

CENTRO PAULA SOUZA
ETEC PROFESSORA MARIA CRISTINA MEDEIROS
Ensino Médio com Habilitação Profissional em Química

Brenda Tomaz da Silva
Giovanna Pereira Dantas
Giovanna Spaca Giacomini
Giulia Litieri
Giulia Sales da Silva

**ECONUTS: Placa de Casca de Castanha-do-Pará para Isolamento
Acústico e Térmico**

Ribeirão Pires

2025

Brenda Tomaz da Silva
Giovanna Pereira Dantas
Giovanna Spaca Giacomini
Giulia Litieri
Giulia Sales da Silva

**ECONUTS: Placa de Casca de Castanha-do-Pará para Isolamento
Acústico e Térmico**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio da ETEC Prof.^a Maria Cristina Medeiros, orientado pelo Prof.^o Paulo César de Souza Cândido, como requisito parcial para obtenção do título de Técnico em Química.

Ribeirão Pires

2025

FICHA CATALOGRÁFICA
CATALOGAÇÃO CENTRALIZADA
Biblioteca da ETEC Prof.^a Maria Cristina Medeiros

E19

Econuts: placa de casca de castanha-do-Pará para isolamento acústico e térmico / Brenda Tomaz da Silva; Giovanna Pereira Dantas; Giovanna Spaca Giacomini; Giulia Litieri; Giulia Sales da Silva – Ribeirão Pires (SP): ETEC MCM, 2025. Monografia. 112 fls.

Formato PDF/A. Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Paula Souza, ETEC Prof.^a Maria Cristina Medeiros, Ensino Médio Integrado ao Técnico em Química, Ribeirão Pires (SP).

Orientador (a): Prof. Especialista em Análise Instrumental Avançada

- Paulo César de Souza Cândido

Depósito: Repositório Institucional do Conhecimento do Centro Paula Souza

Modo de acesso: <http://ric.cps.sp.gov.br>

1. Isolamento Termoacústico 2. Sustentabilidade 3. Resíduos Agroindustriais
4.

I. Título II. Autores

CDD 661

Elaborado Por: Patricia Cordeiro da Silva Farias – CRB-8/751

Brenda Tomaz da Silva
Giovanna Pereira Dantas
Giovanna Spaca Giacomini
Giulia Litieri
Giulia Sales da Silva

**ECONUTS: Placa de Casca de Castanha-do-Pará para Isolamento
Acústico e Térmico**

Paulo César de Souza Cândido

Paulo César de Souza Cândido

Banca Examinadora:

Juliana Souza da Cruz

Professor (a): Juliana Souza da Cruz.

Marta Aparecida Sant'Anna

Professor (a): Marta Aparecida Sant'Anna.

Paulo César de Souza Cândido

Professor (a): Paulo César de Souza Cândido.

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho ao Sr. Antônio Carlos do Carmo, cuja presença foi essencial ao longo de toda a nossa trajetória na realização deste Trabalho de Conclusão de Curso. Mais do que um orientador e colaborador, foi um verdadeiro pilar de apoio, oferecendo não apenas seus conhecimentos e experiência, mas também uma disposição constante para ajudar, sempre com bom humor, leveza e um admirável senso de humanidade.

Seu alto astral e sua capacidade de enxergar além das dificuldades tornaram este processo, muitas vezes desafiador e exaustivo, em uma experiência mais leve, produtiva e, por vezes, até divertida. Graças à sua forma acolhedora e ao seu olhar otimista, conseguimos encarar as exigências do TCC com mais confiança e tranquilidade.

A ele, nossa mais profunda gratidão e respeito.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, com sincera gratidão, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

À equipe da Noz do Brasil, por fornecerem nossa principal matéria-prima e pela disposição e confiança no nosso trabalho.

À querida Luciane Vigiani de Oliveira, pela gentileza diária, pelo acolhimento e pela pronta disposição de ajuda.

Ao Sr. Antônio, auxiliar incansável, cuja disposição e comprometimento facilitaram muitos dos aspectos logísticos e práticos envolvidos em nossa rotina de estudos.

Aos nossos amigos e familiares, pelo apoio emocional, pela paciência e por acreditarem em nosso potencial mesmo quando duvidamos de nós mesmos. A vocês, nossa mais profunda admiração e carinho.

E ao nosso orientador, Professor Paulo César de Souza Cândido, por sua orientação precisa, sua disponibilidade e por ter nos conduzido com seriedade e profissionalismo.

A todos, o nosso muito obrigado.

“O que vale na vida não é o ponto de partida e sim a caminhada. Caminhando e semeando, no fim, terás o que colher.”

Cora Coralina

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como foco o desenvolvimento, caracterização e avaliação de placas de isolamento acústico e térmico a partir da utilização de resíduos agroindustriais, tendo a casca da castanha-do-Pará como principal matéria-prima. A pesquisa parte da problemática da elevada geração de resíduos agroindustriais e da crescente poluição térmica e acústica em ambientes urbanos, buscando alternativas sustentáveis que promovam a economia circular e reduzam os impactos ambientais. Foi elaborada a formulação experimental com diferentes proporções de ligantes naturais como amido, cal, óleo de linhaça, glicerina e pó de grafite - submetidas a processos variados de cura em estufa, com o intuito de otimizar as propriedades térmicas e acústicas dos materiais. Dessa forma, o estudo contribui para o avanço na área de materiais sustentáveis, destacando a importância do reaproveitamento de resíduos agroindustriais e apresentando soluções inovadoras para mitigar os efeitos da poluição térmica e acústica de maneira ecológica e responsável.

Palavras-chave: isolamento termoacústico; sustentabilidade; resíduos agroindustriais.

ABSTRACT

This Undergraduate Final Project focuses on the development, characterization, and evaluation of acoustic and thermal insulation panels using agro-industrial residues, with the shell of the Brazil nut as the main raw material. The research addresses the issue of the high generation of agro-industrial waste and the increasing thermal and acoustic pollution in urban environments, seeking sustainable alternatives that promote the circular economy and reduce environmental impacts. An experimental formulation was prepared with different proportions of natural binders such as starch, lime, linseed oil, glycerin, and graphite powder, which were subjected to various curing processes in an oven to optimize the thermal and acoustic properties of the materials. Thus, the study contributes to advances in the field of sustainable materials, highlighting the importance of reusing agro-industrial residues and presenting innovative solutions to mitigate the effects of thermal and acoustic pollution in an ecological and responsible manner.

Keywords: thermoacoustic insulation; sustainability; agro-industrial residues.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura da casca do ovo.....	24
Figura 2 - Composição química da água.....	35
Figura 3 - <i>Linum usitatissimum</i> (Linhaça).....	37
Figura 4 - Óleo de linhaça fervido.....	39
Figura 5 - Transesterificação de triglicerídeos na produção de biodiesel.....	43
Figura 6 - Fórmula de linhas.....	44
Figura 7 - Fórmula estrutural tridimensional.....	44
Figura 8 - Calcário.....	47
Figura 9 - Estrutura de rede hexagonal e bidimensional.....	52
Figura 10 - Desmoldante de silicone em spray.....	55
Figura 11 - Foto dos ingredientes do ligante.....	58
Figura 12 - Foto da Consistência do ligante.....	59
Figura 13 - Foto das placas em tempo de cura.....	60
Figura 14 - Foto do teste de inflamabilidade.....	60
Figura 15 - Foto do teste 01 da placa.....	62
Figura 16 - Foto do teste 02 da placa.....	63
Figura 17 - Foto da textura do ligante 03.....	64
Figura 18 - Foto do teste 03 da placa.....	65
Figura 19 - Foto do início do teste de chamas.....	66
Figura 20 - Foto da placa após o teste de chamas.....	66
Figura 21 - Foto da placa 01 com formulação correta do ligante.....	68
Figura 22 - Foto dos resultados das placas 03 e 04.....	69
Figura 23 - Foto da estruturação do cubo para eventual teste acústico.....	70
Figura 24 - Foto do pedaço da placa para teste de umidade no solo.....	71
Figura 25 - Resultado da placa com formulação alterada.....	72
Figura 26 - Resultado da placa com formulação alterada.....	73
Figura 27 - Foto da placa pós desmoldar.....	74
Figura 28 - Foto da composição da placa em seu molde.....	75
Figura 29 - Foto do teste 01 pós tempo de cura.....	76
Figura 30 - Foto do teste 02 pós tempo de cura.....	78
Figura 31 - Foto do processo de mistura do ligante com o agitador mecânico.....	80
Figura 32 - Foto do resultado das placas com aumento da glicerina.....	80

Figura 33 - Primeira camada.....	85
Figura 34 - Inserção da fibra de coco.	86
Figura 35 - Segunda camada.....	87
Figura 36 - Camada final.....	87
Figura 37 - Tempo de cura da placa.....	88
Figura 38 - Canvas empresarial.....	91
Figura 39 - Teste acústica com diferentes sons.....	93
Figura 40 - Teste térmico com pétala de rosa.....	94

ÍNDICE DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1 - Processo de fabricação do ligante.	82
Fluxograma 2 - Processo de produção e montagem da placa.....	83
Fluxograma 3 - Processo de produção e montagem da placa em escala industrial.	84

INDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Rendimento dos custos.....	89
Tabela 2 - Custos de uma indústria de placas termoacústicas.....	90

