dimensões de 29 cm de altura por 26 cm de largura e ao seu redor aplicou-se uma espuma expansiva poliuretana, com a finalidade de diminuir as perdas.

Figura 26 - Câmara emissora construída: a) vista frontal; b) vista frontal e superior; c) moldura para encaixe do painel.



Fonte: autoria própria (2024).

Após a inserção do painel na moldura, a câmara receptora era encaixada na câmara emissora e fechada. Para realizar o teste de isolamento acústico, uma caixinha de som com amplificador foi posicionada na câmara emissora, gerando a transmissão de ruído rosa, que é um som constituído por todas frequências audíveis pelo ser humano (Assef, 2023).

As medições na câmara receptora foram realizadas em 3 pontos de altura diferentes. O tempo de medição de cada ponto foi superior a 30s, a fim de abranger as variações sonoras significativas no ambiente. Primeiro foi realizado a medição com o decibelímetro sobre a fonte sonora, na câmara emissora, depois foram testados os painéis de cada tratamento e o decibelímetro posicionado na câmara receptora, com a finalidade de comparar os resultados e descobrir a redução de ruído que cada painel proporcionou.

6.2.7.5 Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV)

A caracterização microestrutural das amostras de painéis compostos por lâs de madeira *Pinus* e cimento foi realizada por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Utilizou-se um microscópio eletrônico de varredura de baixo vácuo, modelo TM-4000Plus da marca Hitachi (Figura 27), instalado no Laboratório de Microscopia da Unesp - campus de Itapeva.

Figura 27 - MEV modelo HITACHI TM 4000 Plus



Fonte: autoria própria (2025).

Segundo Hellmeister (2017), o MEV opera através da interação de um feixe de elétrons, altamente focado em um pequeno diâmetro (5nm), com a superfície da amostra. Esse feixe é escaneado de forma sistemática sobre a área de interesse, permitindo a obtenção de imagens de alta resolução. As imagens foram geradas por elétrons retroespalhados, os quais fornecem informações sobre a composição química e topografia da superfície.

As amostras de lã de madeira foram analisadas sem qualquer tipo de tratamento ou preparação prévia, já as amostras dos painéis WWCB, com dimensões de 20 mm x 20 mm, foram analisadas após a adição de camada externa cimentícia e sem. A tensão de aceleração utilizada foi de 15 kV, e as imagens foram obtidas com aumentos de 30x, 100x, 200x, 500x e 1000x.

A escolha do MEV justifica-se pela sua capacidade de fornecer imagens de alta resolução, permitindo a visualização detalhada da microestrutura dos materiais. Além disso, o modo de imagem por elétrons retroespalhados é particularmente útil para a análise de materiais heterogêneos, como os compósitos de madeira e cimento, uma vez que permite diferenciar regiões com diferentes composições químicas (Hellmeister, 2017).

6.2.8 Análise dos dados

Para investigar o efeito da densidade do painel, do traço adotado e da adição de camada externa cimentícia sobre as propriedades acústicas e mecânicas dos painéis WWCB, foram realizadas análises estatísticas.

Para análise dos resultados, após a realização de todos os testes e coleta dos dados (média e desvio padrão), foi realizado um teste de hipótese através da utilização da Análise de Variância (ANOVA), com nível de significância de 5%, para testar a existência de diferenças significativas entre as médias. Assim, no caso de rejeição da hipótese nula, quando houve diferença significativa, foi necessário realizar o teste Tukey, com nível de significância de 5% para melhor análise das interações. Para a realização dessas análises utilizou-se o software Past versão 5.1.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

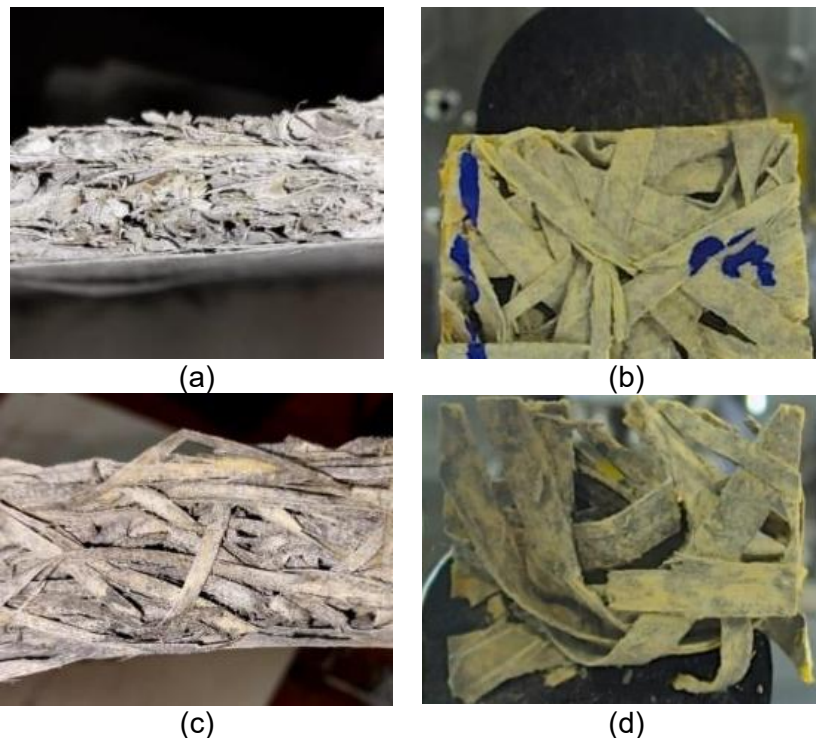
7.1 ETAPA 1: PROCESSO DE PRENSAGEM

Para a definição do melhor processo de prensagem a partir do traço I, optou-se pela realização de 3 análises simples, porém, importantes para definição da sequência do trabalho experimental. Foram realizadas análises visuais dos painéis, determinação da densidade aparente e isolamento acústico.

7.1.1 Análise visual e microscópica

As análises visuais e microscópicas indicaram uma melhor uniformidade na distribuição da madeira e do cimento nos painéis confeccionados na prensa hidráulica automatizada, resultando em uma superfície mais homogênea e com menor incidência de defeitos e irregularidades na espessura, conforme ilustram as Figuras 28 e 29.

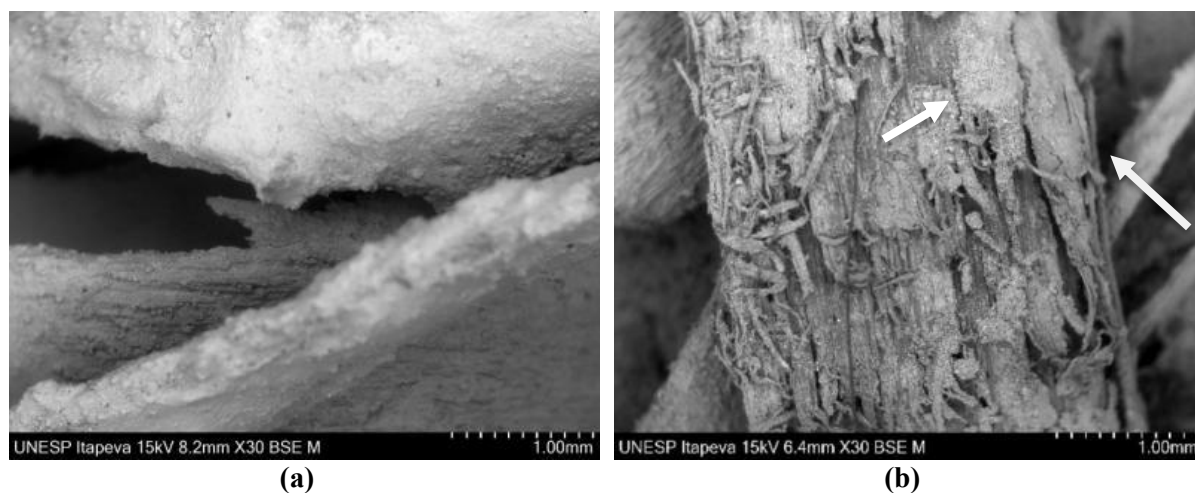
Figura 28 – Análise visual da superfície dos painéis: a) perfil lateral painel prensa automática; b) perfil superior painel prensa automática; c) perfil lateral painel prensa manual; d) perfil superior painel prensa manual.



Fonte: autoria própria (2024).

Figura 29 - Microscopia: a) painel prensa automática; b) painel prensa manual.

Ampliação de 30x



Fonte: autoria própria (2025).

As análises visuais e microscópicas realizadas revelaram disparidades significativas na microestrutura dos painéis prensados na prensa hidráulica automática e manual. Os painéis submetidos à prensagem hidráulica automática apresentaram uma distribuição mais homogênea do cimento nas lãs de madeira, resultando em uma superfície com menor incidência de vazios e irregularidades na espessura.

A Figura 28 ilustra a diferença nos perfis superiores e laterais dos painéis, evidenciando que o painel prensado na prensa manual exibiu maior espessura e maior quantidade de vazios. Essa característica comprometeu a integridade da superfície, resultando em uma fragilidade indesejada durante a preparação de corpos de prova de 2 cm x 2 cm para análise no MEV. A fragilidade resultou na desintegração dos corpos de prova, restando apenas fragmentos da estrutura original, conforme mostrado na Figura 28d.

Foi possível observar através da análise microscópica no MEV (Figura 29), diferenças na distribuição do cimento nas lãs de madeira. No painel prensado manualmente, observou-se acúmulo de cimento em regiões específicas, conforme indicado através das setas brancas na Figura 29, indicando uma distribuição não uniforme do aglomerante. Essa distribuição irregular comprometeu a compactação e, consequentemente, a resistência do material.

Em contraste, os painéis prensados no sistema hidráulico automatizado apresentaram uma distribuição mais uniforme do cimento, resultando em uma microestrutura mais coesa e fiel aos painéis disponíveis comercialmente (Van Elten, 2006) e, também, os painéis produzidos pelos autores Koh *et al* (2024). Essa homogeneidade na distribuição do cimento contribuiu para a maior resistência e integridade dos painéis prensados na prensa hidráulica automatizada, deixando-os menos quebradiços, conforme estudado anteriormente pelos autores Argalis *et al* (2024).

7.1.2 Densidade

As análises de densidade também demonstraram que a prensa hidráulica automatizada permitiu obter painéis com maior densidade e menor variação na distribuição da densidade ao longo do painel, conforme descrito na Tabela 4. Essa maior densidade e uniformidade são fatores importantes para garantir melhor resistência mecânica e melhor trabalhabilidade dos painéis.

Tabela 4 – Densidade, espessura média e desvio padrão dos painéis produzidos

Painel	Densidade (kg/m ³)	Espessura do painel (mm)
Prensa automática / Traço I	248 (0,0373)	20,37 (1,8604)
Prensa manual / Traço I	168 (0,0609)	30,11 (2,6863)

Fonte: autoria própria (2024).

A análise de variância (ANOVA) confirmou a influência significativa do processo de prensagem ($p < 0,05$) na densidade, com o teste de Tukey indicando que o painel prensado manualmente resultou em valores de densidade significativamente menores.

Valores similares para densidade foram encontrados pelos autores Arantes *et al.*, (2023) e pelo Council of Western State Foresters (CWSF, 2023), com variação de densidade entre 120 e 260 kg/m³, para painéis isolantes de baixa densidade

destinados a aplicações não estruturais prensados em sistema automatizado com maior pressão.

7.1.3 Isolamento acústico

A Tabela 5 descreve a atenuação sonora dos painéis comparados, ou seja, a diferença dos níveis de intensidade sonora entre a câmara emissora e a câmara receptora após inserção do painel na moldura.

Tabela 5 – Atenuação sonora e desvio padrão dos painéis produzidos

Painel	Fonte (dB)	Atenuação sonora (dB)
Prensa automática / Traço I	100	16,2 (0,2082)
Prensa manual / Traço I	100	13,3 (0,4726)

Fonte: autoria própria (2024).

Os testes acústicos revelaram que os painéis produzidos na prensa hidráulica automatizada apresentaram melhor desempenho em termos de isolamento acústico, pois obtiveram maior atenuação acústica, conforme descrito na Tabela 5. A estrutura mais compacta e uniforme dos painéis prensados automaticamente contribuiu para a redução da transmissão de ruído através do material.

A análise de variância (ANOVA) confirmou a influência significativa do processo de prensagem ($p < 0,05$) na redução de ruído, com o teste de Tukey indicando que o painel prensado manualmente resultou em valores de atenuação sonora significativamente menores.

A escolha da prensa hidráulica automatizada como método de prensagem para a produção dos painéis WWCB justifica-se, portanto, pelos resultados superiores obtidos em todas as análises realizadas, como observado em estudos realizados pelos autores Koh *et al* (2024). A prensa hidráulica automatizada permitiu obter painéis com melhor qualidade visual, maior densidade e uniformidade, e melhor desempenho acústico, demonstrando ser o método mais adequado para a produção de painéis WWCB com as propriedades desejadas.

Diante dos resultados obtidos nessa etapa, os melhores painéis foram produzidos na prensa hidráulica automatizada e possuíram 20 mm de espessura em média, 40 cm de largura e até 80 cm de comprimento.