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Gráfico da faixa etária dos participantes.....	96
Gráfico 2 – Gráfico do gênero dos participantes.....	97
Gráfico 3 – Gráfico de resposta da pergunta 1 (um).....	97
Gráfico 4 – Gráfico de resposta da pergunta 2 (dois).....	98
Gráfico 5 – Gráfico de respostas da pergunta 3 (três).....	98
Gráfico 6 – Gráfico de respostas da pergunta 4 (quatro).....	99
Gráfico 7 – Gráfico de respostas da pergunta 5 (cinco).....	99
Gráfico 8 – Gráfico de respostas da pergunta 6 (seis).....	100
Gráfico 9 – Gráfico de respostas da pergunta 7 (sete).....	100
Gráfico 10 – Gráfico de respostas da pergunta 8 (oito).....	101
Gráfico 11 – Gráfico de respostas da pergunta 9 (nove).....	101
Gráfico 12 – Gráfico de respostas da pergunta 10 (dez).....	102

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVO.....	19
2.1 Objetivo Geral	19
2.2 Objetivos Específicos	19
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	20
3.1 Casca de Castanha-do-Pará.....	20
3.1.1 Extração	20
3.1.2 Composição Química	20
3.1.3 Características Físico-Químicas	21
3.1.4 Aplicações Gerais	21
3.1.5 Sustentabilidade	22
3.1.6 Atuação na Placa.....	22
3.2 Casca de Ovo	22
3.2.1 Extração	22
3.2.2 Composição Química	23
3.2.3 Desenvolvimento da Casca do Ovo.....	23
3.2.4 Características Físico-Químicas	25
3.2.5 Aplicações Gerais	26
3.2.6 Sustentabilidade	27
3.2.7 Atuação na Placa.....	27
3.3 Fibra de Coco	28
3.3.1 Extração	28
3.3.2 Composição Química	28
3.3.3 Características Físico-Químicas	28
3.3.4 Aplicações Gerais.....	29

3.3.5 Sustentabilidade	30
3.3.6 Atuação na Placa	30
3.4 Amido de Milho	31
3.4.1 Extração	31
3.4.2 Composição Química	31
3.4.3 Características Físico-Químicas	32
3.4.4 Aplicações Gerais	32
3.4.5 Sustentabilidade	33
3.4.6 Atuação na Placa	33
3.5 Água	34
3.5.1 Extração	34
3.5.2 Composição Química	34
3.5.3 Características Físico-Químicas	35
3.5.4 Aplicações Gerais	35
3.5.5 Sustentabilidade	36
3.5.6 Atuação na Placa	36
3.6 Óleo de linhaça	37
3.6.1 Extração	38
3.6.2 Composição Química	38
3.6.3 Características Físico-Químicas	39
3.6.4 Aplicações Gerais	40
3.6.5 Sustentabilidade	41
3.6.6 Atuação na Placa	42
3.7 Glicerina	42
3.7.1 Extração	43
3.7.2 Composição Química	43
3.7.3 Características Físico-Químicas	44

3.7.4 Aplicações Gerais	45
3.7.5 Sustentabilidade	46
3.7.6 Atuação na Placa	46
3.8 Cal Hidratada	47
3.8.1 Extração	47
3.8.2 Composição Química	48
3.8.3 Características Físico-Químicas	48
3.8.4 Aplicações Gerais	49
3.8.5 Sustentabilidade	50
3.8.6 Atuação na Placa	50
3.9 Pó de Grafite	51
3.9.1 Extração	51
3.9.2 Composição Química	52
3.9.3 Características Físico-Químicas	53
3.9.4 Aplicações Gerais	53
3.9.5 Sustentabilidade	54
3.9.6 Atuação na Placa	54
3.10 Desmoldante	55
3.10.1 Composição Química	56
3.10.2 Características Físico-Químicas	56
3.10.3 Aplicações Gerais	56
3.10.4 Sustentabilidade	57
3.10.5 Atuação na Placa	57
4 TESTES DE FORMULAÇÃO	58
5 MATERIAIS E METODOLOGIA	81
5.1 Materiais	81
5.2 Metodologia de Formulação	81

5.3 Fluxograma Laboratorial.....	82
5.4 Fluxograma Industrial	84
6 MONTAGEM DA LINHA DA PLACA ACÚSTICA E TÉRMICA	85
6.1 Preparação da Forma.....	85
6.2 Primeira Camada.....	85
6.3 Inserção da Fibra de Coco	86
6.4 Segunda Camada.....	86
6.5 Camada Final e Fechamento	87
6.6 Cura da Placa	88
7 PLANEJAMENTO ORÇAMENTÁRIO	89
7.1 Matéria-Prima	89
7.2 Plano Industrial	90
7.3 Modelo de Negócios (Canvas Empresarial)	90
7.4 Produção Mensal e Lucros.....	91
8 ANÁLISES E TESTES.....	92
8.1 Testes Acústicos.....	92
8.2 Testes Térmicos	93
9 METODOLOGIA DE PESQUISA	95
10 PESQUISA DE CAMPO	96
11 RESULTADOS E DISCUSSÕES	103
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	105

1 INTRODUÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem como foco o desenvolvimento de uma placa de isolamento acústico e térmico a partir de resíduos agroindustriais, com ênfase na utilização da casca da castanha-do-Pará, complementada por outros materiais como fibra de coco, casca de ovo, pó de grafite, cal hidratada, óleo de linhaça e amido. A proposta central é avaliar o potencial desses resíduos como matéria-prima sustentável, buscando alternativas que conciliem eficiência técnica e viabilidade ambiental.

O problema que motiva esta pesquisa está diretamente relacionado à crescente demanda por materiais de construção sustentáveis que aliem baixo custo, eficiência energética e redução da poluição sonora, ao mesmo tempo em que enfrenta-se o desafio do descarte inadequado de resíduos orgânicos. A casca da castanha-do-Pará muitas vezes é subutilizada ou descartada, representando uma oportunidade de reaproveitamento em produtos de maior valor agregado.

A justificativa deste estudo se apoia no fato de que a indústria da construção civil ainda depende, em larga escala, de materiais sintéticos e não renováveis, que podem gerar impactos ambientais significativos. Assim, explorar formulações alternativas baseadas em resíduos agroindustriais possibilita não apenas reduzir a geração de lixo, mas também criar materiais ecológicos inovadores.

A delimitação do tema consiste em concentrar a pesquisa na formulação, produção e análise de placas acústicas e térmicas compostas majoritariamente pela casca da castanha-do-Pará, em combinação com ligantes naturais e aditivos selecionados. O estudo inclui a testagem de diferentes proporções e processos de cura, visando identificar a formulação mais adequada para resistir às condições de uso em ambientes de construção.

A relevância do tema se estabelece em dois eixos principais: no âmbito científico, pelo avanço na pesquisa de materiais sustentáveis alternativos para a construção civil (COMPÓSITO TERMO-ACÚSTICO DE RESÍDUO DA INDÚSTRIA DE CELULOSE..., 2020); e no âmbito social e ambiental, pela possibilidade de oferecer uma solução de baixo custo e impacto positivo ao meio ambiente, ao transformar resíduos orgânicos em produtos funcionais (SANTOS, 2015).

Além disso, este estudo estabelece uma relação direta com a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), contribuindo para diferentes Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A pesquisa atende ao ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura, ao desenvolver um material inovador de origem biocompósita, com potencial aplicação na construção civil e na melhoria do desempenho ambiental de edificações. Também se alinha ao ODS 12 – Consumo e Produção Responsáveis, ao propor o aproveitamento de resíduos agroindustriais, como casca de castanha-do-Pará, casca de ovo e fibra de coco, reduzindo a geração de resíduos e incentivando práticas mais sustentáveis de produção. Por fim, contribui para o ODS 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima, uma vez que o uso de materiais ecológicos e o aprimoramento do isolamento termoacústico podem mitigar impactos climáticos, diminuindo a necessidade de sistemas artificiais de climatização e, conseqüentemente, a emissão de gases de efeito estufa.

Por fim, as hipóteses que norteiam este trabalho são:

- A casca da castanha-do-Pará, em conjunto com resíduos como casca de ovo e fibra de coco, pode resultar em um material com propriedades satisfatórias de isolamento acústico e térmico;
- O uso de ligantes naturais (amido, cal, óleo de linhaça, glicerina e pó de grafite) proporciona resistência mecânica adequada às placas;
- A formulação ideal dependerá do equilíbrio entre proporção de resíduos e ligantes, assim como das condições de cura, sendo possível alcançar um desempenho competitivo em relação a materiais convencionais.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver e analisar placas de isolamento acústico e térmico a partir da casca da castanha-do-Pará e outros resíduos naturais, buscando verificar sua eficiência, resistência mecânica e viabilidade sustentável como alternativa aos materiais convencionais utilizados na construção civil.

2.2 Objetivos Específicos

- Formular diferentes proporções de ligantes naturais (amido, cal hidratada, óleo de linhaça, glicerina, pó de grafite) para determinar a composição mais estável e resistente;
- Avaliar o comportamento das placas em testes de cura sob diferentes condições de temperatura e tempo;
- Testar o desempenho das placas quanto à resistência mecânica, observando presença de esfrelamento, fissuras ou fragilidade estrutural;
- Realizar ensaios de isolamento acústico e térmico, comparando o desempenho das placas em diferentes formulações;
- Identificar as principais vantagens e limitações do uso da casca da castanha-do-Pará como matéria-prima na produção de placas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A sua composição apresentará casca de castanha-do-Pará, casca de ovo, fibra de coco, amido de milho, óleo de linhaça, glicerina, cal hidratada e pó de grafite.

3.1 Casca de Castanha-do-Pará

A castanheira-do-Pará (*Bertholletia excelsa*), árvore nativa da Amazônia, produz frutos conhecidos como ouriços, que são grandes cápsulas lenhosas extremamente duras e resistentes. O ouriço é o verdadeiro fruto da planta e não deve ser confundido com a castanha que consumimos, que na verdade é a semente do fruto.

O ouriço tem formato esférico ou ligeiramente ovalado, com cerca de 10 a 15 centímetros de diâmetro e pode pesar até 2,5 quilos. Sua parede externa, chamada pericarpo, é composta por tecido vegetal altamente lignificado e celulósico, o que lhe confere uma dureza excepcional. Essa casca espessa e lenhosa é capaz de resistir à queda de grandes alturas – o que é essencial, considerando que os ouriços caem de árvores que podem ultrapassar os 50 metros de altura.

Dentro do ouriço, encontram-se de 10 a 25 sementes: essas são as castanhas-do-pará que consumimos. Elas ficam alojadas em cavidades internas no fruto, bem encaixadas, mas soltas. Cada semente dentro do ouriço é recoberta por uma casca individual própria. Essa casca é rígida, de cor marrom escura, e tem entre 1 a 3 milímetros de espessura. Embora seja muito mais fina que o pericarpo do ouriço, ainda é bastante resistente. Ela protege a parte interna da semente – a amêndoa branca comestível – contra umidade, micro-organismos e insetos. Essa estrutura permite que as castanhas-do-pará sejam armazenadas por longos períodos sem se deteriorar, desde que estejam secas (COSTA *et al.*, 2009).

3.1.1 Extração

A casca da castanha-do-Pará é retirada das castanhas, que terão outro fim, fazendo uma grande quantidade de resíduos (casca) ser descartada e desperdiçada pela falta de conhecimento sobre as suas propriedades.

3.1.2 Composição Química

As cascas apresentam um alto teor de fibras devido a presença de endocarpo lenhoso e fibroso (COSTA *et al.*, 2009).

3.1.3 Características Físico-Químicas

3.1.3.1 Odor

A casca da castanha-do-Pará geralmente não tem um odor forte ou desagradável, mas, como é de origem natural, pode apresentar um leve cheiro terroso ou de madeira. Quando seca, o cheiro pode ser mais discreto. Caso a casca esteja em contato com umidade ou em processo de decomposição, pode exalar um cheiro mais intenso de decomposição orgânica.

3.1.3.2 Estado Físico e Aparência

A casca da castanha-do-Pará é dura e espessa. Ela apresenta uma superfície áspera e pode ter diferentes tonalidades de marrom, geralmente com padrões mais claros ou mais escuros. Em sua forma natural, a casca tem uma estrutura mais rígida e é quebradiça, exigindo algum esforço para ser quebrada ou esmagada. As cascas das castanhas maduras podem ter uma forma oval ou arredondada, com algumas variações dependendo da castanha em questão. Seu tamanho é suficiente para proteger a semente com eficiência.

3.1.3.3 Resistência Mecânica

A casca da castanha-do-Pará tem uma boa resistência mecânica, sendo muito mais resistente e dura do que as cascas de muitos outros frutos. Essa resistência é uma adaptação natural para proteger a semente do ambiente externo e de predadores. Contudo, apesar de ser resistente à quebra, ela não é completamente indestrutível. Com a aplicação de força, pode ser quebrada ou esmagada. Em processos industriais, ela geralmente é tratada para ser quebrada de maneira controlada. A casca também é relativamente resistente à umidade, mas, se exposta por longos períodos à água ou umidade constante, pode se decompor lentamente, perdendo resistência e estrutura (SANTOS *et al.*, 2022).

3.1.4 Aplicações Gerais

As cascas da castanha-do-Pará (*Bertholletia excelsa* Bolp.) surge como produto a ser utilizado como um biofertilizante no cultivo de plantas. Onde mostrou um desempenho superior no desenvolvimento dos vegetais, com destaque para o crescimento das raízes de alface, que tiveram um crescimento significativamente maior (ANJOS *et al.*, 2016).

3.1.5 Sustentabilidade

A castanha do Brasil é muito abundante na região norte, entretanto, apenas a amêndoa é comercializada, enquanto a casca e o ouriço são descartados, tornando-se subprodutos no ambiente. A cada tonelada de amêndoas processadas da castanha do Brasil, tem-se 1,4 toneladas de resíduos, Brasil teve uma produção de 38.300 toneladas de castanha no ano de 2013, sendo 36.704 toneladas produzidas apenas na região Norte. Por vez o uso desses resíduos orgânicos justifica-se não apenas pelos aspectos de reciclagem de nutrientes no meio e aumento no rendimento das culturas (ANJOS *et al.*, 2016).

3.1.6 Atuação na Placa

- Isolamento Térmico: A estrutura da casca da castanha-do-Pará é formada por fibras vegetais e uma composição porosa que dificulta a passagem do calor. Essa característica reduz significativamente a condução térmica, o que torna o material ideal para atuar como isolante térmico. Em outras palavras, a casca ajuda a manter a temperatura de um ambiente mais estável, bloqueando parte do calor que entra durante o dia e retendo o calor interno durante períodos mais frios;
- Isolamento Acústico: Além da eficiência térmica, a casca também apresenta boas propriedades acústicas. Sua estrutura fibrosa e irregular ajuda a absorver e dissipar ondas sonoras, minimizando a reflexão do som em ambientes internos.

3.2 Casca de Ovo

A casca de ovo é considerada um biomaterial formado predominantemente por carbonato de cálcio, além de conter pequenas frações de carbonato de magnésio, fosfato de cálcio e matéria orgânica. Esse material apresenta múltiplas possibilidades de uso, destacando-se como substituto ósseo, catalisador na síntese de biodiesel e adsorvente para a remoção de poluentes em soluções (CHEMOSPHERE, 2020).

3.2.1 Extração

O pó da casca de ovo é empregado como componente da chamada multimistura, devido ao seu elevado teor de cálcio, oferecendo essa vantagem sem o alto valor calórico característico da maioria dos derivados lácteos. Contudo, a qualidade da casca pode ser afetada pelas condições de produção e de

armazenamento do ovo. Vale destacar que dejetos animais podem gerar nitratos, os quais, por meio de reações de redução, podem ser convertidos em íons nitrito (SANTOS *et al.*, 2012).

3.2.2 Composição Química

A casca de ovo de galinha, composta por aproximadamente 40% de cálcio na forma de carbonato de cálcio (CaCO_3), apresenta-se como uma alternativa de baixo custo e fácil acesso para suprir as necessidades nutricionais da população. Estima-se que, anualmente, sejam produzidas cerca de 6 milhões de toneladas de cascas de ovos em domicílios e indústrias alimentícias em todo o mundo.

Atualmente, a maior parte desse resíduo é direcionada à agricultura, principalmente para a correção do pH do solo. A valorização desse subproduto pode contribuir para reduzir a exploração de fontes naturais não renováveis de CaCO_3 , como a rocha calcária. Além disso, o cálcio presente na casca de ovo apresenta alta biodisponibilidade, comprovada tanto em estudos com animais experimentais quanto em seres humanos.

Embora o cálcio seja o mineral mais abundante, a casca de ovo também contém outros minerais em menores concentrações, como magnésio (Mg), estrôncio (Sr), ferro (Fe), selênio (Se), entre outros. Contudo, apenas alguns trabalhos analisaram a composição mineral desse subproduto com um número significativo de amostras (MILBRADT *et al.*, 2015).

3.2.3 Desenvolvimento da Casca do Ovo

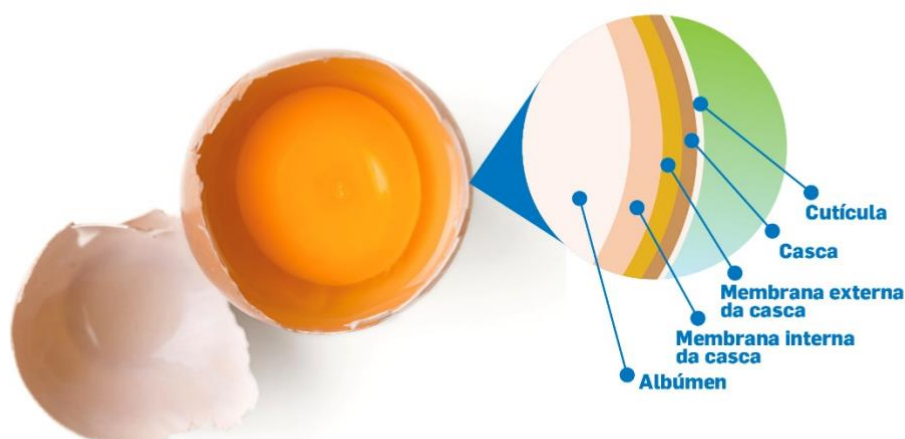
Para compreender alguns fatores que influenciam a qualidade da casca do ovo, como a idade da ave e o horário da alimentação, é necessário primeiro entender o processo de formação da casca e a postura do ovo (NERY, 2024).

A formação da casca é a etapa mais longa, estendendo-se desde a ovulação até a oviposição. Pesquisas indicam que esse processo, incluindo a produção das membranas e a calcificação, leva em média de 20 a 23 horas (NERY, 2024).

Esse desenvolvimento inicia-se antes da calcificação, no útero, quando as membranas da casca são produzidas no istmo. A casca é composta por duas membranas — interna e externa — localizadas abaixo da camada calcificada e responsáveis por separar a estrutura da casca do albúmen. Essas membranas são

constituídas principalmente por glicoproteínas, proteínas e fibras de colágeno (NERY, 2024).

Figura 1 - Estrutura da casca do ovo.



Fonte: DeHeus, 2024.