7.2 ETAPA 2: ESPESSURA DAS LÃS

7.2.1 Análise visual

A análise visual revelou que os painéis produzidos com lãs de 0,2 mm (Figura 30a) de espessura apresentaram melhor acabamento superficial e maior uniformidade na distribuição da madeira e do cimento. Os painéis fabricados com lãs de 0,4 mm de espessura (Figura 30b), por sua vez, apresentaram menor compactação e maior fragilidade, com tendência à quebra.

Figura 30 - Painéis WWCB produzidos com: a) lãs de 0,2 mm de espessura; b) lãs de 0,4 mm de espessura.



Fonte: autoria própria (2024).

Ao analisar as superfícies dos painéis produzidos, a diferença foi nítida, o painel com lãs de 0,2 mm possuiu um aspecto visual mais homogêneo e parecido com os painéis do tipo WWCB disponíveis no mercado.

Os painéis produzidos com lãs de 0,4 mm de espessura apresentaram um aspecto quebradiço, essa característica comprometeu a integridade da superfície, resultando em uma fragilidade indesejada durante a tentativa da realização do corte dos corpos de prova para a análise no MEV. A fragilidade resultou na desintegração

dos corpos de prova, restando apenas fragmentos da estrutura original, não sendo possível realizar a análise microscópica destes painéis.

Estudos realizados por Ribeiro *et al* (2021) também indicaram bons resultados de painéis WWCB com lãs de menores espessuras.

7.2.2 Densidade

Os resultados obtidos nos testes para a determinação da densidade estão dispostos na Tabela 6.

Tabela 6 - Densidade, espessura média e desvio padrão dos painéis produzidos

Painel	Densidade (kg/m ³)	Espessura do painel (mm)
Lãs 0,2 mm / Traço I	248 (0,0373)	20,37 (1,8604)
Lãs 0,4 mm / Traço I	215 (0,0221)	21,19 (1,4937)

Fonte: autoria própria (2024).

A análise de variância (ANOVA) confirmou que não houve influência significativa da espessura das lãs na densidade ($p > 0,05$), indicando que o painel composto por lãs de 0,4 mm de espessura, resultou em valores de densidade similares ao painel composto por lãs de 0,2 mm de espessura. No entanto, o painel composto por lãs de 0,4 mm de espessura, ficou com aspecto quebradiço e frágil, fazendo com que não fosse possível realizar cortes para obter corpos de prova para outros testes, como análise microscópica e resistência na flexão estática.

Na literatura encontram-se valores similares para densidade de painéis isolantes destinados a aplicações não estruturais (CWSF, 2023; Arantes *et al.*, 2023).

7.2.3 Isolamento acústico

Os ensaios acústicos revelaram que os painéis fabricados com lãs de 0,2 mm de espessura apresentaram melhor desempenho em termos de isolamento acústico, devido a maior atenuação sonora. A estrutura mais compacta e uniforme dos painéis contribuiu para a redução da transmissão de ruído através do material, conforme indicado na Tabela 7.

Tabela 7 - Atenuação sonora média e desvio padrão dos painéis produzidos

Painel	Fonte (dB)	Atenuação sonora (dB)
Lãs 0,2 mm / Traço I	100	16,2 (0,2082)
Lãs 0,4 mm / Traço I	100	13,9 (0,4583)

Fonte: autoria própria (2024).

Através da análise de variância, utilizando o software Past, avaliou-se o efeito da espessura das lãs sobre a capacidade de atenuação sonora dos painéis. Os resultados indicaram que a espessura das lãs exerceu influência estatisticamente significativa sobre a atenuação sonora ($p < 0,05$), com o teste de Tukey indicando que o painel composto por lãs de 0,4 mm de espessura resultou em valores de isolamento acústico significativamente menores.

Os painéis produzidos com lãs de 0,2 mm de espessura obtiveram, em média, um melhor isolamento acústico comparado aos painéis com lãs de 0,4 mm de espessura, diante disso, a espessura de 0,2 mm foi considerada a mais adequada para a produção dos painéis WWCB. A utilização de lãs mais finas permitiu obter painéis com melhor acabamento e uniformidade, e melhor desempenho acústico, demonstrando ser a escolha mais apropriada para a produção de painéis com as propriedades desejadas.

Portanto, nessa etapa os melhores painéis foram produzidos na prensa hidráulica automatizada e confeccionados utilizando lãs de 0,2 mm de espessura, possuindo 20 mm de espessura em média, 40 cm de largura e até 80 cm de comprimento.

7.3 ETAPA 3: TRAÇO

Os traços a serem analisados foram anteriormente indicados na Tabela 3, onde variou-se a quantidade madeira, cimento e água.

7.3.1 Análise visual e microscópica

A análise visual dos painéis permitiu identificar o traço que resultou em melhor acabamento superficial e maior uniformidade. A presença de defeitos, como fissuras, relevos ou áreas com concentração desigual de materiais, foi considerada um critério. A superfície dos painéis produzidos de cada traço pode ser verificada na Figura 31.

Figura 31 - Painéis produzidos, da esquerda para direita, Traços I, II, III e IV

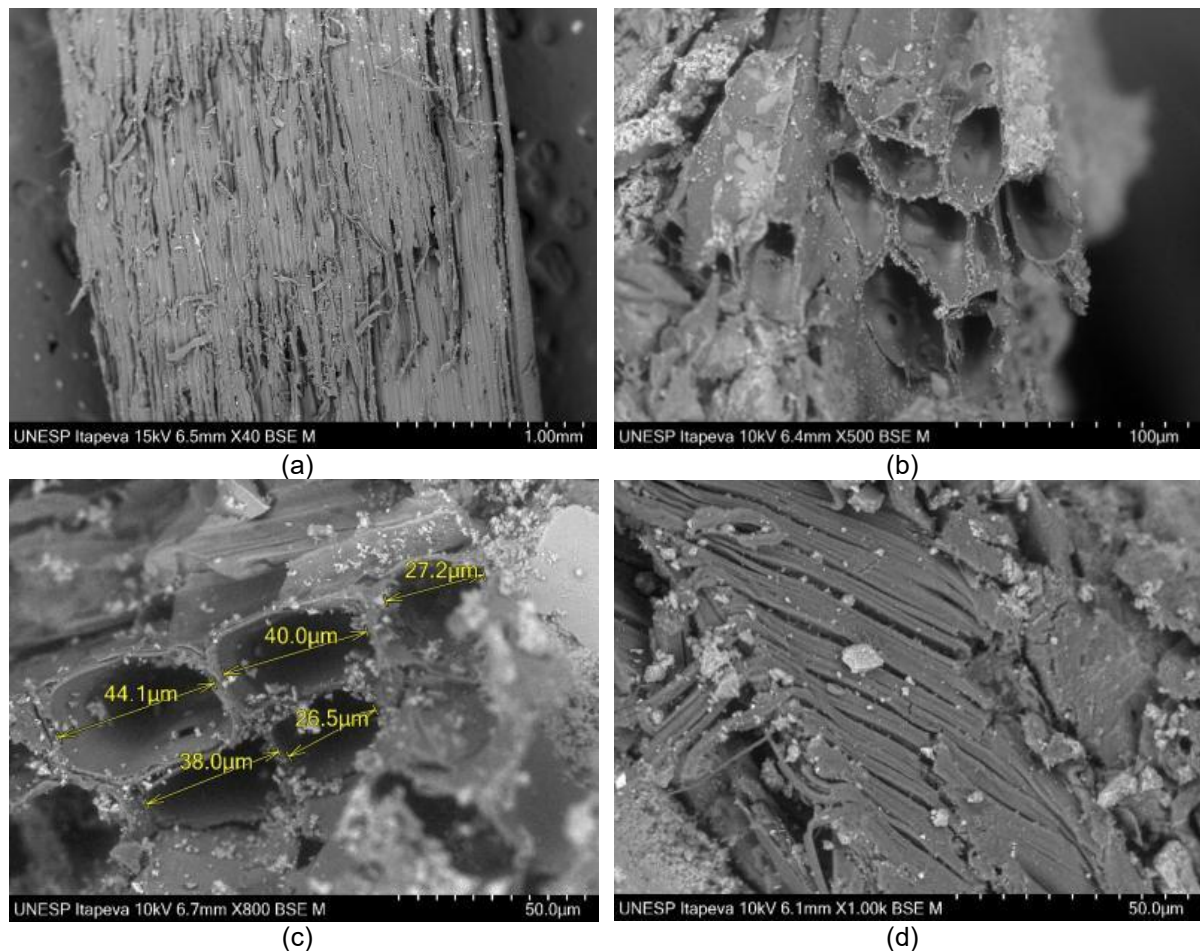


Fonte: autoria própria (2025).

Ao analisar o aspecto final dos painéis produzidos, foi possível observar a presença de vazios entre as lâs de madeira e a mesclagem do ligante, resultando em um painel poroso e leve, conforme o esperado e visualmente similar ao disponível no mercado internacional de painéis WWCB. Notou-se também, com a variação de densidade, a diferença na estrutura do perfil lateral de cada painel, onde nos painéis de menor densidade é possível visualizar mais vazios e menor adensamento do material.

A micrografia das lâs de madeira de *Pinus* sp. utilizadas em todos os traços confeccionados, pode ser vista na Figura 32. A Figura 32a ilustra a microestrutura de uma única lâ de madeira sem pré-tratamento, ou seja, sem a mineralização por CaCl_2 , com um aumento de 40x. A Figura 32b se refere a micrografia de uma lâ de madeira tratada e já misturada ao cimento, com um aumento de 500x. As Figuras 32c e 32d são imagens obtidas da mesma lâ, aumentando o zoom para 800x e 1000x.

Figura 32 – Micrografia da lã de madeira de *Pinus* sp.: (a) aumento de 40x; (b) aumento de 500x; (c) aumento de 800x; (d) aumento de 1000x

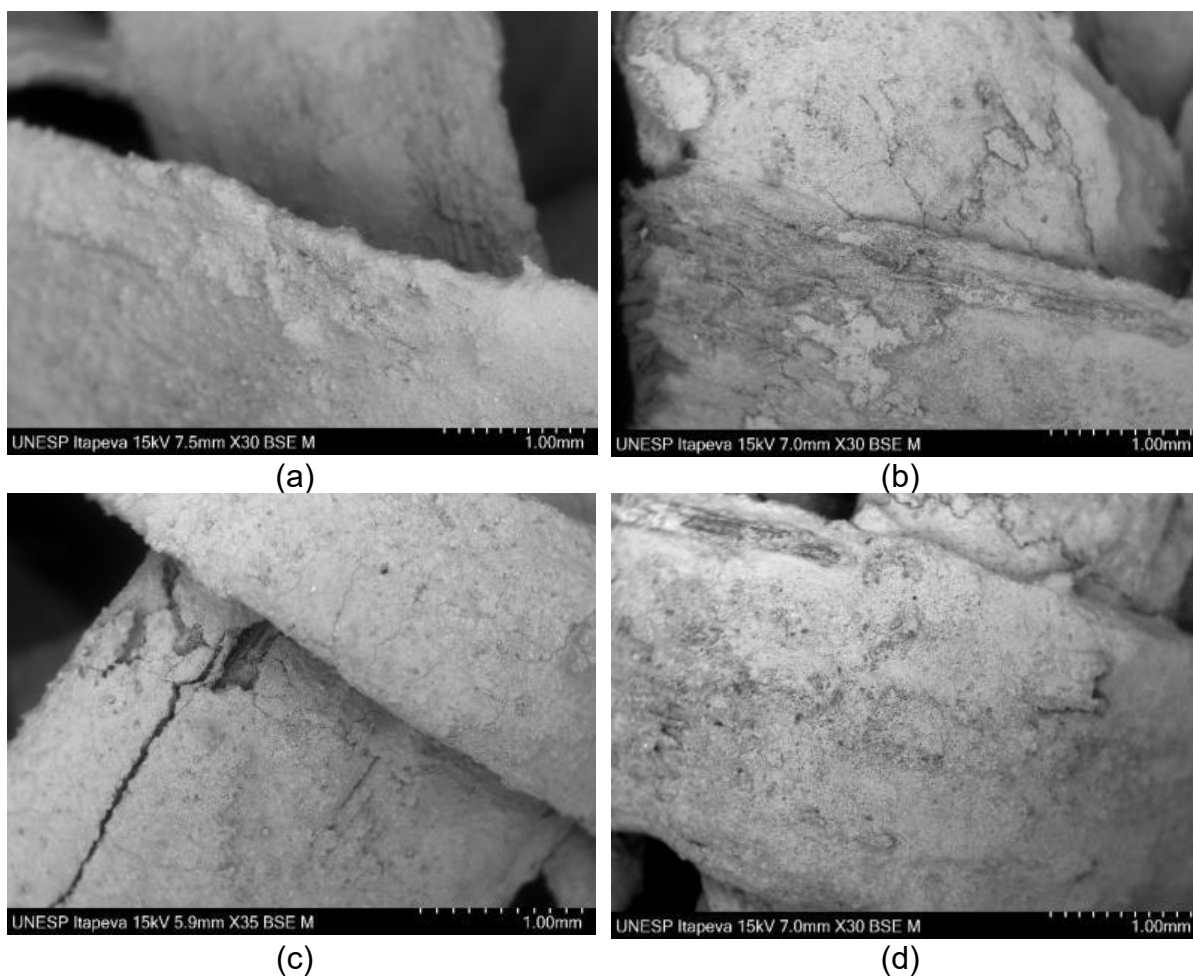


Fonte: Autoria própria (2025).