Sobre a membrana externa da casca, ocorre a deposição de cristais de carbonato de cálcio, resultante da combinação entre íons cálcio (Ca^{2+}) e bicarbonato (HCO_3^-), conforme a reação: $\text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}^+$ (NERY, 2024).

De acordo com ITO (1998), ovos de poedeiras comerciais com casca de boa qualidade apresentam cerca de 2,2 gramas de cálcio na forma de carbonato de cálcio. Além do cálcio, que é o mineral predominante, também podem ser encontrados fósforo e magnésio em quantidades consideráveis, além de traços de potássio, zinco, manganês e cobre.

A maioria das posturas ocorre pela manhã. Normalmente, a ovulação acontece de uma a duas horas após a oviposição. Dessa forma, conforme descrito na literatura, a deposição do albúmen ocorre do meio do dia até o fim da tarde. Em seguida, após a formação das membranas, o processo de calcificação da casca acontece durante a noite, resultando em uma nova oviposição na manhã seguinte (NERY, 2024).

Cálcio:

Diversos aspectos relacionados à dieta das galinhas podem influenciar, de forma direta ou indireta, a qualidade da casca do ovo. O cálcio, principal componente da matriz mineral da casca, tem sua concentração plasmática regulada pela ave por meio de um sistema de homeostase. Esse equilíbrio é controlado pela ação conjunta do paratormônio (PTH), da calcitonina e do 1,25-dihidroxicolecalciferol (DHC, derivado da vitamina D), que atuam nos rins, fígado, ossos e intestino (NERY, 2024).

3.2.4 Características Físico-Químicas**3.2.4.1 Estado Físico**

- Sólido e estrutura rígida, quebradiça (RODRIGUES *et al.*, 2017).

3.2.4.2 Aparência

- **Cor:** varia entre branco e marrom (dependendo da raça da galinha);
- **Textura:** superfície porosa e levemente rugosa (RODRIGUES *et al.*, 2017).

3.2.4.3 Odor

- Inodoro, se a casca estiver limpa e fresca;
- Pode apresentar odor característico se contaminada por matéria orgânica (fezes, gema/vitelo, etc.) (RODRIGUES *et al.*, 2017).

3.2.4.4 Densidade

- A densidade do ovo inteiro varia de 1,03 a 1,10 g/cm³;
- A casca é menos densa que materiais como rochas, mas mais densa que madeira;
- Pode ser estimada em torno de 2,0–2,5 g/cm³, devido ao seu conteúdo de carbonato de cálcio (CaCO₃) (RODRIGUES *et al.*, 2017).

3.2.4.5 Viscosidade

- A casca é sólida, então não possui viscosidade mensurável;
- Viscosidade se aplica a líquidos (RODRIGUES *et al.*, 2017).

3.2.4.6 pH

A casca em si não tem um pH da mesma forma que soluções, mas:

- Quando moída e suspensa em água, sua solução pode ter pH alcalino, geralmente entre 8 e 9;

- Isso se deve ao carbonato de cálcio, que é uma base fraca (RODRIGUES *et al.*, 2017).

3.2.4.7 Solubilidade

- Insolúvel em água;
- Solúvel em ácidos, como ácido acético (vinagre) ou ácido clorídrico (HCl), liberando gás carbônico (CO₂) (RODRIGUES *et al.*, 2017).

3.2.5 Aplicações Gerais

3.2.5.1 Aplicação Alimentícia

Suplemento de cálcio

- Farinha de casca de ovo é rica em carbonato de cálcio (~97%), essencial para ossos e dentes;
- Pode ser adicionada a pães, massas, biscoitos e sucos como fortificante natural (MURAKAMI *et al.*, 2007).

Alimentação animal

- Utilizada na ração de aves, suínos e outros animais para fornecer cálcio, melhorando a formação de ossos e ovos (MURAKAMI *et al.*, 2007).

3.2.5.2 Aplicação Industrial

Indústria de plásticos e borracha

- Usada como carga mineral (filler) em plásticos biodegradáveis, aumentando a resistência mecânica e reduzindo custos (MARTELLI, 2023).

Produção de cerâmica e cimento

- Pode ser aproveitada como fonte de cálcio em massas cerâmicas e em misturas de cimento ecológico (JÚNIOR, 2022).

Indústria cosmética

O carbonato de cálcio da casca pode ser usado em:

- Esfoliantes (como agente abrasivo suave);
- Máscaras faciais;
- Produtos clareadores (MARTELLI, 2023).

3.2.5.3 Aplicação Ambiental

Tratamento de água e efluentes

- A casca moída pode ser usada para remover metais pesados da água (como chumbo e cádmio), atuando como bioadsorvente (VIANA, 2018).

Neutralização de solos ácidos

- Atua como corretivo de solo, semelhante ao calcário agrícola;
- Ajuda no equilíbrio do pH e na fertilidade do solo (MONACO, 2016).

3.2.6 Sustentabilidade

As cascas de ovo podem ser aproveitadas de forma sustentável como adubo, graças ao seu elevado teor de carbonato de cálcio, favorecendo a saúde do solo, a nutrição das plantas e a diminuição do desperdício. Quando trituradas em pó, apresentam maior eficácia como fertilizante, além de poderem ser utilizadas como barreira física contra pragas, como lesmas e caracóis (AS CASCAS DE OVO SÃO UM EXCELENTE FERTILIZANTE ORGÂNICO PARA A SUA HORTA..., 2024).

Benefícios da casca de ovo como recurso sustentável

- **Fertilizante natural:** rica fonte de cálcio, essencial para o desenvolvimento e a vitalidade das plantas;
- **Redução de resíduos:** converte um subproduto alimentar em recurso útil, diminuindo o descarte em aterros sanitários;
- **Prevenção de pragas:** fragmentos maiores de casca de ovo espalhados ao redor das plantas podem inibir a ação de lesmas, caracóis e outros insetos de corpo mole;
- **Alternativa ecológica:** substitui fertilizantes convencionais, promovendo práticas agrícolas mais saudáveis e sustentáveis (AS CASCAS DE OVO SÃO UM EXCELENTE FERTILIZANTE ORGÂNICO PARA A SUA HORTA..., 2024).

3.2.7 Atuação na Placa

A casca de ovo, principal matéria-prima utilizada no desenvolvimento da placa de isolamento acústico e térmico, exerce funções fundamentais no desempenho do material. Sua composição é majoritariamente formada por carbonato de cálcio (CaCO_3), substância que garante elevada rigidez e resistência mecânica, contribuindo para a durabilidade da placa. Além disso, a estrutura porosa da casca favorece a

absorção sonora, auxiliando no bloqueio e na dissipação de ondas acústicas. No aspecto térmico, essa porosidade também funciona como uma barreira natural à transferência de calor, reduzindo a condução térmica. Assim, o aproveitamento da casca de ovo, além de potencializar o desempenho do produto como isolante, promove a sustentabilidade, ao reutilizar um resíduo orgânico que seria descartado no meio ambiente.

3.3 Fibra de Coco

As fibras de coco são fibras vegetais oriundas de subprodutos da agricultura, sendo extraídas após a utilização principal do fruto. As fibras são obtidas da casca do fruto e podendo ser extraídas tanto do coco seco como verde. Conforme BHATIA e SMITH (2008), o fruto inteiro está envolto numa casca externa que no começo é verde e depois fica marrom. Sob a casca encontra-se a camada de fibras com 3 a 5 cm de espessura.

3.3.1 Extração

A fibra de coco é extraída da casca do coco, um processo que se baseia em métodos sustentáveis. Primeiro, as cascas são coletadas e deixadas ao sol para secar naturalmente. Em seguida, são trituradas para separar as fibras, que passam por uma limpeza minuciosa. Este processo de extração é cuidadosamente elaborado para garantir que a fibra de coco seja pura, livre de impurezas e pronta para uso. Além disso, é um procedimento ambientalmente responsável, pois utiliza recursos naturais de forma eficiente e não causa danos ao ecossistema.

3.3.2 Composição Química

A casca do coco verde, assim como a do coco maduro, é constituída por uma fração de fibras e outra denominada de pó. As fibras de coco são materiais lignocelulósicos obtidos do mesocarpo de cocos e caracterizam-se pela sua dureza e durabilidade atribuída ao alto teor de lignina, quando comparadas com outras fibras naturais (SILVA, 2006).

3.3.3 Características Físico-Químicas

3.3.3.1 Odor

A fibra de coco tem um odor característico, que pode ser descrito como levemente terroso ou amadeirado. Esse odor pode ser mais forte quando a fibra ainda

está em seu estado mais natural e fresco. No entanto, após o processo de secagem ou tratamento, o odor tende a diminuir.

3.3.3.2 Estado Físico e Aparência

A fibra de coco apresenta um estado físico sólido e fibroso. Ela pode ser encontrada em duas formas principais:

- Fibra longa: Proveniente da parte externa da casca do coco, é mais espessa e resistente;
- Fibra curta (ou “coir”): Obtida do interior da casca, possui fios mais curtos e é mais flexível.

Sua aparência é geralmente marrom ou acinzentada, com fios que podem ser entrelaçados ou soltos. Após o processamento, a fibra pode ser transformada em tapetes, cordas, estofados e até mesmo materiais para jardinagem.

3.3.3.3 Resistência Mecânica

A fibra de coco é bastante resistente e durável. Ela tem boa resistência ao desgaste e à tração, o que a torna adequada para uma variedade de usos, como na fabricação de cordas, tapetes, cestas e até materiais de construção. A fibra é naturalmente resistente à água e ao crescimento de fungos e bactérias, o que aumenta sua durabilidade, especialmente em ambientes úmidos.

3.3.4 Aplicações Gerais

- Manufatura de colchões para salto, por possuir grande elasticidade;
- Tapetes, capachos, pois têm alta durabilidade, maior retenção da sujeira, além de fungicida natural;
- Cordame especial para navios, pois é resistente à água do mar;
- Escovas, vassouras;
- Todo material de enchimento ou almofadas;
- Fabricação de madeira prensada utilizada na construção de casas;
- Fabricação de mantas de fibra de coco para reflorestamento, facilita o início do processo de sucessão ecológica e projetos de recuperação ambiental, recuperação de mata ciliar, reflorestamento em áreas erodidas, degradadas e inclusive em locais de difícil acesso como pedreiras íngremes.

- Embalagens ecologicamente corretas para flores, as mantas também são utilizadas para embalar buques, ramalhetes e flores em vaso;
- Amplamente utilizado na área de jardinagem e decoração;
- Substrato para mudas em viveiros;
- Fabricação de vasos usado na jardinagem e como substrato no plantio de orquídeas.

3.3.5 Sustentabilidade

Segundo BARBOSA, *et al.* (2016) destacaram que, anualmente, o Brasil produz cerca de 8,1 bilhões de unidades de coco que geram 70% do resíduo encontrado nas praias, tendo como destinação final lixões e aterros e, assim, diminuindo a vida útil desses, pois este resíduo apresenta alto volume, leva cerca de 8 anos para sua decomposição completa, sendo potenciais emissores de gases estufa, contaminam o solo e podem contribuir na proliferação de animais peçonhentos. Desse modo, a reutilização deste material se torna uma alternativa atrativa para o meio ambiente.

3.3.6 Atuação na Placa

A fibra de coco é um material versátil e que apresenta inúmeros métodos de utilização em função de sua resistência e durabilidade. Este compósito é um material ecológico e de fácil reciclagem, mas se destaca pela sua utilização como isolante térmico e acústico. De acordo com SENHORAS (2003), as principais características deste compósito:

- Durabilidade: as fibras de coco são constituídas por lignocelulósicos, que influenciam positivamente na durabilidade do material atribuída ao alto teor de lignina, quando comparado a outras fibras naturais;
- Rigidez e impermeabilidade: o elevado índice de rigidez e impermeabilidade apresentado pelo compósito é uma característica presente pela associação da celulose com a lignina;
- Resistência contra-ataques biológicos: a presença de lignina em conjunto com a celulose atua como agente contra-ataques biológicos, apresentando resistência a fungos e roedores;
- Acústico: o material amplia a difusão, podendo ser adotado como material acústico;

- Térmico: a fibra de coco é comumente utilizada como material acústico, por demonstrar baixa condutividade térmica (0,043 a 0,045 W/mk).

3.4 Amido de Milho

Amido de milho é um ingrediente popular usado para engrossar sopas, molhos, sobremesas e em várias outras receitas. O pó branco não contém glúten e é um carboidrato extraído do endosperma do milho. Sua função é dar liga aos preparos, manter recheios unidos e ajudar na consistência dos pratos. Ele também tem usos cosméticos e até como produto de limpeza.

Desenvolvido em 1844 em New Jersey, o amido de milho é produzido atualmente em diversos países produtores de milho, como Estados Unidos, China, Brasil e Índia. Ele é encontrado na culinária de todo o mundo, com a América do Norte e a Ásia liderando a produção e o uso. No Brasil, o produto também é muito conhecido como Maizena, que é na verdade uma das marcas que comercializam o amido de milho por aqui (AMIDO DE MILHO: ENTENDA BENEFÍCIOS E RISCOS..., 2023).

3.4.1 Extração

O processo de moagem de milho é fundamental para a produção de alimentos e é uma das principais fontes de economia em muitos países em desenvolvimento. O grão de milho é transformado em farinha, flocão, fubá, e amido, entre outros produtos comestíveis, por meio de um processo de moagem que envolve vários passos.

A moagem de milho começa com a seleção do grão de milho de alta qualidade. O milho é geralmente armazenado em silos antes de ser moído. Em seguida, o milho é limpo para remover impurezas, como pedras, palha e sujeira. Após a limpeza, o milho é descarregado no moinho, onde é triturado entre rolos de moagem para produzir farinha. A farinha é então separada da casca e do germen do milho através de equipamentos que realizam a separação e peneiramento. O próximo passo no processo de moagem de milho é o direcionamento dos subprodutos, conforme eles vão sendo obtidos, seja a farinha (fubá), grits, floco, amido, entre outros (COMO É PRODUZIDA A FARINHA DE MILHO?..., 2023).

3.4.2 Composição Química

O amido é formado por uma cadeia composta por dois polissacarídeos: amilose, numa proporção de 20-15%, e amilopectina, numa proporção de 75 80%. A sua fórmula é $(C_6H_{10}O_5)_n$;

- Amilose é um polímero linear de D-glicose α -(1,4);
- Amilopectina é um polímero de D-glicose com ligações α -(1,4) e 5% de ramificações α -(1,6). Trata-se da molécula que existe com maior proporção na composição do amido (BATISTA, 2025).

3.4.3 Características Físico-Químicas

3.4.3.1 Aparência

O amido de milho é geralmente branco ou creme claro em sua forma pura e em pó. Ele pode variar de branco brilhante a um tom ligeiramente esbranquiçado, dependendo do processamento. O odor é suave.

3.4.3.2 Densidade

A densidade do amido é 1,5 g/cm³ e a sua massa molecular pode variar entre 60.000 u e 1.000.000 u (BATISTA, 2023).

3.4.3.3 Solubilidade

50 g/l (90 °C) em água (PRODUTO: AMIDO DE MILHO..., 2021).

3.4.3.4 pH

5,0 em 100g/L H₂O à 25°C (PRODUTO: AMIDO DE MILHO..., 2021).

3.4.3.5 Comportamento Térmico

Durante o aquecimento em meio aquoso, os grânulos de amido sofrem mudanças em sua estrutura, envolvendo a ruptura das pontes de hidrogênio estabilizadoras da estrutura cristalina interna do grânulo, quando uma temperatura característica para cada tipo de amido é atingida (LOBO, 2003).

3.4.4 Aplicações Gerais

3.4.4.1 Aplicação Culinária

O amido é amplamente utilizado na culinária devido às suas propriedades de gelatinização e retenção de água. Atua principalmente como espessante em molhos, cremes e sopas, além de funcionar como estabilizante em recheios e sobremesas. Na panificação, pode substituir parcialmente a farinha de trigo, conferindo leveza e maciez a bolos e biscoitos. Também é aplicado no empanamento, proporcionando crocância, e no controle de umidade.

3.4.4.2 Aplicação Cosmética

O amido de milho pode ser utilizado para manter a pele saudável ou contra leves irritações. Aliás, uma pasta feita com ele e um pouco de água alivia queimaduras por conta do sol, coceira devido à picada de insetos ou mesmo assaduras — que ocorrem especialmente em bebês.

Quem tem problemas de oleosidade na pele pode até mesmo adicionar um pouco de amido de milho nos cosméticos, como base, batom ou pó bronzeador, pois isso controla o brilho e dá um acabamento mais matte para a maquiagem. Afinal, o amido de milho ajuda a reter a umidade e a evitar odores desagradáveis.

3.4.4.3 Aplicação em Limpeza

Por mais diferente que seja, o amido de milho pode ser um aliado na hora da limpeza, especialmente para remover manchas de óleo.

3.4.5 Sustentabilidade

O uso do amido de milho na placa acústica e térmica é sustentável. Pois ele é um produto orgânico e biodegradável ao meio ambiente, ou seja, ele se decompõe naturalmente na natureza e também não é tóxico.

3.4.6 Atuação na Placa

- 1. Formação de Matrizes Porosas:** O amido de milho pode ser usado para criar uma estrutura porosa na placa. Materiais porosos são eficazes na absorção de som, pois as ondas sonoras entram na estrutura e são dispersas, o que reduz a reverberação e melhora a acústica do ambiente. O amido de milho pode agir como um agente formador de uma matriz porosa ao ser misturado com outros materiais (como fibras ou polímeros), permitindo a criação de uma superfície que ajuda a absorver as ondas sonoras. (MENG *et al.*, 2025);
- 2. Melhoria nas Propriedades Acústicas:** O amido pode ajudar a tornar a mistura mais flexível e leve, características importantes para certos tipos de painéis acústicos que precisam tanto de absorção quanto de resistência mecânica (KARAKY *et al.*, 2018);
- 3. Redução de Custo e Acessibilidade:** Outro ponto a considerar é que o amido de milho é uma matéria-prima barata e de fácil acesso. Isso pode ser uma vantagem em projetos de placas acústicas econômicas, onde o custo é um fator relevante. Ao ser utilizado para reduzir o custo total do material sem

comprometer significativamente suas propriedades acústicas, o amido de milho pode ser uma opção interessante.

3.5 Água

A água é um recurso natural essencial para a sobrevivência de todas as formas de vida — seres humanos, animais e vegetais. Sua composição química é formada por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio (H_2O). Trata-se de uma substância incolor, insípida e inodora, reconhecida como solvente universal. Está presente em diferentes ambientes, como na superfície terrestre, no subsolo, na atmosfera e em todos os organismos vivos, incluindo o homem. Pode ser encontrada em três estados físicos: líquido — em rios, lagos, mares, oceanos, chuvas e córregos; gasoso — nas nuvens e vapores; e sólido — em geleiras, blocos ou cubos de gelo (SCABIN, 2023).