A partir das imagens obtidas, é possível observar a presença do cimento e dos cristais de CaCl_2 envolvendo a lã de madeira. Também é visível a existência de fibras e poros na estrutura anatômica das lãs, o que corrobora os conceitos estudados sobre a estrutura celular da madeira e como essa característica traz propriedades acústicas interessantes para esse material. A absorção e transformação da energia sonora ocorre justamente pela penetração das ondas nesses poros. Conforme as ondas sonoras se propagam através desses microcanais interconectados, elas sofrem atrito interno com as paredes das células. Esse processo de atrito converte a energia acústica em energia térmica, dissipando-a na forma de calor. Consequentemente, a intensidade das ondas sonoras é reduzida, resultando na diminuição da energia sonora transmitida através do material (Bucur, 2006; Neto *et al.*, 2008; Ross, 2010).

A micrografia dos painéis WWCB produzidos de todos os traços pode ser vista na Figura 33, o aumento utilizado foi de 30 e 35x, pois buscou-se verificar a distribuição do cimento nas lãs de madeira utilizadas em cada traço. Vale destacar que apenas para o tratamento 3 utilizou-se aumento de 35x para uma melhor visualização segundo indicações do técnico operador do equipamento.

Figura 33 – Micrografia WWCB: (a) Traço I aumento de 30x; (b) Traço II aumento de 30x; (c) Traço III aumento de 35x; (d) Traço IV aumento de 30x



Fonte: autoria própria (2025).

Ao analisar as imagens obtidas é possível observar que o cimento cobriu e uniu as lãs de madeira deixando-as mais rígidas, unidas e uniformes, também há presença de vazios entre as lãs. Observou-se uma maior área de contato entre as lãs dos painéis de maior densidade, o que resultou em um aspecto visual mais denso (menor presença de vazios), como observa-se na Figura 33d. Constatou-se através das micrografias que houve acúmulo de ligante que não foi distribuído uniformemente

nas lâs no traço II (Figura 33b), sendo possível observar que o cimento não cobriu toda a estrutura das lâs e as zonas de contato, há presença de uma maior quantidade de vazios nas amostras do traço II, o que justifica esse tratamento ter a menor densidade (Lilge; Haselein; Santini, 2021), conforme indicado no item 7.3.2.

7.3.2 Densidade

Os resultados obtidos no teste de densidade indicaram que diferentes composições de traço influenciaram a densidade dos painéis. Os valores obtidos para as densidades de cada traço estão dispostos na Tabela 8.

Tabela 8 – Densidade, desvio padrão e espessura média final do painel

Traço	Densidade (kg/m ³)	Espessura final do painel (mm)
I	248a (0,0373)	20,37 (1,8604)
II	137b (0,0175)	31,86 (4,2165)
III	268a (0,0104)	20,51 (0,0493)
IV	371c (0,0051)	30,31 (0,3059)

Nota: médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Fonte: autoria própria (2025).

A análise de variância (ANOVA) confirmou a influência significativa do traço utilizado na confecção dos painéis na densidade ($p < 0,05$), onde através do teste de Tukey, foi possível verificar que os traços I e III não apresentaram diferenças significativas entre as densidades, mesmo apresentando composições diferentes, contudo o traço II e IV apresentaram diferenças significativas nas densidades dos painéis produzidos, o que pode ser explicado pela composição utilizada.

A densidade dos painéis produzidos variou de 137 a 371 kg/m³, isto devido ao fato de que os traços possuíram diferenças em sua confecção e diferenças na espessura final do painel, conforme visto na Tabela 8, sendo o tratamento II o de menor densidade e o IV o mais denso. As divergências observadas na densidade dos

painéis devem ser atribuídas também à heterogeneidade inerente ao processo manual de mistura e moldagem dos painéis.

Na literatura há uma recomendação de valores para densidade de painéis cimento-madeira para fins acústicos, sendo este valor superior a 300 kg/m³ (Ashori *et al.*, 2011; Ribeiro *et al.*, 2021; Argalis *et al.*, 2024; Koh *et al.*, 2024), apesar de apenas o traço IV estar encaixado nesse padrão, optou-se por realizar o teste acústico em todos os traços para verificar se a proporção de madeira, em relação a quantidade de cimento, também exerceu uma influência tão importante quanto a densidade nesses casos.

O traço ideal foi selecionado com base na busca por painéis com menor variação na distribuição da densidade ao longo do painel, visando garantir a resistência mecânica e a durabilidade do material, bem como o seu desempenho no teste de isolamento acústico.

7.3.3 Isolamento acústico

Os ensaios acústicos avaliaram o desempenho dos painéis em termos de isolamento sonoro. Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 9.

Tabela 9 - Atenuação sonora média dos painéis de cada traço

Atenuação sonora	Fonte	Painéis			
		I	II	III	IV
Médias (dB)	100	16,2a	13,1b	16,7a	15,8a
Desvio padrão	0,6110	0,2082	0,3786	1,1015	1,9140
Coeficiente de Variação (%)	0,61	0,25	0,44	1,32	2,27

Nota: médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade

Fonte: autoria própria (2024).

A análise de variância (ANOVA) confirmou a influência significativa do traço utilizado na atenuação sonora dos painéis ($p < 0,05$), onde através do teste de Tukey, foi possível verificar que os traços I, III e IV não apresentaram diferenças significativas entre suas capacidades de isolamento acústico, mesmo apresentando composições

diferentes, contudo o traço II apresentou diferenças significativas nas atenuações sonoras registradas dos painéis produzidos, o que pode ser explicado pela sua menor densidade, além da composição utilizada.

Os painéis produzidos reduziram em até 16,7 dB do ruído emitido e, na literatura é possível encontrar reduções sonoras de 11,1 a 32,3 dB, para painéis cimento-madeira isolantes, dependendo da densidade e composição destes materiais (Criado *et al.*, 2024), o que demonstra que os painéis produzidos estão em uma faixa razoável, sendo indicado apenas para baixas solicitações acústicas.

O traço mais adequado para a produção do produto desejado foi selecionado com base na capacidade de reduzir a transmissão de ruído através do material, buscando um equilíbrio entre o desempenho acústico e as demais propriedades avaliadas. Após a análise dos resultados, foi possível observar que o traço II obteve o menor desempenho acústico dentre os painéis estudados, bem como a menor densidade.

O traço I possui a maior quantidade de madeira em relação ao cimento e, através do teste acústico, foi possível observar que mesmo com uma densidade inferior ao traço III, o seu desempenho acústico foi significativamente similar a este painel, o que corrobora com o conceito de que não só a densidade tem influência direta no isolamento acústico, mas a composição do painel também é importante (Niemz; Teischinger; Sandberg, 2023). Vale destacar que a busca por um produto mais sustentável se torna adequado a partir do traço I por apresentar mais proporção de madeira e, conseqüente menor consumo de cimento que é proveniente de fonte não renovável.

7.4 ETAPA 4: CAMADA EXTERNA CIMENTÍCIA

Todos os painéis produzidos receberam uma nata cimentícia como camada externa superior e inferior visando melhorar a trabalhabilidade dos painéis e, avaliar a influência no desempenho acústico do material.

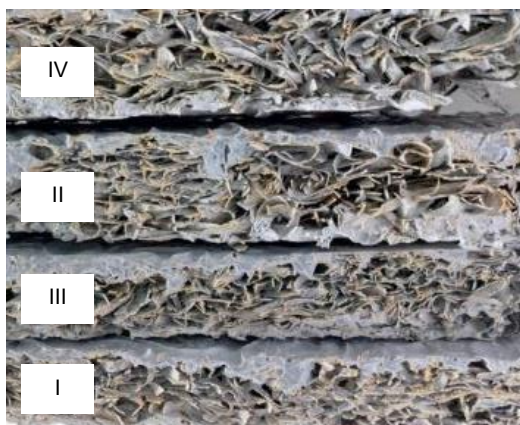
Os painéis foram avaliados quanto a densidade, acabamento superficial através de análise visual e microscópica, desempenho acústico e resistência mecânica a flexão estática e ao arrancamento de parafuso. Nesta etapa não foi realizada a análise microscópica de todos os painéis, tendo em vista que o revestimento superior não teve variação de composição para os diferentes traços.

Os resultados obtidos foram comparados com os resultados dos painéis sem essa camada cimentícia externa, o que permitiu avaliar a influência da adição da nata de cimento nas propriedades dos painéis WWCB.

7.4.1 Análise visual e microscópica

A análise visual dos painéis com camada externa cimentícia, permitiu observar o acabamento superficial e uniformidade final do painel. A vista lateral dos painéis com camada externa cimentícia de cada traço pode ser verificada na Figura 34.

Figura 34 - Vista lateral dos painéis de cada traço



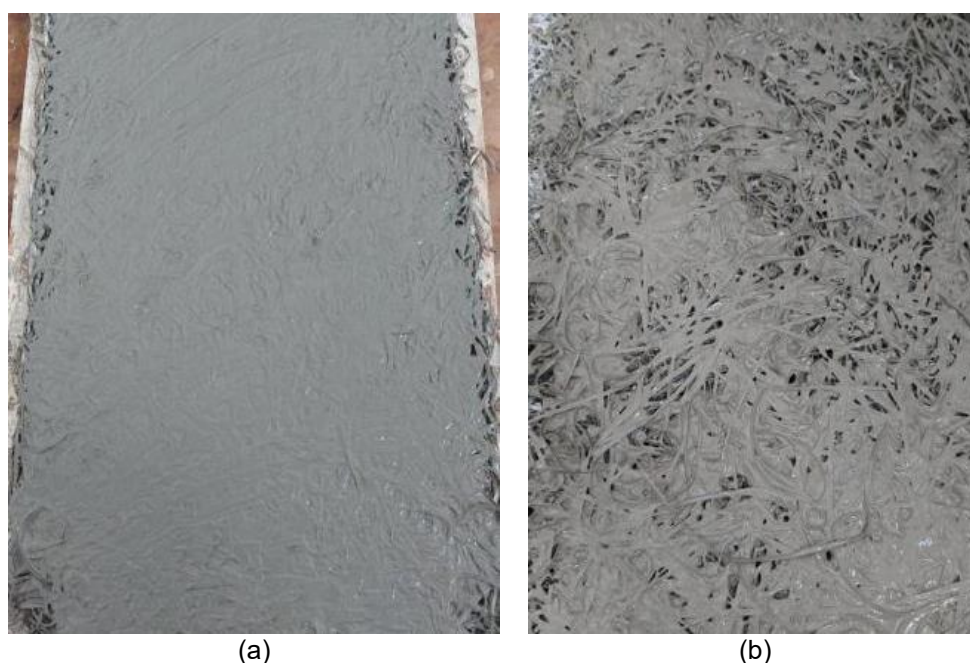
Fonte: Autoria própria (2025).

Ao analisar o perfil lateral dos painéis produzidos com camada externa cimentícia, foi possível observar que eles ficaram similares aos painéis encontrados no mercado nacional. Verificou-se também a diferença na espessura dos corpos de

prova, bem como a diferença da porosidade de cada painel, sendo os painéis de maior espessura mais porosos e menos resistentes, como verificado no item 7.4.4. A camada externa cimentícia aplicada teve como objetivo, principalmente, compensar essa falta de resistência.

Foi possível observar que, no caso dos painéis mais porosos e menos densos, a camada externa de cimento foi mais absorvida para o interior dos painéis através dos seus poros (Figura 35b), o que levou a uma superfície indesejadamente menos uniforme, com relação a distribuição da nata cimentícia, e menos homogênea do que os painéis mais densos (Figura 35a).