3.5.1 Extração

Segundo a Resolução ANVISA – RDC nº 173, de 13 de novembro de 2006, a água mineral é definida como aquela obtida diretamente de fontes naturais ou extraída de aquíferos subterrâneos. Sua principal característica é a presença de um teor constante e específico de sais minerais, oligoelementos e demais constituintes, respeitando as variações naturais.

3.5.2 Composição Química

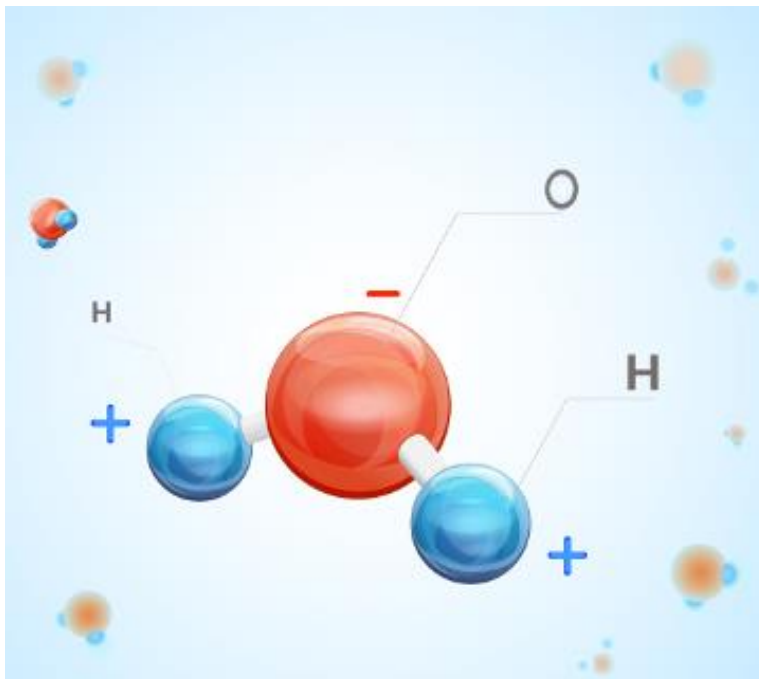
A água é formada por dois elementos químicos fundamentais: hidrogênio e oxigênio. Para compor uma molécula, são necessários dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio, unidos por ligações covalentes ($H-O-H$), nas quais ocorre o compartilhamento de elétrons entre os átomos.

Essa ligação covalente apresenta um ângulo de $104,5^\circ$, responsável pela polarização da molécula. O oxigênio, por exercer maior atração sobre os elétrons em comparação ao hidrogênio, adquire carga parcial negativa, enquanto o hidrogênio apresenta carga parcial positiva. Essa polaridade confere à água propriedades específicas, como seus pontos de fusão e ebulição relativamente elevados e sua notável capacidade de atuar como solvente universal.

As moléculas de água interagem entre si por meio de ligações de hidrogênio, estabelecidas pela atração entre o oxigênio de uma molécula e os hidrogênios de outra. No estado líquido, essas ligações são constantemente quebradas e refeitas, permitindo o movimento das moléculas e assegurando sua fluidez; no estado sólido,

tornam-se mais estáveis e duradouras; já no estado gasoso, as moléculas permanecem isoladas (SANTOS, 2019.).

Figura 2 - Composição química da água.



Fonte: Mundo Educação, 2019.

3.5.3 Características Físico-Químicas

A água é um líquido incolor, inodoro e insípido, caracterizado por sua polaridade e capacidade de formar ligações de hidrogênio entre moléculas (SANTOS, 2019). Possui elevado calor específico, alta condutividade térmica e capacidade de dissolver uma ampla variedade de substâncias, o que a torna um componente importante em diversos materiais compósitos.

3.5.4 Aplicações Gerais

A maior parte da água disponível no planeta é destinada à agricultura, sendo aproximadamente 69% utilizada para irrigação.

As indústrias correspondem a cerca de 22% do consumo total de água, empregando-a em diferentes processos, como a composição de produtos, o resfriamento de equipamentos, a geração de vapor e a limpeza de ambientes.

Outro uso relevante é a produção de energia elétrica. Nas usinas hidrelétricas, o potencial hidráulico da água é convertido em energia, garantindo grande parte do abastecimento energético mundial.

Já a água potável representa cerca de 8% do consumo e é direcionada ao abastecimento doméstico. Essa fração é indispensável para o cotidiano, sendo utilizada para beber, preparar alimentos, realizar a higiene pessoal e manter a limpeza dos ambientes (BATISTA, 2013).

3.5.5 Sustentabilidade

A água é um recurso vital e finito cuja gestão sustentável é essencial para garantir sua disponibilidade para futuras gerações. Seu uso consciente impacta diretamente a saúde dos ecossistemas, a produção de alimentos, a economia e o bem-estar humano.

Princípios da Água Sustentável:

Para que o uso da água seja sustentável, é preciso atuar simultaneamente em três frentes:

- Eficiência na retirada e no uso da água, promovendo menor desperdício;
- Qualidade e equalização de acesso, garantindo disponibilidade equitativa;
- Proteção dos ecossistemas aquáticos, para manter a resiliência dos recursos hídricos. (MOTOSHITA, 2023).

3.5.6 Atuação na Placa

No contexto de uma placa acústica e térmica, essas propriedades físico-químicas desempenham funções específicas:

1. Absorção térmica e estabilidade térmica:

Devido ao seu elevado calor específico, a água presente ou incorporada em compostos auxilia na dissipação e armazenamento de calor, reduzindo variações bruscas de temperatura na placa. Essa característica é crucial para o desempenho de materiais de isolamento térmico, mantendo o ambiente estável frente a mudanças externas de temperatura.

2. Capacidade de interação com outros componentes:

A polaridade da água permite que ela interaja com minerais e partículas presentes na formulação da placa, como carbonato de cálcio e fibras vegetais. Essa interação promove uma melhor homogeneização e coesão do material, garantindo maior resistência mecânica e uniformidade da densidade da placa.

3. Influência na absorção acústica:

A presença de água em microcanais ou entre fibras da placa contribui para a absorção e dissipação de ondas sonoras, já que a água pode converter parte da energia vibracional em energia térmica. Isso aumenta a eficiência da placa como isolante acústico, reduzindo a transmissão de ruídos.

4. Estabilidade química:

Como solvente universal, a água auxilia na dispersão de aditivos e agentes de ligação, permitindo que a reação entre componentes seja mais completa. No entanto, é necessário controlar a quantidade de água incorporada, pois excesso pode comprometer a secagem, resistência mecânica e a durabilidade da placa.

3.6 Óleo de linhaça

A linhaça (*Linum usitatissimum* L.) corresponde à semente do linho, espécie pertencente à família das Lináceas, cultivada há aproximadamente quatro milênios em diferentes regiões do Mediterrâneo. O óleo se destaca por ser uma fonte abundante de ácidos graxos ômega-3, ômega-6 e ômega-9, além de apresentar elevada quantidade de lignanas, substâncias antioxidantes associadas a múltiplos benefícios à saúde (COSTA *et al.*, 2016, p.1).

Figura 3 - *Linum usitatissimum* (Linhaça).



Fonte: Medicina Natural, 2018.

3.6.1 Extração

A obtenção do óleo pode ser realizada por diferentes métodos, como o uso de solventes orgânicos, a prensagem mecânica a frio, o arraste a vapor, a extração em leito fixo, além de técnicas mais avançadas que empregam fluidos supercríticos. O óleo extraído por prensagem mecânica a frio é geralmente direcionado para o consumo humano e também utilizado na alimentação de animais de raça ou de alto desempenho (IEL/MG INSTITUTO EUVALDO LODI - REGIONAL MINAS GERAIS..., 2021). Já o óleo obtido por meio da combinação entre prensagem mecânica e extração com solventes orgânicos possui aplicação predominantemente industrial, sendo empregado na produção de tintas, vernizes, resinas, sabões, borracha sintética, linóleo e até em formulações cosméticas voltadas ao cuidado da pele.

3.6.2 Composição Química

A linhaça contém ácidos graxos como palmítico, palmitoleico, margárico, esteárico, oleico (ômega-9), linoleico (ômega-6), α -linolênico (ômega-3), araquídico e behênico (O QUE É ÓLEO DE LINHAÇA..., 2025). Além dos lipídios, estão presentes também mucilagens, lignanas, resinas, taninos, açúcares e aleurona (ÁVILA, 2013, p.1).

Em 100 gramas de sementes de linhaça, encontram-se cerca de 396 calorias, das quais 109 kcal derivam das proteínas e 287 kcal dos lipídios. Esse valor nutricional corresponde, aproximadamente, a 41% da ingestão recomendada de lipídios, 21% de proteínas, 28% de fibras alimentares, além de 4% de minerais e 6% de carboidratos diversos, incluindo açúcares, ácidos fenólicos, lignanas e hemicelulose. Quando mantida crua e conservada em temperatura ambiente de 20 °C, a semente apresenta em sua composição lipídica cerca de 46% de ácidos graxos ômega-3, 15% de ômega-6, 24% de monoinsaturados e apenas 15% de saturados (GOMEZ, 2003).

Figura 4 - Óleo de linhaça fervido.



Fonte: Telhanorte, [s.d].

3.6.3 Características Físico-Químicas

3.6.3.1 Estado Físico e Aparência

É líquido à temperatura ambiente com cor que varia do amarelo claro ao dourado. Transparente, podendo escurecer com o tempo ou oxidação.

3.6.3.2 Odor e Sabor

Odor característico de semente de linhaça e sabor amargo.

3.6.3.3 Densidade

A densidade do óleo de linhaça apresenta pequenas variações, situando-se geralmente em aproximadamente $0,918 \text{ g/cm}^3$ no caso do óleo refinado.

3.6.3.4 Viscosidade

Viscosidade média, dependente da temperatura; menor que óleos mais saturados.

3.6.3.5 pH

O pH do óleo de linhaça é considerado alto, o que pode indicar uma condição ácida.

3.6.3.6 Solubilidade

O óleo de linhaça é lipossolúvel, ou seja, solúvel em substâncias gordurosas, mas insolúvel em água devido à sua natureza apolar. Isso permite que se misture facilmente com outros óleos e solventes orgânicos, como terebintina e aguarrás, mas não com meios aquosos.

3.6.3.7 Oxidação

O óleo de linhaça apresenta elevado teor de ácidos graxos insaturados, o que o torna suscetível à oxidação e ao desenvolvimento de rancidez quando armazenado de forma inadequada. Para preservar suas propriedades, é recomendado mantê-lo em recipientes escuros, refrigerado e protegido da luz e do calor (COELHO, 2022).

3.6.4 Aplicações Gerais

3.6.4.1 Aplicação Alimentícia

O óleo de linhaça é empregado na culinária como tempero para saladas, ingrediente em pães e biscoitos, e também adicionado a smoothies para enriquecer o valor nutricional (O QUE É ÓLEO DE LINHAÇA..., 2025). Deve-se evitar aquecê-lo, a fim de preservar suas propriedades nutritivas.

3.6.4.2 Aplicação Cosmética

Rico em antioxidantes, vitaminas e ácidos graxos essenciais, ele se torna um aliado poderoso no combate ao (ÓLEO DE LINHAÇA AJUDA A HIDRATAR A PELE? VEJA 4 BENEFÍCIOS..., 2024).

- **Combate à acne:** Os compostos anti-inflamatórios e antioxidantes presentes na linhaça ajudam a reduzir a inflamação e a prevenir o aparecimento de espinhas;
- **Hidratação da pele:** A linhaça auxilia na manutenção da umidade cutânea, deixando a pele mais macia, firme e com aspecto saudável;
- **Ação antienvelhecimento:** Os antioxidantes da linhaça neutralizam os radicais livres, contribuindo para prevenir o envelhecimento precoce e a formação de rugas;

- Controle da oleosidade: A linhaça ajuda a regular a produção de sebo, reduzindo o brilho excessivo em peles oleosas (ÓLEO DE LINHAÇA AJUDA A HIDRATAR A PELE? VEJA 4 BENEFÍCIOS..., 2024).

3.6.4.3 Aplicação na Indústria de Tinta e Verniz

O óleo de linhaça é amplamente empregado na indústria de tintas e vernizes por suas características singulares. Como insumo natural, ele auxilia na formação de uma película sólida e brilhante, conferindo resistência e durabilidade aos revestimentos. Além disso, pode ser combinado com pigmentos naturais, melhorando propriedades como tempo de secagem e impermeabilidade (ÓLEO DE LINHAÇA..., 2024).

Fora da pintura, o óleo de linhaça também é utilizado para proteger superfícies de madeira, proporcionando um acabamento estético e durável. O uso desse óleo em substituição a derivados de petróleo contribui para a redução do impacto ambiental, diminuindo a emissão de compostos orgânicos voláteis (VOCs) na indústria (ÓLEO DE LINHAÇA..., 2024).

3.6.5 Sustentabilidade

A seleção do óleo de linhaça como componente do ligante vai ao encontro dos princípios da química verde e da economia circular, que norteiam este trabalho. Sua utilização é justificada por uma convergência de atributos ambientais, técnicos e sociais que o tornam uma escolha consciente e estratégica para a produção de um material sustentável.

Portanto, trata-se de um recurso renovável e biodegradável. Diferente de plastificantes e impermeabilizantes derivados do petróleo, que são recursos finitos e de lenta decomposição, o óleo de linhaça é obtido a partir da prensagem das sementes do linho (*Linum usitatissimum*), uma cultura de ciclo curto e renovável. Ao final de seu ciclo de vida, o composto tende a apresentar uma biodegradabilidade facilitada em comparação com versões sintéticas, uma vez que o óleo, embora polimerizável, é de origem natural.

Por fim, ao optar por um insumo natural e amplamente disponível, esta pesquisa valoriza cadeias produtivas locais e não dependentes da indústria petroquímica, fomentando um modelo de produção mais descentralizado e alinhado com os preceitos de sustentabilidade. Portanto, o óleo de linhaça não é apenas um

mero ingrediente, mas uma escolha deliberada que reforça o caráter eco-friendly e o baixo impacto ambiental do compósito desenvolvido.

3.6.6 Atuação na Placa

Sua principal função no compósito baseia-se em sua capacidade de sofrer polimerização por oxidação quando exposto ao oxigênio atmosférico. Este processo químico resulta na formação de uma rede polimérica tridimensional, constituindo uma película contínua, flexível e altamente resistente à umidade que reveste as partículas do material e a matriz de amido.

Do ponto de vista das propriedades do material, o óleo de linhaça confere:

- **Impermeabilização:** A película formada age como uma barreira eficiente contra a penetração de umidade, elevando a durabilidade do compósito ao mitigar processos de degradação hidrolítica do amido e o desenvolvimento de microrganismos;
- **Flexibilidade:** Atua como um plastificante interno, reduzindo a rigidez e a fragilidade inerentes à matriz de amido retrogradado, o que aumenta a tenacidade e a resistência ao manuseio e à instalação da placa;
- **Maior Adesão:** Contribui para a coesão do sistema, promovendo uma melhor adesão entre as partículas da carga e a matriz polimérica.

3.7 Glicerina

A glicerina, também conhecida como glicerol, é um composto orgânico pertencente ao grupo dos alcoóis. Contém o grupo hidroxila (OH) ligado a um carbono saturado, portanto, é classificado como um triálcool.

Glicerol é um termo oriundo do grego “Glycks” que significa doce. Da mesma raiz etimológica deriva-se “glicerina”, termo lançado por Michel-Eugène Chevreul em 1855, e que denuncia o sabor adocicado da substância. O primeiro registro histórico de obtenção da glicerina foi realizado por Carl Wilhem Scheele, em 1799, enquanto sua fórmula estrutural foi descoberta por Charles-Adolph Wurtz em 1855 (MORRISON, 2000).

3.7.1 Extração

Pode ser encontrado na forma de carboidrato em azeites e óleos de coco, dendê, soja, algodão e oliva, ou mesmo em animais, na combinação de glicerina com ácido graxo.

A glicerina bruta é um composto proveniente do biodiesel, representando aproximadamente 10% em volume de sua produção. É obtida pelo processo de transesterificação de triglicerídeos, isto é, lipídios de óleos vegetais ou gordura animal que reagem com um álcool, na presença de um catalisador, para produzir éster e glicerina. O processo global é normalmente uma sequência de três passos consecutivos, os quais são reações reversíveis. No primeiro passo, a partir de triglicerídeos são obtidos diglicerídeos, de diglicerídeos são produzidos monoglicerídeos e o último passo de monoglicerídeos, o glicerol (MARCHETTI *et al.*, 2007; CUSTÓDIO, 2022).

Através desse processo, a glicerina bruta contém cerca de 80% de glicerol, além de água, metanol e sais dissolvidos. Precisando ser purificada, pois a mesma pode ser transformada em éteres, acetais e ésteres (CUSTÓDIO *et al.*, 2022). Assim, tem-se uma glicerina que, a depender do grau de pureza obtido, pode ser utilizada em diversas aplicações.

Figura 5 - Transesterificação de triglicerídeos na produção de biodiesel.



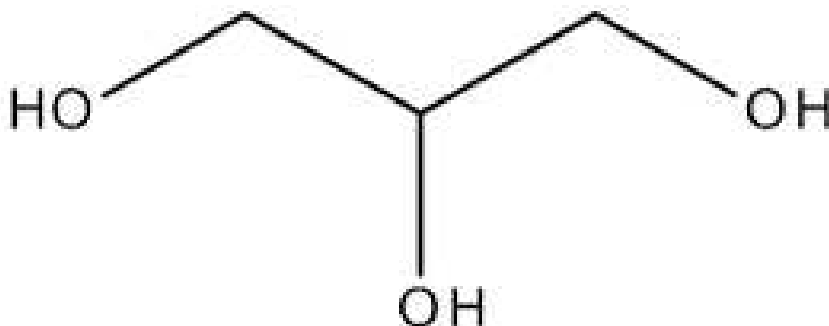
Fonte: RICACZESKI, 2006.

3.7.2 Composição Química

É um composto de carbono, hidrogênio e oxigênio, que contém a fórmula molecular 'C₃H₈O₃'. Trata-se de um poliálcool, com três hidroxilas em sua fórmula

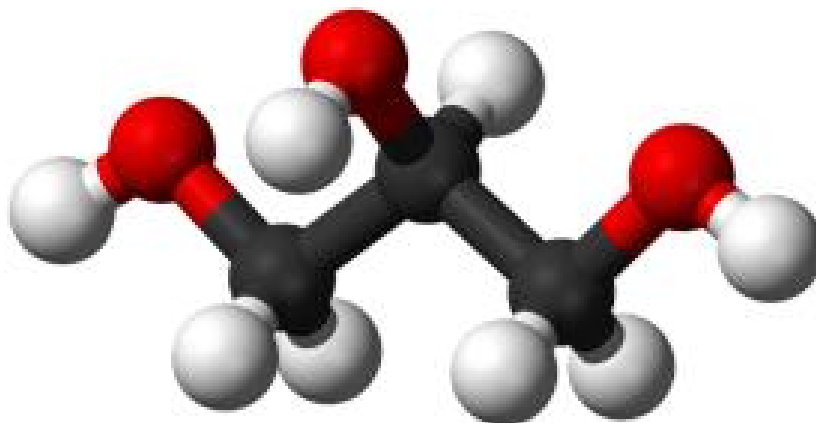
estrutural (figura 1). Os seus sinônimos são propanotriol, glicil álcool, gliceril e 1,2,3 trihidroxipropano (ALVARO, 2022).