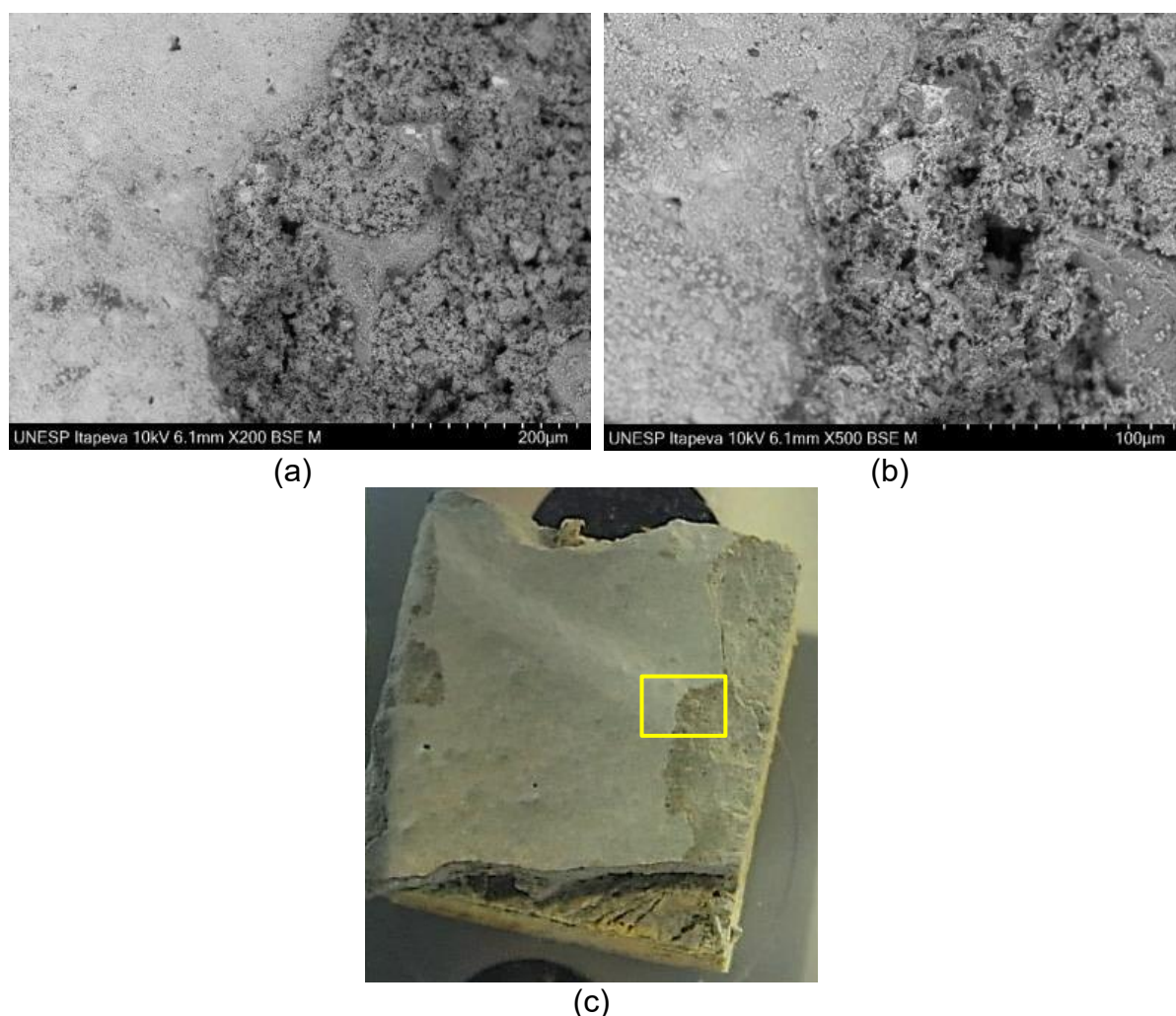
Figura 35 – Camada superior cimentícia: a) painel de 20 mm; b) painel de 30 mm.



Fonte: autoria própria (2025).

A micrografia da superfície de um painel WWCB com camada cimentícia externa (CE) é apresentada nas Figuras 36a e 36b. Para a obtenção dessas imagens, uma amostra do painel medindo 20 mm x 20 mm foi preparada por desgaste da camada externa, conforme ilustrado na Figura 36c, onde a área de análise por MEV é delimitada pelo retângulo amarelo. As imagens foram capturadas com aumentos de 200x e 500x, visando a caracterização do desgaste superficial.

Figura 36 - Micrografia camada externa cimentícia painéis WWCB: (a) CE aumento de 200x; (b) CE aumento de 500x; (c) área captada MEV



Fonte: autoria própria (2025).

A análise das micrografias revelou disparidades na homogeneidade da superfície da camada cimentícia externa e fragilidade durante o processamento mecânico em serra para a obtenção das amostras. Esta heterogeneidade superficial pode ser atribuída a variações no processo de mistura durante a fabricação da camada externa, impactando a regularidade da superfície. A presença de irregularidades pode influenciar diretamente o desempenho de acabamentos e a durabilidade do painel em condições de exposição, demandando otimização nos processos de produção para garantir maior uniformidade e, consequentemente, melhores propriedades físico-mecânicas e estéticas.

7.4.2 Densidade

Os valores obtidos para as densidades de cada traço, com camada externa cimentícia e sem, e a espessura final dos painéis estão dispostos na Tabela 10.

Tabela 10 - Densidade, desvio padrão e espessura média final dos painéis

Traço	Densidade (kg/m ³)	Espessura final do painel (mm)
Ic*	563a (0,0301)	22,02 (0,4924)
IIc	346b (0,0179)	32,65 (1,3501)
IIIc	734c (0,1026)	21,85 (2,5578)
IVc	642a (0,0473)	33,58 (1,3764)

Nota: médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade.

*c: com camada externa cimentícia

Fonte: autoria própria (2024).

A análise de variância (ANOVA) confirmou a influência significativa do traço utilizado na confecção dos painéis na densidade ($p < 0,05$), onde através do teste de Tukey, foi possível verificar que os traços I e IV não apresentaram diferenças significativas entre as densidades, mesmo os painéis apresentando composições diferentes, contudo o traço II e III apresentaram diferenças significativas nas densidades dos painéis produzidos, o que pode ser explicado pela espessura final do painel, que está diretamente ligada a densidade destes, além da composição utilizada.

A densidade dos painéis com CE variou de 346 a 734 kg/m³. A adição de camada externa cimentícia contribuiu muito para o aumento da densidade, e aumentou cerca de 2,5 mm na espessura final dos painéis.

Os traços com CE apresentam densidades mais próximas aos valores sugeridos pelos autores Ashori *et al.* (2011) e dos painéis comerciais que recomendam densidades a partir de 300 kg/m³, para ter uma melhor resistência as solicitações mecânicas. As densidades dos painéis comerciais variam de 360 a 570 kg/m³,

dependendo da espessura e aplicação da placa, onde as placas mais finas têm uma densidade mais alta que as placas mais grossas (Eltomation, 2025).

Esses resultados indicam que os painéis produzidos neste estudo possuem propriedades adequadas para uma variedade de aplicações não estruturais, como móveis, divisórias, revestimentos e isolamento acústico, onde a leveza é um atributo desejável.

As variações observadas na densidade dos painéis também devem ser atribuídas às condições controladas do ambiente laboratorial e, principalmente, à heterogeneidade inerente ao processo manual de mistura e moldagem dos painéis.

7.4.3 Isolamento acústico

Os resultados obtidos no teste de isolamento acústico para verificar a redução de ruídos dos painéis com CE cimentícia e sem podem ser vistos na Tabela 11 e no gráfico da Figura 37.

Tabela 11 - Atenuação sonora média de cada traço com CE e sem manta cimentícia.

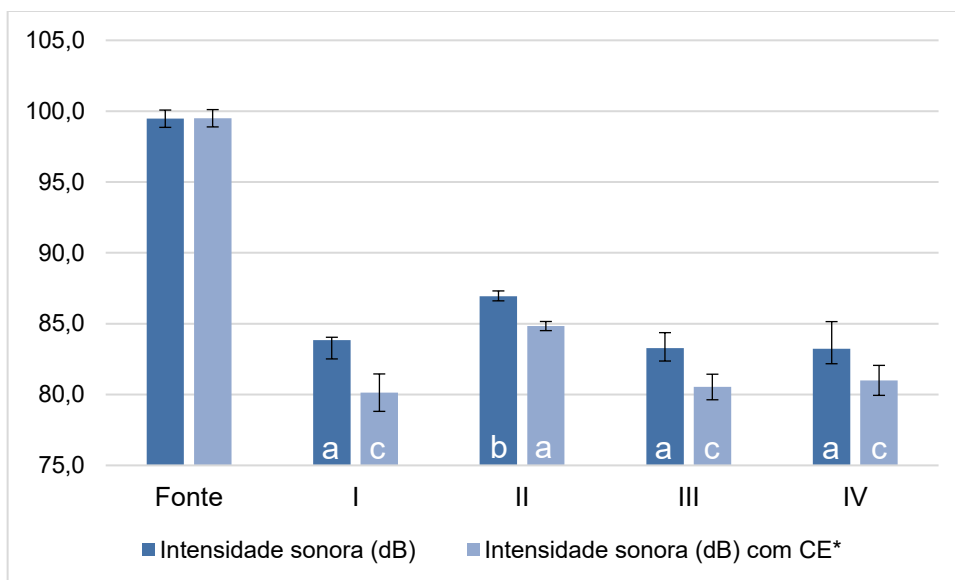
Atenuação sonora	Fonte	Painéis							
		I	II	III	IV	Ic*	IIc	IIIc	IVc
Médias (dB)	100	16,2a	13,1b	16,7a	15,8a	19,9c	15,2a	19,5c	19,0c
Desvio padrão	0,6110	0,2082	0,3786	1,1015	1,9140	1,3204	0,3215	0,9018	1,0583

Nota: médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade.

*c: camada externa cimentícia

Fonte: autoria própria (2025).

Figura 37 - Intensidade sonora captada: painéis WWCB produzidos



*CE: camada externa cimentícia

Nota: letras iguais não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Fonte: autoria própria (2025).

A análise de variância (ANOVA) confirmou a influência significativa da adição de camada externa cimentícia na atenuação sonora dos painéis ($p < 0,05$), onde através do teste de Tukey, foi possível verificar que os traços I, III e IV não apresentaram diferenças significativas entre suas capacidades de isolamento acústico, mesmo apresentando composições diferentes, contudo o traço II apresentou diferenças significativas nas atenuações sonoras registradas dos painéis produzidos, o que pode ser explicado pela sua menor densidade, além da composição utilizada, porém ao adicionar a CE ele obteve um valor médio de atenuação sonora igual aos demais painéis sem CE.

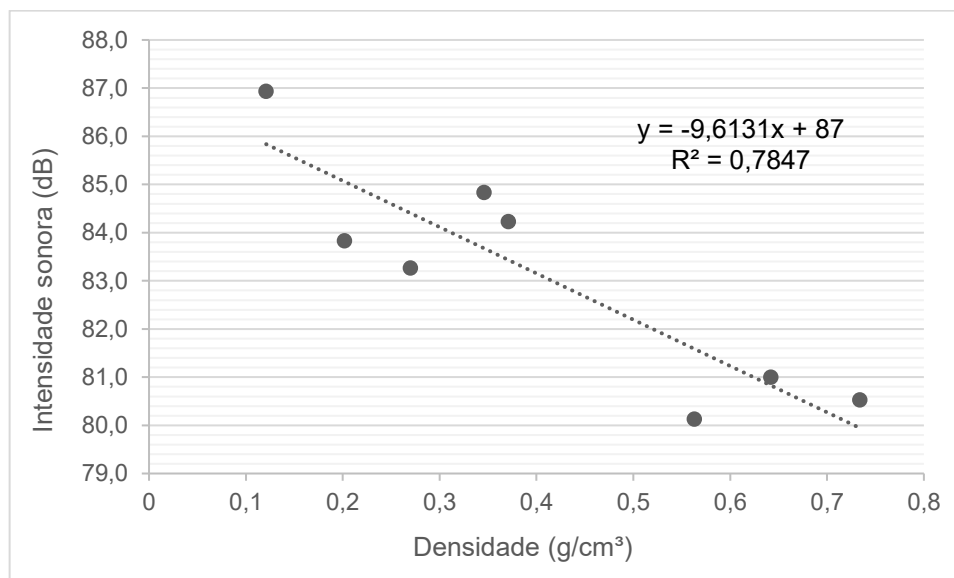
Através dos resultados verificou-se uma média de redução de ruídos de até 16,7 dB para os painéis sem camada externa e 19,9 dB para os painéis com camada externa, sendo o traço I e o traço III os painéis de melhor desempenho.

Segundo Niemz, Teischinger e Sandberg (2023), fatores relacionados a confecção e propriedades do painel, como a espécie utilizada, a densidade, o tipo e quantidade de aglutinante empregado e a geometria da partícula, são as variáveis de maior influência na capacidade de isolamento acústico.

Tendo isso em vista, foi possível observar que o aumento da densidade com a CE teve influência na qualidade acústica dos painéis produzidos, bem como a

espessura do painel no resultado de redução de ruídos. A relação entre a densidade dos painéis e o isolamento acústico pode ser verificado no gráfico da Figura 38.

Figura 38 - Correlação entre intensidade sonora medida e densidade dos painéis



Fonte: autoria própria (2025).

De acordo com o coeficiente de correlação obtido (R^2), é confirmado que com o aumento da densidade aconteceu uma redução na intensidade sonora registrada no teste de isolamento acústico dos painéis produzidos, demonstrando que a densidade possui influência direta na qualidade do isolamento acústico dos painéis.

Embora os painéis produzidos apresentem desempenho satisfatório em comparação aos valores de isolamento acústico dos painéis comerciais produzidos pela Climatex, para painéis de 25 mm a 50 mm com isolamento acústico de até 12 dB, a comparação com os resultados de Arantes *et al.* (2023), que alcançou uma média de redução de 30 dB para painéis isolantes, indica que ajustes no processo de fabricação são necessários para atender a requisitos mais exigentes de controle acústico.

7.5 RESISTÊNCIA NA FLEXÃO ESTÁTICA

Os valores obtidos para o teste de resistência na flexão estática para obtenção do Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade do traço I e II com camada externa cimentícia, densidade e desvio padrão estão dispostos na Tabela 12.

Tabela 12 - Módulo de Resistência e Módulo de Elasticidade na flexão estática

Painel	Propriedades analisadas		
	Densidade (kg/m ³)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
Ic	563a (0,0301)	2848a (2111)	1,7225a (0,3526)
IIc	346b (0,0179)	3248a (597,6)	0,4833b (0,1041)
Prensa manual / Traço Ic	430c (0,0609)	196,8800b (81,6553)	0,1325b (0,1087)

Nota: médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Fonte: autoria própria (2025).

A análise de variância (ANOVA) confirmou a influência significativa do traço na resistência na flexão estática ($p < 0,05$), com o teste de Tukey indicando que o painel produzido do traço I, resultou em valores de MOR significativamente maiores. Com relação ao MOE, os painéis do traço I e II não diferiram entre si, enquanto o painel prensado manualmente apresentou diferenças significativas.

Devido a definição anteriormente mencionada no item 7.3 sobre a escolha do traço I como mais viável, optou-se por não produzir mais painéis para o teste de flexão estática para os traços III e IV.

Os ensaios de resistência à flexão estática, realizados com o intuito de determinar o Módulo de Ruptura (MOR) dos painéis do traço I e II com camada externa cimentícia, revelaram valores de 1,7 MPa e 0,48 MPa, respectivamente. Quanto ao Módulo de Elasticidade (MOE), os valores foram de 2848 MPa e 3248 MPa.

Essa diferença nos valores demonstra a influência da densidade, da espessura dos painéis e do processo de prensagem na resistência à flexão. O painel do traço I, com cerca de 20 mm de espessura, maior densidade e prensado no sistema automatizado com maior pressão, exibiu maior resistência a esse tipo de solicitação mecânica, quando comparado aos outros painéis.

Comparando os resultados obtidos com os requisitos de resistência à flexão para painéis comerciais, observa-se que ambos os traços prensados no sistema automatizado (I e II), atendem aos critérios estabelecidos. De acordo com a

ficha técnica do painel WWCB da Eltomation, fabricante e fornecedora desse tipo de painel, o requisito comercial de resistência à flexão varia de 0,4 MPa a 1,7 MPa.

Com relação ao Módulo de Elasticidade (MOE), os valores obtidos neste trabalho são similares aos valores de MOE observados pelos autores Matoski e Iwakiri (2007), que obtiveram um MOE de 2288,3 MPa a 2858,5 MPa, fazendo variação granulométrica de painéis de cimentícios utilizando farinha de Madeira.

Os resultados indicam que a produção de painéis cimentícios com adição de lãs de madeira atende aos requisitos comerciais de resistência à flexão, com potencial para aplicação em diversos setores da construção civil.

7.6 RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO

Os valores obtidos para o teste de arrancamento de parafuso da superfície e do topo dos painéis WWCB produzidos em todos os traços com camada externa cimentícia, densidade e desvio padrão estão dispostos na Tabela 13.

Tabela 13 - Força máxima média de resistência ao arrancamento de parafuso da superfície e do topo

Painel	Propriedades analisadas		
	Densidade (kg/m ³)	Resistência ao arrancamento de parafuso da superfície (N)	Resistência ao arrancamento de parafuso do topo (N)
Ic	563a (0,0301)	150,72a (15,70)	25,78a (12,53)
IIc	346b (0,0179)	115,96a (16,88)	8,09b (2,53)
IIIc	734c (0,1026)	125,84a (27,69)	102,31c (8,55)
IVc	642a (0,0473)	138,17a (22,68)	116,96c (20,11)
Prensa manual / Traço Ic	430c (0,0609)	148,16a (38,87)	38,5a (9,99)

Nota: médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Fonte: autoria própria (2025).

A análise de variância (ANOVA) confirmou que não houve influência significativa do traço na resistência ao arrancamento de parafuso da superfície ($p > 0,05$), indicando que os painéis produzidos, independente do traço utilizado, obtiveram valores de resistência ao arrancamento de parafuso similares entre eles. No entanto, houve diferenças significativas entre a resistência ao arrancamento de parafuso do topo das amostras, indicando que os painéis de menor densidade obtiveram menor resistência.

Os ensaios de arrancamento de parafuso, conduzidos na superfície e no topo dos painéis WWCB, tiveram como objetivo determinar a força máxima que esses compósitos podem suportar sob solicitações mecânicas típicas de fixação entre painéis, fixação de objetos leves, como luminárias e elementos decorativos.

Os resultados revelaram uma força máxima de arrancamento na superfície variando entre 125 N a 282 N, o que corresponde a uma capacidade de suporte de peso de aproximadamente 12,5 kg a 28,2 kg. No topo do painel, os valores oscilaram entre 8 N a 116,96 N, indicando uma capacidade de suporte de peso de 0,8 kg a 11,7 kg.

A maior resistência observada na superfície é relevante, uma vez que esses painéis são comumente aplicados em paredes ou forros. A capacidade de suporte verificada para a superfície é considerada positiva para aplicações não estruturais, permitindo a fixação segura de múltiplos objetos de peso leve a moderado. Por exemplo, a resistência obtida na superfície é suficiente para suportar o peso de mais de sete lâmpadas fluorescentes tubulares de 12 V, demonstrando a adequação dos painéis WWCB para tais finalidades em espaços internos.

Os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados indicam que a produção de painéis cimentícios com adição de lãs de madeira e camada externa cimentícia apresenta potencial promissor para aplicações não estruturais. A análise do desempenho desses painéis sugere sua viabilidade para usos onde a capacidade de carga não é o requisito principal, como em elementos de vedação, forros e divisórias, contribuindo para soluções construtivas mais versáteis e eficientes.

8 CONCLUSÕES

A presente pesquisa, focou na produção e avaliação de painéis *Wood-Wool Cement Board* (WWCB) com ênfase em suas propriedades físico-mecânicas e acústicas, e revelou a necessidade de pesquisas nacionais nesse tema. A escassez de publicações, especialmente no contexto brasileiro, evidenciam a relevância em se pesquisar e explorar este tipo de painel que já possui algumas empresas produtoras no Brasil, porém ainda é objeto de poucos estudos científicos.

Através da análise das etapas de produção dos painéis, foi possível concluir que:

- a) A prensagem em prensa hidráulica de sistema automatizado apresentou-se mais eficiente quanto ao aspecto estético dos painéis observados em análises visuais e microscópicas. Destaca-se ainda que para os testes físico-mecânicos também foi possível verificar melhores propriedades para os painéis prensados no sistema hidráulico automatizado, pois permitiu um produto mais homogêneo, com melhor interação entre as lãs de madeira;
- b) Os painéis produzidos com lãs de 0,2 mm de espessura permitiram a produção de painéis mais homogêneos e com propriedades mais adequadas em comparação aos produtos comerciais;
- c) Embora não tenha sido observada grandes variações entre as densidades para os traços I, III e IV, verificou-se que a presença das lãs de madeira como reforço em maior proporção indicou que o traço Ic é mais viável em termos de propriedades mecânicas e acústicas.
- d) A adição de CE foi positiva esteticamente e, permitiu ao produto final maior resistência mecânica e contribuiu para o aumento de densidade e, permitiu a realização dos testes mecânica na flexão estática e arrancamento de parafuso.

A análise dos resultados obtidos permitiu estabelecer uma relação direta entre a densidade dos painéis WWCB e seu desempenho acústico, onde o traço Ic apresentou a melhor viabilidade e os painéis de melhor desempenho. Painéis com maior densidade e melhor interface cimento-madeira demonstraram melhor capacidade de isolamento acústico, corroborando a importância da homogeneidade

do processo de fabricação, influenciado pela mistura manual e moldagem dos painéis, o que evidencia que ajustes no processo de produção devem ser realizados.

Os resultados dos ensaios de resistência à flexão indicam que os painéis, tanto os de 20 mm quanto os de 30 mm de espessura, atendem aos critérios estabelecidos, demonstrando sua adequação para aplicações na construção civil.

Os resultados dos ensaios de resistência ao arrancamento de parafuso revelaram que a capacidade de suporte dos painéis WWCB verificada para a superfície é considerada positiva para aplicações não estruturais.

A avaliação microscópica dos painéis revelou não homogeneidade no processo de fabricação, com diferenças na interface cimento-madeira entre os tratamentos, provavelmente devido ao processo manual de mistura e moldagem e diferença de densidade.

Diante deste cenário, e considerando a natureza investigativa deste trabalho, que buscou adaptar metodologias de autores estrangeiros para a produção de painéis WWCB similares aos disponíveis no mercado, sugere-se para futuras pesquisas:

- a) Investigação de outras variáveis: explorar a influência de outras variáveis no desempenho acústico dos painéis, como a porcentagem de cada componente, a avaliação de diferentes aditivos e diferentes tipos de acabamentos superficiais;
- b) Otimização do processo produtivo: desenvolver e implementar processos de produção que garantam maior homogeneidade na mistura e moldagem dos painéis, visando aprimorar a interface cimento-madeira e, conseqüentemente, o desempenho acústico;
- c) Ensaios complementares: realizar ensaios complementares para avaliar outras propriedades relevantes dos painéis, como durabilidade, resistência à umidade, resistência a outras solicitações mecânicas e condutividade térmica;
- d) Aplicações específicas: investigar o potencial dos painéis WWCB para aplicações específicas, como em painéis sanduíche contendo o WWCB como camada interna ou em componentes de vedação com requisitos de desempenho acústico e térmico integrados.

A realização de estudos futuros, abrangendo as recomendações supracitadas, é de devida importância para aprimorar a compreensão sobre os painéis WWCB e suas propriedades, bem como sua viabilidade e potencialidade para o mercado brasileiro de painéis, possibilitando o desenvolvimento de produtos com desempenho otimizado para diversas aplicações.

REFERÊNCIAS

- ACDA, M. N. Waste chicken feather as reinforcement in cement-bonded composites. **Philippine journal of Science**, Manila, v. 139, n. 2, p. 161-166, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/285853915_Waste_chicken_feather_as_reinforcement_in_cement-bonded_composites. Acesso em: 5 fev. 2024.
- ALENCAR, L. N. **Compósito expandido de borracha natural com madeira:** materiais para isolamento térmico e acústico na construção civil. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/183349>. Acesso em: 2 out. 2024.
- ALIEXPRESS. **Partículas de madeira de sândalo australiano ocidental.** [S.l.]: AliExpress, [2024]. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/item/1005006164862454.html>. Acesso em: 12 jan. 2024.
- AMAZON SAT. **Processo produtivo de placas de MDF.** [S.l.]: Amazon Sat, 2013. Vídeo. (7:14 min). Publicado pelo Canal Amazon Sat. Disponível em: <https://youtu.be/lk11R-pOgJ4>. Acesso em: 12 jan. 2024.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1037-12:** standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. West Conshohocken: ASTM, 2020.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2395-17:** standard test methods for density and specific gravity (relative density) of wood and wood-based materials. West Conshohocken: ASTM, 2022.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D3878:** standard terminology for composite materials. West Conshohocken: ASTM, 2020.
- ANDRADE, F. K. G. *et al.* Contribuição do componente e da espessura no desempenho acústico de vedações verticais. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 9, n. 2, p. 97-108, 2018. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8650354>. Acesso em: 9 nov. 2023.
- APRILANTI, M. D. **A experimentação construtiva em madeira como instrumento de ensino-aprendizagem nas escolas de arquitetura.** 2019. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-12032020-144711/publico/TeseCorrigidaMonicaDuarteAprilanti.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2023.
- ARANTES, L. S. *et al.* Avaliação de painéis sanduíche produzidos com núcleo de caixas de ovos e lâminas de paricá. **Ambiente Construído**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 121-130, 2023. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/ac/a/RLvV5jhxmy8TCT4QLwZmj4y/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 15 jun. 2024.

ARAS, U. *et al.* Utilization of olive mill solid waste in the manufacturing of cement-bonded particleboard. **Journal of Building Engineering**, Oxford, v. 49, p. 104055, 2022. Disponível em: <https://www.scopus.com/pages/publications/85123726733>. Acesso em: 3 jul. 2024.

ARCHDAILY BRASIL. **Wood Innovation Design Centre / Michael Green Architecture**. [S.l.]: Archdaily Brasil, 2015. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/774113/centro-de-design-e-inovacao-michael-green-architecture>. Acesso em: 10 jun. 2024.

ARGALIS, P. P. *et al.* Development of new bio-based building materials by utilising manufacturing waste. **Environmental and Climate Technologies**, Riga, v. 28, n. 1, p. 58-70, 2024. Disponível em: <https://sciencedirect.com/article/10.2478/rtuct-2024-0006>. Acesso em: 26 out. 2023.

ASHORI, A. *et al.* Wood-wool cement board using mixture of eucalypt and poplar. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 34, n. 1, p. 1146-1149, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669011001105>. Acesso em: 23 set. 2023.

ASSEF, J. **Ruído rosa**: como esse som pode induzir o sono. São Paulo: Ecycle, 2023. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/ruido-rosa/>. Acesso em: 28 fev. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **O que é CP-V ARI?** São Paulo: ABCP, 2009. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/colaborativo-portal/perguntas-frequentes.php?id=19>. Acesso em: 16 out. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **A versatilidade do cimento brasileiro**. São Paulo: ABCP, 2009. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/tipos/a-versatilidade-do-cimento-brasileiro>. Acesso em: 13 dez. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Cimento Portland CP II - E32 (NBR 11578)**. São Paulo: ABCP, 2009. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/colaborativo-portal/perguntas-frequentes.php?id=19>. Acesso em: 16 out. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12179**: tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14810-2**: painéis de partícula de média densidade: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-4:** sistema de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16697:** cimento Portland: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10152:** acústica: níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

AULD, B. A. **Acoustic fields and waves in solids**. Palo Alto: Рипол Классик, 1973. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=_2MWAwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 16 jan. 2024.

BARBU, M. C.; REH, R; IRLE, M. Wood-based composites. *In*: AGUILERA, A.; DAVIM, P. (ed.). **Research developments in wood engineering and technology**. Hershey: IGI Global, 2014. p. 1-45. Disponível em: <https://www.scopus.com/pages/publications/85021343566>. Acesso em: 3 dez. 2023.

BATTAGIN, A. F. **Uma breve história do cimento Portland**. São Paulo: ABPC, 2009. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland>. Acesso em: 16 out. 2024.

BEDERINA, M. *et al.* Effect of the treatment of wood shavings on the physico-mechanical characteristics of wood sand concretes, **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 23, n. 3, p. 1311–1315, 2009. Disponível em: <https://www.scopus.com/pages/publications/57849104343>. Acesso em: 16 dez. 2023.

BELTER, C. W. Bibliometric indicators: opportunities and limits. **Journal of the Medical Library Association**, Chicago, v. 103, n. 4, p. 219, 2015. Disponível em: <https://www.scopus.com/pages/publications/84945960991>. Acesso em: 16 dez. 2023.

BERALDO, A. L.; CARVALHO, J. V. Compósito *Eucalyptus grandis* - cimento Portland. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.65, p.150-161, 2004. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr65/cap15.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2024.

BERANEK, L. L.; MELLOW, T. **Acoustics**: sound fields and transducers. Oxford: Academic Press, 2012. *E-book*.

BERGER, F.; GAUVIN, F; BROUWERS, H. J. H. The recycling potential of wood waste into wood-wool/cement composite. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 260, p. 119786, 2020. Disponível em: <https://www.scopus.com/pages/publications/85086639882>. Acesso em: 20 out. 2023.

BERTOLINI, M. S. **Produção e avaliação das propriedades físico-mecânicas de compósitos lignocelulósicos produzidos a partir de madeira de Pinus spp., bambu da espécie Dendrocalamus Giganteus e Cimento Portland**. 2009.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) - Instituto de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Itapeva, 2009.

BIBLIS, E.J.; LO, C. Sugar and other wood extractives: effect on the setting of Southern Pine-cement mixtures. **Forest Products Journal**, Madison, v. 18, n. 8, p. 28-34, 1968. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19680603305>. Acesso em: 13 set. 2023.

BOTTERMAN, B. *et al.* Modelling and optimization of the sound absorption of wood-wool cement boards. **Applied Acoustics**, Amsterdam, v. 129, p. 144-154, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X17304334>. Acesso em: 13 set. 2023.

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. **Forest products and wood science**: an introduction. [S.l.]: Blackwell Publishing, 2007. Disponível em: https://sheppard.ltrr.arizona.edu/presession/Bowyeretal_ch1.pdf. Acesso em: 7 dez. 2023.

BOYER, H. E.; GALL, T. L. **Metals handbook**: desk edition. Almere: ASM International, 1985. Disponível em: <https://encurtador.com.br/A8zFh>. Acesso em: 7 dez. 2023.

BRAGLIA, T. A. *et al.* Desenvolvimento de uma caixa reverberante em escala reduzida para estudos de propriedades acústicas em materiais compósitos. *In*: ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO, 5., 2018, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: Ensus, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/245431/ANAIS-ENSUS-2018-Volume-II-438-445.pdf?sequence=1>. Acesso em: 16 out. 2024.

BUCUR, V. Wood and wood-based materials in architectural acoustics. *In*: BUCUR, V. **Acoustics of Wood**, Berlim: Springer, 2006, 2.ed., cap. 4, p. 21-36. Disponível em: https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781351357364_A32304365/preview-9781351357364_A32304365.pdf. Acesso em: 26 set. 2023.

CABRAL, M. R. *et al.* Potential of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) stalks to produce cement-bonded particleboards. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 122, p. 214–222, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669018304734>. Acesso em: 28 set. 2023.

CALDAS, L. R. *et al.* Avaliação ambiental de produtos engenheirados de madeira: identificação dos principais *hotspots* e oportunidades de melhoria. *In*: ENCONTRO LATINO AMERICANO E EUROPEU SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 4., 2021, Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: Antac, 2021. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/euroelecs/article/view/2517>. Acesso em: 16 out. 2024.

CALLISTER JR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/8800475/mod_resource/content/1/473965973-Ciencia-e-Engenharia-de-Materiais-CALLISTER-9%C2%AA-Edicao-pdf. Acesso em: 28 ago. 2024.

CAMPOS, C. I. **Características, propriedades e aplicação de materiais lignocelulósicos**: notas de aula. Destinatário: discentes da pós-graduação. Itapeva, 18 out. 2024. 1 mensagem eletrônica.

CAPRAI, V. *et al.* Influence of the spruce strands hygroscopic behaviour on the performances of wood-cement composites. **Construction and Building Materials**, Guilford, v. 166, p. 522-530, 2018. Disponível em: <https://www.scopus.com/pages/publications/85043289709>. Acesso em: 28 ago. 2024.

CAPRAI, V. *et al.* MSWI bottom ash as binder replacement in wood cement composites. **Construction and Building Materials**, Guilford, v. 196, p. 672-680, 2019. Disponível em: <https://www.scopus.com/pages/publications/85057107830>. Acesso em: 28 ago. 2024.

CARVALHO, J. V. **Aproveitamento de resíduos particulados da madeira de eucalipto grandis na fabricação de compósitos a base de cimento portland**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Departamento de Construções Rurais e Ambientais, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000. Disponível em: <https://abrir.link/jCkOA>. Acesso em: 13 fev. 2024.

COBO, M. J. *et al.* An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the Fuzzy Sets Theory field. **Journal of informetrics**, Taipei, v. 5, n. 1, p. 146-166, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751157710000891>. Acesso em: 30 out. 2023.

CONSELHO DE ARQUITETURA E URBANISMO DO BRASIL. **Manta acústica**. [S.l.]: CAUBR, 2018. Disponível em: <https://caubr.gov.br/norma-de-acustica-abnt-publica-versao-atualizada-de-parametros-para-edificacoes/>. Acesso em: 10 jan. 2025.

COPAFER. **Cimento CII F Uso Geral 50 Kilos - CSNCPIIF - CSN**. [S.l.]: Copafér, [2024]. Disponível em: <https://www.copafer.com.br/cimento-cpii-f-uso-geral-50-kilos-csncpiif-csn/p>. Acesso em: 26 jun. 2024.

CORRÊA, L.R. **Sustentabilidade na construção civil**. 2009. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: https://saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2022/05/Sustentabilidade_na_Construcao_CivilL-with-cover-page-v2.pdf. Acesso em: 27 jun. 2024.

COUNCIL OF WESTERN STATE FORESTERS. **Wood wool cement and wood fiber insulation feasibility analysis**. Portland: The Beck Group, 2023. Disponível em:
<https://www.westernforesters.org/sites/default/files/CWSF%20Wood%20Wool%20and%20Wood%20Fiber%20Insulation%20study%20FINAL%204-26-23.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2023.

COX, T.; D'ANTONIO, P. **Acoustic absorbers and diffusers: theory, design and application**. 3.ed. Boca Raton: CRC press, 2016. Disponível em:
https://danylastchild07.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/05/trevor_j-_cox_acoustic_absorbers_and_diffusers.pdf. Acesso em: 26 jun. 2024.

CRIADO, B. O. *et al.* Análises de desempenho mecânico, térmico e acústico de placa em compósito cimento-madeira como painel de vedação. **Caderno Pedagógico**, Porto Alegre, v. 21, n. 8, p. e6719-e6719, 2024. Disponível em:
<https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/6719>. Acesso em: 27 jun. 2025.

CROCKER, M. J. **Handbook of acoustics**. Hoboken: John Wiley and Sons, 1998. Disponível em:
https://books.google.com.br/books/about/Handbook_of_Acoustics.html?id=1x_RvffW-hcC&redir_esc=y. Acesso em: 26 jun. 2024.

D'AMICO, B.; POMPONI, F.; HART, J. Global potential for material substitution in building construction: The case of cross laminated timber. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 279, p. 123487, 2021. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620335320>. Acesso em: 26 jun. 2024.

DALSENTER, I. Z. **Desempenho acústico**: método para análise em materiais compósitos utilizando câmara reverberante em escala reduzida. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2019. Disponível em:
<https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/4777>. Acesso em: 27 abr. 2024.

DESCH, H. E.; DINWOODIE, J. M. **Timber**: structure, properties, conversion and use. Hampshire: Bloomsbury Publishing, 2016. *E-book*.

DIAS, S. *et al.* Lightweight cement composites containing end-of-life treated wood–Leaching, hydration and mechanical tests. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 317, p. 125931, 2022. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061821036643>. Acesso em: 12 dez. 2024.

EGAN, M. D. **Architectural acoustics**. New York: Mcgraw-Hill, 1988. Disponível em:
https://www.newmanfund.org/wp-content/uploads/2000_Architectural-Acoustics-Workbook_Egan.pdf. Acesso em: 10 abr. 2024.

ELSEVIER. **Scopus**: How Scopus works. [S.l.]: Elsevier, 2023. Disponível em: <https://www.elsevier.com/products/scopus/content>. Acesso em: 12 nov. 2023.

ELTEN, V. Production of wood wool cement board and wood strand cement board (Eltoboard) on one plant and applications of the products. *In*: INTERNATIONAL. INORGANIC-BONDED FIBER COMPOSITES CONFERENCE, 10., 2006, São Paulo, **Proceedings** [...]. São Paulo: IIBCC, 2006. Disponível em: <https://www.iibcc.biz/wp-content/uploads/2019/05/IIBCC2006-Proceedings-Production-wood-wool-cement-board-wood-strand-cement-board-Eltoboard-plant-applications-products.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2023.

ELTOMATION, B.V. **Wood Wool Cement Board**. Barneveld: Eltomatic, [s.d.]. Disponível em: <https://www.eltomatic.com/eng/wood-cement-boards/wood-wool-cement-board/>. Acesso em: 15 jul. 2024.

FERREIRA, R. A. P. **Comportamento acústico de componentes da construção à base de aglomerado de fibras de madeira e cimento**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2010. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/0afa7e7f270aff71ca59a853872c3c46/1?cbl=2026366&diss=y&pq-origsite=gscholar>. Acesso em: 10 jun. 2024.

FUNDACENTRO. **Pesquisadores elaboram Nota Técnica sobre os riscos da inalação de fumaça da combustão de polímeros**. Brasília: FUNDACENTRO, 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/fundacentro/pt-br/comunicacao/noticias/noticias/2014/1/nota-tecnica-sobre-os-riscos-da-inalacao-de-fumaca-produzida-pela-combustao-de-polimeros>. Acesso em: 10 jun. 2024.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiologia e serviços de saúde**, Brasília, v. 23, p. 183-184, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ress/a/yPKRNymgtzwzWR8cpDmRWQr/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 jun. 2024.

GAUVIN, F. *et al.* Effect of the morphology and pore structure of porous building materials on photocatalytic oxidation of air pollutants. **Applied Catalysis B: Environmental**, Amsterdam, v. 227, p. 123-131, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926337318300353>. Acesso em: 10 jun. 2024.

GOIS, D. O. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de painéis compensados de paricá (Schizolobium parahyba var. amazonicum (Huber x Ducke)) Barneby**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Imperatriz, 2022.

GONG, X. *et al.* Life cycle energy consumption and carbon dioxide emission of residential building designs in Beijing: A comparative study. **Journal of Industrial Ecology**, New Haven, v. 16, n. 4, p. 576-587, 2012. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1530-9290.2011.00415.x>. Acesso em: 12 jan. 2025.

GOVIN, A.; PESCHARD, A.; GUYONNET, R. Modification of cement hydration at early ages by natural and heated wood. **Cement and concrete composites**, Barking, v. 28, n. 1, p. 12-20, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946505000983>. Acesso em: 12 out. 2024.

GUEDES, R. C. **Projeto e construção de uma câmara reverberante em escala reduzida para a caracterização acústica de materiais absorventes**. 2007. Dissertação (Mestrado em Vibrações e Acústica) - Instituto Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007. Disponível em: https://repositorio.ufpa.br/bitstream/2011/5110/1/Dissertacao_ProjetoConstrucaoCamara.pdf. Acesso em: 24 ago. 2024.

HARRIS, C. M. **Handbook of acoustical measurements and noise control**. New York: McGraw-Hill Companies, 1991. Disponível em: <https://planning.lacity.gov/eir/CrossroadsHwd/deir/files/references/l11.pdf>. Acesso em: 12 out. 2024.

HASELI, M. *et al.* Characterization of blackboard and battenboard sandwich panels from date palm waste trunks. **Measurement**, Perugia, v. 124, p. 329-337, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224118303154>. Acesso em: 10 abr. 2024.

HELLMEISTER, V. **Painel OSB de resíduo de madeira Balsa (Ochroma Pyramidale)**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciências de Materiais) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2017. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74133/tde-26022018-101829/publico/DO8725069COR.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2024.

HERRERA, R. E.; CLOUTIER, A. Compatibility of four eastern Canadian woods with gypsum and gypsum-cement binders by isothermal calorimetry. **Maderas: Ciencia y tecnología**, Concepcion, v. 10, n. 3, p. 275-288, 2008. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/485/48510309.pdf>. Acesso em: 12 out. 2024.

HILLIG, É.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e acácia-negra. **Ciência florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 59-70, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/sYx4WmbPsHL9BHXhYhmwYdx/?lang=pt>. Acesso em: 10 abr. 2024.

HILLIS, W. E. Secondary changes in wood. In: LOEWUS, F. A.; RONECKLES, V. C. (ed.). **The structure, biosynthesis, and degradation of wood**. Boston: Springer US, 1977. p. 247-309. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-8873-3_7. Acesso em: 12 out. 2024.

HOFSTRAND, A. D.; MOSLEMI, A. A., GARCIA J. F. Curing characteristics of wood particle from nine northern Rocky Mountain species mixed with Portland cement. **Forest Products Journal**, Madison, v. 34, n. 2, p. 57-61, 1984. Disponível em: <https://scispace.com/papers/curing-characteristics-of-wood-particles-from-nine-northern-317c0oq25m>. Acesso em: 5 out. 2024.

HOSSAIN, M. U.; POON, C. S. Comparative LCA of wood waste management strategies generated from building construction activities. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 177, p. 387-397, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617332237>. Acesso em: 5 out. 2024.

INDIA MART. **Wood cement board**. [S.l.]: IndiaMART, [s.d.]. Disponível em: <https://www.indiamart.com/proddetail/bison-boards-22047268755.html?pos=5&DualProdsdual>. Acesso em: 12 jan. 2025.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ 2023**. [S.l.]: Indústria Brasileira de Árvores, 2024. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10140-1 a 5**: acoustics: laboratory measurement of sound insulation of building elements. Geneva: ISO, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 717-1**: acoustics: rating of sound insulation in buildings and of building elements. Vienna: ISO, 2020.

IRLE, M.; BARBU, M. C. Wood-based panel technology. In: IRLE, M., et al. **Wood-based panels an introduction for specialists**. Londres: Brunel University Press, 2010. p. 1–94. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/301355302_Wood-Based_Panels_An_Introduction_for_Specialists. Acesso em: 20 jan. 2024.

INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY. **Compendium of chemical terminology**. 2. ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1997. Disponível em: <https://goldbook.iupac.org/>. Acesso em: 20 jan. 2024.

IWAKIRI, S. et al. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* "Paricá" e *Cecropia hololeuca* "Embaúba" para produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, Lavras, v. 18, p. 303-308, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cerne/a/qW4JgCvXfCWS8QHnv59vPJP/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 20 jan. 2024.

IWAKIRI, S. et al. Potencial de uso de espécies de *pinus* tropicais para produção de painéis cimento-madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, p. 151–159, 2017. Disponível em: <https://www.ipef.br/PUBLICACOES/scientia/nr113/cap15.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2024.

JOHNSTON, J. H. *et al.* Hybrid materials of conducting polymers with natural fibres and silicates. **International journal of nanotechnology**, [S.l.], v. 6, n. 3-4, p. 312-328, 2009. Disponível em: <https://www.scopus.com/pages/publications/59349116315>. Acesso em: 5 out. 2024.

KLÍMEK, P. *et al.* Utilizing Miscanthus stalks as raw material for particleboards. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 111, p. 270-276, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669017307161>. Acesso em: 5 out. 2024.

KOH, C. H. *et al.* Utilization of geopolymers in wood wool insulation boards: Design optimization, development and performance characteristics. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 204, p. 107510, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344924001058>. Acesso em: 5 out. 2024.

KOLLMANN, F.; CÔTE, W, A. **Principles of wood science and technology**. New York: Springer, 1968. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-87928-9>. Acesso em: 12 set. 2024.

LA GRÉE, G. C. H. D.; YU, Q. L.; BROUWERS, H. J. H. Upgrading and evaluation of waste paper sludge ash in eco-lightweight cement composites. **Journal of Materials in Civil Engineering**, New York, v. 30, n. 3, p. 4018021, 2018. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29MT.1943-5533.0002186>. Acesso em: 24 dez. 2024.

LA GRÉE, G. C. H. D.; YU, Q. L.; BROUWERS, H. J. H. Wood-wool cement board: potential and challenges. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NON-TRADITIONAL CEMENT AND CONCRETE, 5., 2014, Brno. **Proceedings** [...]. Brno: Novpress, 2014. Disponível em: <https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/3841378/449247297565249.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2024.

LATORRACA, J. V.; IWAKIRI, S.; LELIS, R. C. Efeito Inibidor de cinco espécies florestais sobre a cura do compósito cimento-madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 6, n. 1, p. 76-82, 1999. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/loram/a/zySLRrW4CMQx7pjmHjZWz4F/?lang=pt>. Acesso em: 26 ago. 2024.

LAZZARIN, D. **Isolamento térmico para casa de madeira: conheça as alternativas**. [S.l.]: Lazzarin madeiras, 2021. Disponível em: <https://lazzarinmadeiras.com.br/isolamento-termico-para-casa-de-madeira-conheca-as-alternativas/>. Acesso em: 14 jun. 2024.

LILGE, D. S.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Avaliação do desempenho de painéis cimento-madeira fabricados com duas espécies florestais em combinação com casca de arroz. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 20-42, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/wYXyj7j7CJrrsqsdw6Xb4vD/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 14 jun. 2024.

LIMA, P. H. A. *et al.* Novas tecnologias aplicadas no estudo da fabricação do clínquer de cimento Portland. **Revista Vozes dos Vales Publicações Acadêmicas UFVJM**, Vales do Jequitinhonha, n. 21, 2022. Disponível em: <https://site.ufvjm.edu.br/revistamultidisciplinar/files/2022/05/19.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2024.

LINKEVIČIUS, E.; ŽEMAITIS, P.; ALEINIKOVAS, M. Sustainability impacts of wood- and concrete-based frame buildings. **Sustainability**, [S.l.], v. 15, n. 2, p. 1560, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/2/1560>. Acesso em: 12 set. 2024.

LOURENÇO, P. B.; BRANCO, J. M. Dos abrigos da pré-história aos edifícios de madeira do século XXI. In: MELO, A. S.; RIBEIRO, M. C (coord.). **História da construção: arquiteturas e técnicas construtivas**. Braga: CITCEM, 2012. v.1, cap. 9, p. 201-213. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/26503>. Acesso em: 18 abr. 2024.

LUN, F. *et al.* Life cycle analysis of carbon flow and carbon footprint of harvested wood products of *larix principis-rupprechtii* in China. **Sustainability**, [S.l.], v. 8, n. 3, p. 247, 2016. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/8/3/247>. Acesso em: 12 set. 2024.

MANCINI, M.; TAAVITSAINEN, V.; RINNAN, Å. Comparison of classification methods performance for defining the best reuse of waste wood material using NIR spectroscopy. **Waste Management**, Oxford, v. 178, p. 321-330, 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X24001168?pes=vor&utm_source=scopus&getft_integrator=scopus. Acesso em: 8 out. 2024.

MARTINHO, P.A.G. **Análise do comportamento de argamassas com a incorporação de pellets de madeira**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10362/23409>. Acesso em: 7 maio 2024.

MATOSKI, A.; IWAKIRI, S. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis de cimento-madeira utilizando farinha de madeira com granulometria controlada. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 2, p. 149-158, 2007. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/8646>. Acesso em: 7 maio 2024.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; LACERDA, F. C. **Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. Rio de Janeiro: BNDES Setorial, 2008. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2526>. Acesso em: 10 jan. 2024.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: microstructure, properties, and materials**. New York: McGraw-Hill Education, 2014. Disponível em: <https://worksaccounts.com/wp-content/uploads/2020/08/Concrete-Microstructure-Properties-and-Materials.pdf>. Acesso em: 8 out. 2024.

MIRSKI, R. *et al.* Lightweight insulation boards based on lignocellulosic particles glued with agents of natural origin. **Materials**, [S.l.], v. 14, n. 12, p. 3219, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/12/3219>. Acesso em: 15 jun. 2024.

MOSLEMI, A. A.; PFISTER, S. C. The influence of cement/wood ratio and cement type on bending strength and dimensional stability of wood-cement composite panels. **Wood and fiber science**, Monona, p. 165-175, 1987. Disponível em: <https://scispace.com/pdf/the-influence-of-cement-wood-ratio-and-cement-type-on-2qr2aryirf.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2024.

MOURA, I. R. *et al.* Reutilização de resíduos de serraria como matéria prima para fabricação de material compósito de isolamento térmica. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, [S.l.], v. 21, p. 64-74, 2020. Disponível em: <https://reviberpol.org/2020/03/01/reutilizacao-de-residuos-de-serraria-como-materia-prima-para-fabricacao-de-material-composito-de-isolacao-termica/>. Acesso em: 10 jan. 2024.

NEES, J.V.E.; LUDO, W. **VOSviewer manual**. [S.l.]: CWTS, [2019]. Disponível em: https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.15.pdf. Acesso em: 10 jan. 2024.

NETO, A. L. *et al.* Efeito das diferentes madeiras no isolamento acústico. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 4, p. 673-682, 2008. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/viewFile/13164/8909>. Acesso em: 15 jun. 2024.

NIEMZ, P.; TEISCHINGER, A.; SANDBERG, D. **Springer handbook of wood science and technology**. Heidelberg: Springer, 2023. Disponível em: <https://content.e-bookshelf.de/media/reading/L-16856587-295f0aad43.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2025.

NOGUEIRA, J. R. S.; CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C. Desempenho de painel de vedação vertical externa em *Light Steel Framing* composto por placas de madeira mineralizada. **Ambiente Construído**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 289-307, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/TTHrTBtqQXQXDSTMZYtRGsq/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 fev. 2024.

NORDECO. **Wood cement boards**. [S.l.]: Nordeco, [s.d.]. Disponível em: https://cfmk.ru/img/wwcb/wwcb_NORDECO_eng.pdf. Acesso em: 15 jun. 2024.

OKINO, E. Y. A. *et al.* Cement-bonded wood particleboard with a mixture of eucalypt and rubberwood. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 26, n. 6, p. 729-734, 2004. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946503000611?pes=vor&utm_source=scopus&getft_integrator=scopus. Acesso em: 24 ago. 2025.

OUAKARROUCH, M. *et al.* Acoustic and thermal performances assessment of sustainable insulation panels made from cardboard waste and natural fibers. **Applied Acoustics**, Amsterdam, v. 199, p. 109007, 2022. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X22003814>. Acesso em: 24 ago. 2025.

PAZZAGLIA, A. *et al.* Wood waste valorization: Ethanol based organosolv as a promising recycling process. **Waste Management**, Oxford, v. 170, p. 75-81, 2023. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X23005111>. Acesso em: 1 out. 2024.

PĘDZIK, M. *et al.* Physical and mechanical properties of particleboard produced with addition of walnut (*Juglans regia* L.) wood residues. **Materials**, [S.l.], v. 15, n. 4, p. 1280, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1944/15/4/1280>. Acesso em: 02 maio 2024.

PEREIRA, C. **Tipos de cimento: Características e especificações**. [S.l.]: Escola Engenharia, [2021]. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-cimento/>. Acesso em: 10 fev. 2024.

PESCHARD, A. *et al.* Effect of polysaccharides on the hydration of cement paste at early ages. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 34, n. 11, p. 2153-2158, 2004. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884604001565>. Acesso em: 02 maio 2024.

PIERCE, A. D. **Acoustics: an introduction to its physical principles and applications**. New York: McGraw-Hill, 2019. Disponível em:

<https://jontalle.web.engr.illinois.edu/Public/BOOKS/Pierce-Acoustics.81.pdf>. Acesso em: 02 maio 2024.

PIZZI, A.; PAPADOPOULOS, A. N.; POLICARDI, F. Wood composites and their polymer binders. **Polymers**, [S.l.], v. 12, n. 5, p. 1115, 2020. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/2073-4360/12/5/1115>. Acesso em: 1 out. 2024.

POLYBETT. **HPL Laminate Plywood ou MDF: a escolha econômica**. [S.l.]: Polybett, [2024]. Disponível em: <https://polybett.com/pt/HPL-Laminate-Plywood-Or-MDF-The-Cost-Effective-Choice-id43208266.html>. Acesso em: 10 jun. 2025.

POMARICO, F. A. **Potencial de utilização da madeira de clones de eucalipto na produção de painéis cimento-madeira**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufla.br/server/api/core/bitstreams/1bb1a009-2286-47e8-96bd-1bb512bfe617/content>. Acesso em: 10 fev. 2024.

PORTALACUSTICA. **Como o som se comporta ao atingir os materiais acústicos?** Florianópolis: Portal Acústica, 2016. Disponível em:

<https://portalacustica.info/materiais-acusticos-o-que-sao/>. Acesso em: 14 jun. 2024.

PRASAD, D. S.; SHOBA, C.; VARMA, K. R. Damping behavior of commonly used reinforcement powders—an experimental approach. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, [S.l.], v. 18, n. 4, p. 674-679, 2015.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215098615000695>. Acesso em: 10 fev. 2024.

REZENDE, J. M. S.; MORAIS FILHO, J. C. G.; NASCIMENTO, N. L. F. **Isolamento sonoro contra ruído aéreo de vedações verticais internas medido em campo**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2014. Disponível em: <https://encurtador.com.br/oqIC7>. Acesso em: 15 jun. 2024.

RIBEIRO, R. S. **Caracterização do condicionamento acústico de uma sala de aula com o uso de painéis de madeira**. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2020. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5034/1/condicionamentoacusticopainelismadeira.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2023.

RIBEIRO, R. S. *et al.* Acoustical treatment characterization of a classroom with wood-based composites. **Applied Acoustics**, Amsterdam, v. 178, p. 107967, 2021. Disponível em: <https://www.scopus.com/pages/publications/85100885054>. Acesso em: 02 maio 2024.

RINDEL, J. H. **Sound insulation in buildings**. Boca Raton: CRC Press, 2017. Disponível em: https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781498700429_A31616770/preview-9781498700429_A31616770.pdf. Acesso em: 14 jun. 2024.

RODRIGUES, G. S. **Tendências no setor industrial de painéis de madeira**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2021. Disponível em: <https://rima.ufrrj.br/jspui/bitstream/20.500.14407/8873/1/GUILHERME%20SANTOS%20RODRIGUES.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2023.

ROEVER, L. Compreendendo os estudos de revisão sistemática. **Revista da Sociedade Brasileira de Clínica Médica**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 127-130, 2017. Disponível em: https://docs.bvsalud.org/biblioref/2017/11/875614/152_127-130.pdf. Acesso em: 12 dez. 2023.

ROSS, R. J. *et al.* **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. *E-book*.

ROVARIS, C. **Estudo para ampliação do uso da madeira para a construção de habitações no Brasil**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2019. Disponível em: <https://dspace.unila.edu.br/handle/123456789/5076>. Acesso em: 12 dez. 2023.

RUTHES, H. C. *et al.* Análise físico-mecânica de compósitos madeira-cimento e uso de modelos micromecânicos na predição de suas propriedades. **Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, João Pessoa, v. 59, n. 4, p. 1099-

1117, 2022. Disponível em:
<https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/5517>. Acesso em: 27 ago. 2024.

SAIS, D. **Análise do aumento da resistência do compósito cimento-madeira ao longo de 28 dias**. 2015. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Instituto de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Itapeva, 2015.

SANQUETTA, C. R. *et al.* Produção, importação, exportação e consumo aparente de painéis de madeira no Brasil entre 1961 e 2016. **BIOFIX Scientific Journal**, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 44-49, 2020. Disponível em:
<https://revistas.ufpr.br/biofix/article/view/66112>. Acesso em: 27 ago. 2024.

SCHWEINGRUBER, F. H. *et al.* **Atlas of stem anatomy of Arctic and Alpine plants around the globe**. Berlim: Springer Nature, 2020. *E-book*.

SCOPUS. **Documentos por país ou território**. [S.l.]: Scopus, [2024]. Disponível em: <https://shre.ink/tdQc>. Acesso em: 25 jan. 2025.

SEMPLE, K. E.; EVANS, P. D.; CUNNINGHAM, R. B. Compatibility of 8 temperate Australian Eucalyptus with Portland cement. **Holz als Roh und Werkstoff**, [S.l.], v. 58, p. 315-316, 2000. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s001070050436>. Acesso em: 1 out. 2024.

SISALSUL. **Fibra**: palha de madeira 10kg. [S.l.]: Sisal Sul, 2024. Disponível em:
https://www.sisalsulonline.com.br/MLB-3512882899-fibra-palha-de-madeira-10kg-_JM?searchVariation.html. Acesso em: 12 jan. 2024.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Dados do setor**. São Paulo: SINIC, [2022]. Disponível em: <http://snic.org.br/numeros-do-setor.php>. Acesso em: 16 out. 2024.

SOARES, P. B. *et al.* Análise bibliométrica da produção científica brasileira sobre Tecnologia de Construção e Edificações na base de dados Web of Science. **Ambiente Construído**, São Paulo, v. 16, p. 175-185, 2016. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/ac/a/7CmZ3n8FT8R5g93DkW5kzMJ/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 12 dez. 2023.

SPOSITO, F. A. **Painéis de partículas de cimento magnésiano e madeira Pinus spp. residual com adição de sílica ativa**. 2024. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Materiais) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2024.

SUDIN, R.; SWAMY, N. Bamboo and wood fibre cement composites for sustainable infrastructure regeneration. **Journal of materials science**, Norwell, v. 41, n. 21, p. 6917-6924, 2006. Disponível em: <https://www-periodicos-capes-gov-br.ez87.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscaador.html?task=detalhes&id=W1978958572>. Acesso em: 3 jan. 2024.

TECHNICON ACOUSTICS. **Mass Law e sound transmission loss**. [S.l.]: *Technicon Acoustics*, 2023. Disponível em: https://www-techniconacoustics-com.translate.goog/blog/mass-law-sound-transmission-loss/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt&_x_tr_pto=wa. Acesso em: 1 out. 2024.

THOMAS, N. L.; BIRCHALL, J. D. The retarding action of sugars on cement hydration. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 13, n. 6, p. 830-842, 1983. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0008884683900844>. Acesso em: 3 jan. 2024.

TITTELEIN, P.; CLOUTIER, A.; BISSONNETTE, B. Design of a low-density wood: cement particleboard for interior wall finish. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 34, n. 2, p. 218-222, 2012. Disponível em: <https://hal.science/hal-04352810/document>. Acesso em: 3 jan. 2024.

TRÉVISAN, B.; EGE, K.; LAULAGNET, B. Vibroacoustics of orthotropic plates ribbed in both directions: Application to stiffened rectangular wood panels. **The Journal of the Acoustical Society of America**, New York, v. 139, n. 1, p. 227-246, 2016. Disponível em: <https://hal.science/hal-01260373/>. Acesso em: 7 jan. 2024.

TUDOR, E. M. *et al.* Enhanced resistance to fire of the bark-based panels bonded with clay. **Applied Sciences**, Basel, v. 10, n. 16, p. 5594, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/16/5594>. Acesso em: 13 dez. 2024.

TURGUT, P.; ALGIN, H. M. Limestone dust and wood sawdust as brick material. **Building and Environment**, Oxford, v. 42, n. 9, p. 3399-3403, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132306002290>. Acesso em: 14 abr. 2024.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Emissões globais do setor de construção ainda são altas e continuam crescendo**. [S.l.]: UNEP, 2024. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/comunicado-de-imprensa/emissoes-globais-do-setor-de-construcao-ainda-sao>. Acesso em: 20 abr. 2024.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Forest Products Laboratory**: US forest service research and development. Washington: *USDA*, 2010. Disponível em: <https://research.fs.usda.gov/fpl>. Acesso em: 13 dez. 2024.

VAN ECK, N.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, Amsterdam, v. 84, n. 2, p. 523-538, 2010. Disponível em: https://www.issi-society.org/proceedings/issi_2009/ISSI2009-proc-vol2_Ago2009_batch2-paper-15.pdf. Acesso em: 15 jan. 2024.

VAN ELTEN, G. J. Cement bonded particle board (CBPB) and wood strand cement board (EltoBoard): Production, properties and applications. *In*: INTERNATIONAL INORGANIC-BONDED FIBER COMPOSITES CONFERENCE, 10., 2006, São Paulo. **Proceedings** [...]. São Paulo: IIBCC, 2006. Disponível em: <https://personales.upv.es/~vamigo/Holmer/04-procesado/Lecture%20bert%20o43%20v031106.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2024.

VASCONCELLOS, M. S.; OLIVEIRA, E. C. Gerenciamento de resíduos sólidos madeireiros: estudo em empresas madeireiras no município de Buri–SP. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 6, n. 10, p. 78118-78146, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/18227>. Acesso em: 3 mar. 2024.

VECTEEZY. **Placas OSB antigas feitas de lascas de madeira**. [S.l.]: Vecteezy, 2024. Disponível em: <https://pt.vecteezy.com/foto/12841810-placas-osb-antigas-sao-feitas-de-lascas-de-madeira-marrons-lixadas-em-um-fundo-de-madeira-vista-superior-do-fundo-de-aglomerado-de-folheado-de-madeira-osb-superficies-apertadas-e-sem-costura>. Acesso em: 12 jan. 2024.

VIITANEN, H.; OJANEN, T. Improved model to predict mold growth in building materials. *In*: THERMAL PERFORMANCE OF THE EXTERIOR ENVELOPES OF WHOLE BUILDINGS CONFERENCE, 10., 2007, Florida. **Proceedings** [...]. Atlanta: ASHRAE, 2008. Disponível em: <https://www.eurogypsum.org/wp-content/uploads/2015/05/N203.pdf>. Acesso em: 7 set. 2024.

WANG, L. *et al.* Recycling contaminated wood into eco-friendly particleboard using green cement and carbon dioxide curing. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 137, p. 861-870, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616310769>. Acesso em: 12 jan. 2024.

WANG, L. *et al.* Upcycling wood waste into fibre-reinforced magnesium phosphate cement particleboards. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 159, p. 54-63, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061817321621>. Acesso em: 12 jan. 2024.

WANG, L. *et al.* Value-added recycling of construction waste wood into noise and thermal insulating cement-bonded particleboards. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 125, p. 316–325, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816313162?via%3Dihub>. Acesso em: 12 jan. 2024

WASTENOTCAMBODIA. **Wood wool cement board**. [S.l.]: Waste not Cambodia, 2012. Disponível em: <https://wastenotcambodia.wordpress.com/2012/05/15/wood-wool-cement-board/>. Acesso em: 10 jun. 2024.

XIAMEN NOYA MANUFACTURING AND TRADING. **Placa de cimento de lã de madeira acústica colorida.jpg**. [S.l.]: Xiamen Noya Manufacturing and Trading, [2025]. Disponível em: https://pt.made-in-china.com/co_xmnoya/product_Colored-Acoustic-Fiber-Wood-Wool-Cement-Board_eigruyhug.html. Acesso em: 15 jan. 2025.

ZHOU, T. *et al.* Flexural performance of precast WWCB-filled concrete floor slabs. **Case Studies in Construction Materials**, [S.l.], v. 20, p. e02664, 2024. Disponível

em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509523008458>. Acesso em: 25 maio 2024.

DADOS CURRICULARES

IDENTIFICAÇÃO	
	NATHALY PROENÇA LOPES 11/06/2000
Nacionalidade	Brasileira
Nome em citações bibliográficas:	Lopes, Nathaly Proença Lopes, N. P. Proença Lopes, Nathaly
Currículo Lattes	https://lattes.cnpq.br/9108274793250865
ORCID	https://orcid.org/0009-0000-3657-9040
outro identificador	Não se aplica
FORMAÇÃO ACADÊMICA	
2022/2022	Curso de Especialização – Inspetor da qualidade na área de metalmeccânica. SENAI – Itu/SP
2017/2023	Curso de Graduação em Engenharia Industrial Madeira - Nível de Bacharelado. Instituto de Ciências e Engenharia – Itapeva/SP - Universidade Estadual Paulista
2023/atual	Curso de Pós-Graduação em Engenharia – Área: materiais - Nível de Mestrado Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá/SP - Universidade Estadual Paulista
PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA	

LOPES, Nathaly Proença *et al.* Avaliação do desempenho físico e acústico de painéis de tiras de madeira e cimento (WWCB) produzidos com diferentes processos de fabricação. *In: Anais do XVIII EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira.* Anais. Curitiba (PR) UFPR, 2025.

[LOPES, N. P.](#); CAMPOS, C. I.; SOUZA, A. J. D. Influência de variáveis no processo produtivo nas propriedades físicas de painéis WWCB: um estudo comparativo. *In: VIII Workshop de Pós-graduação em Engenharia, 2024, Guaratinguetá. VIII Workshop de Pós-graduação em Engenharia, 2024.*

FELIPPE SILVA, MARIA FERNANDA ; FELIPPE SILVA, JOÃO VÍTOR ; PIRES FRANCO, MARIANA ; **PROENÇA LOPES, NATHALY** ; RODRIGUES SOUSA, JENIFFER CRISTIANE ; INÁCIO DE CAMPOS, CRISTIANE . . DYNA (MEDELLÍN) *JCR*, v. 91, p. 121-127, 2024.

DE ALMEIDA MOREIRA, BRUNO RAFAEL ; CRUZ, VICTOR HUGO ; CUNHA, MATHEUS LUÍS OLIVEIRA ; **LOPES, NATHALY PROENÇA** ; MAGALHÃES, ANDERSON CHAGAS ; MIASAKI, CELSO TADAO ; CARASCHI, JOSÉ CLAUDIO ; DA SILVA VIANA, RONALDO . Valorization of semi-solid by-product from distillation of cellulosic ethanol into blends for heating and power. *Waste Disposal & Sustainable Energy JCR*, v. 1, p. 1-5, 2021.

[LOPES, N. P.](#); CARASCHI, JOSÉ CLAUDIO; SILVA, Nicole S. Caracterização energética do sorgo sacarino e do biochar. *In: XXXII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 2019, Itapeva.*

[LOPES, N. P.](#); [CARASCHI, J. C](#) ; MACHADO, B. J. B.; LUNA, C. M. R.; VIANA, R. S. . Caracterização física dos sorgos biomassa e sacarino. *In: XXXI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 2018, Itapeva-SP. Resumos, 2018.*

PARTICIPAÇÃO EM BANCAS E ORIENTAÇÕES

Bancas de trabalhos de conclusão

Não se aplica

Orientações

Não se aplica

PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS CIENTÍFICOS

XVIII EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira.

UGREEN - Workshop de Materiais Sustentáveis 2025.

VIII Workshop de Pós-graduação em Engenharia. Guaratinguetá/SP. 2024.

VII Workshop de Pós-graduação em Engenharia. Guaratinguetá/SP. 2023.

1ª Fase do XXXII Congresso de Iniciação Científica da Unesp. Caracterização energética de pellets de bagaço de cana-de-açúcar. 2020. (Congresso).

5º CIBIO - CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOMASSA. 2020. (Congresso).

XXXII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 2019, Itapeva.

XXXI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 2018, Itapeva-SP. Resumos, 2018.