Figura 6 - Fórmula de linhas.



Fonte: Merck KGaA, 2025.

Figura 7 - Fórmula estrutural tridimensional.



Fonte: Avanzi Química, 2023.

3.7.3 Características Físico-Químicas

- Líquido oleoso;
- Incolor e inodoro;
- Sabor adocicado;
- Higroscópico (absorve a umidade do ar);
- Ponto de fusão: 17,9 °C;

- Ponto de ebulição: 290 °C;
- Densidade: 1,261 g/cm³ a 20 °C (líquido);
- Peso molecular: 92,10 mols;
- Valor do pH: 5 - ácido (para 100 g/l, H₂O, 20 °C);
- Viscosidade: 100 cPs (centipoise);
- Solubilidade: Muito solúvel em água e álcool; pouco solúvel em solventes orgânicos; insolúvel em hidrocarbonetos.

3.7.4 Aplicações Gerais

3.7.4.1 Aplicação Alimentícia

- I. Umectante: em pães, massas, sorvetes e outros alimentos para manter a textura e maciez;
- II. Solvente: em aromas, extratos e corantes;
- III. Conservante: ajuda a prolongar a vida útil de alguns alimentos.

3.7.4.2 Aplicação Cosmética

- I. Cremes, loções, sabonetes, shampoos, maquiagens: hidrata, amacia e protege a pele e os cabelos;
- II. Desodorante: controla o odor corporal;
- III. Creme dental.

3.7.4.3 Aplicação Farmacêutica

- I. Base para cremes e pomadas medicamentosas;
- II. Excipiente em cápsulas e comprimidos;
- III. Veículo para fármacos em soluções orais.

3.7.4.4 Outros Usos

- I. Produção de resinas e plásticos;
- II. Líquido de freio;
- III. Tinta para couro;
- IV. Conservante de madeira;
- V. Removedor de tinta;
- VI. Líquido para cigarros eletrônicos.

3.7.5 Sustentabilidade

A glicerina é um composto sustentável devido à sua origem renovável. Uma vez que é obtida a partir de óleos vegetais e gorduras, sendo um subproduto do processo de biodiesel (MARCHETTI, 2007). Portanto, ao utilizar glicerina, as indústrias podem reduzir o desperdício e beneficiar-se de uma fonte de matéria-prima mais sustentável. Seu uso em produtos químicos e cosméticos contribui para a diminuição da dependência de compostos petroquímicos, alinhando-se às práticas de produção responsável.

O uso da glicerina como matéria-prima em diversas indústrias apresenta benefícios ambientais significativos. Por ser biodegradável, a glicerina não contribui para a poluição do solo e da água, ao contrário de muitos produtos químicos sintéticos (DIPLOMATA COMERCIAL..., 2025). Além disso, sua produção a partir de fontes renováveis reduz a emissão de gases de efeito estufa, promovendo um ciclo de vida mais sustentável. Essa característica torna a glicerina uma opção atrativa para empresas que desejam adotar práticas de produção ecológicas e responsáveis.

3.7.6 Atuação na Placa

Umectante / Plastificante: A glicerina é higroscópica, ou seja, atrai e retém água. Ela atua como plastificante do amido, reduzindo a rigidez e aumentando a flexibilidade do material.

- As placas ficam menos quebradiças, com maior resistência ao impacto e menor tendência a fissuras durante secagem e uso.

Agente de melhoria da coesão (atração entre moléculas do mesmo tipo): Interage com as ligações de hidrogênio do amido, cal e fibras naturais, aumentando a coesão da mistura.

- Melhora a homogeneidade do ligante e a adesão entre as camadas.

Melhoria no Desempenho Acústico e Térmico (indiretamente): Por reduzir fissuras e aumentar elasticidade, ajuda a manter microcavidades e uniformidade interna.

- Melhora a absorção sonora e retém mais ar nas fibras, contribuindo para isolamento térmico.

Compatibilizante com Óleo de Linhaça: A glicerina tem caráter polar e consegue interagir tanto com o amido/cal (hidrofílicos) quanto com o óleo de linhaça (mais hidrofóbico).

- Ajuda na emulsificação e melhor distribuição do óleo no ligante.

3.8 Cal Hidratada

Basicamente a cal é uma substância que é obtida através de um processo industrial de transformação da matéria prima de origem, que são rochas de calcário transformadas em cal. Pode ser encontrada em duas formas: virgem e hidratada. Seu modo de preparo é o que determina como e onde ela será utilizada, mas os usos mais comuns são em construções civis e também na agricultura (CONHEÇA OS DIFERENTES TIPOS DE CAL..., 2025).

Figura 8 - Calcário.



Fonte: Concrete Show Digital, 2024.

3.8.1 Extração

O processo de extração começa com o calcário sendo extraído de rochas e depois selecionado, moído e submetido a altas temperaturas (900° a 1000° Celsius). Esse processo também chamado de calcinação dá origem a cal virgem ou óxido de cálcio (CaO) (HIDROXICAL..., 2015).

A cal hidratada é obtida a partir da adição de água na cal virgem. Vale mencionar que a qualidade da cal hidratada vai depender diretamente das características da rocha de extração, das impurezas contidas nela, bem como das etapas do processo de calcinação. Essa cal hidratada além de ser extremamente fina

e leve, tem a capacidade de reter água e a afinidade química com o cimento, acelera a reação entre esses dois materiais (HIDROXICAL..., 2015).

3.8.2 Composição Química

O hidróxido de cálcio é um composto inorgânico formado por dois grupos hidroxila (OH^-) ligados a um cátion de cálcio (Ca^{2+}), o que justifica sua fórmula molecular: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (HIDRÓXIDO DE CÁLCIO: APLICAÇÕES NA SAÚDE E CONSTRUÇÃO..., 2025).

3.8.3 Características Físico-Químicas

3.8.3.1 Aparência

A cal hidratada é um pó branco e fino, que pode mudar de textura dependendo do processo em que ela foi fabricada. Em seu formato mais puro, ela é completamente branca, porém pode ter uma tonalidade pouco esbranquiçada ou acinzentada se tiver impurezas.

3.8.3.2 Densidade

- Densidade aparente: 0,3–0,8 g/cm^3 (depende do grau de hidratação e da granulometria do pó);
- Densidade real: Aproximadamente 2,21 g/cm^3 (isto se refere ao material compacto e sem porosidade).

3.8.3.3 Solubilidade

A solubilidade da cal hidratada em água não é alta, pois sua solubilidade em água pura é de aproximadamente 1,85 g/L a 20°C, porém ela ainda forma uma solução aquosa com pH muito alto.

A solução aquosa de cal hidratada é conhecida como leite de cal e tem um pH de 12 a 13, tornando ela muito alcalina.

3.8.3.4 Comportamento Térmica

Temperaturas superiores a 580°C, a cal hidratada perde a água de hidratação, retornando ao óxido de cálcio (CaO).

Este processo é conhecido como calcinação e é irreversível. A cal hidratada é muito instável a altas temperaturas, e sua transformação em cal virgem (óxido de cálcio) é fundamental para o processo industrial.

3.8.3.5 Hidratação

A cal hidratada é obtida pela reação do óxido de cálcio (cal viva, CaO) com água. Este processo libera uma grande quantidade de calor, conhecido como calor de hidratação.

3.8.3.6 Ponto de Fusão

A cal hidratada é obtida pela reação do óxido de cálcio (cal viva, CaO) com água: Este processo libera uma grande quantidade de calor, conhecido como calor de hidratação.

3.8.4 Aplicações Gerais

3.8.4.1 Aplicação no Tratamento de Água

A cal hidratada é um reagente universal no tratamento de águas industriais. Ela é utilizada para:

- Neutralização de águas residuais ácidas: Especialmente para processos que estão contaminados com ácido sulfúrico ou clorídrico;
- Precipitação de metais pesados: Os íons de metais pesados precipitam-se sob a forma de hidróxidos, o que facilita a separação dos sólidos;
- Eliminação de fosfatos: No tratamento de águas residuais municipais, para reduzir a carga de fósforo, a fim de evitar a eutrofização (CAL HIDRATADA..., 2025).

3.8.4.2 Aplicação na Indústria de Construção

A cal hidratada é utilizada como agente aglutinante em argamassas e rebocos. Melhora a trabalhabilidade e aumenta a durabilidade dos materiais (CAL HIDRATADA..., 2025).

3.8.4.3 Aplicação Química

Produção de compostos de cálcio, como o cloreto de cálcio ou o estearato de cálcio e regulação do valor do pH em processos químicos (CAL HIDRATADA..., 2025).

3.8.4.5 Aplicação Ambiental e na Agricultura

A cal hidratada é utilizada em sistemas de limpeza de gases de combustão para dessulfuração e remoção de gases ácidos. Utilizado para a melhoria e desinfecção dos solos para regular o valor do pH do solo e eliminar os microrganismos patogênicos (CAL HIDRATADA..., 2025).

3.8.5 Sustentabilidade

A Cal Hidratada oferece uma alternativa mais sustentável, reduzindo a dependência de insumos químicos agressivos e promovendo práticas mais amigáveis ao meio ambiente. Ao melhorar a eficiência na absorção de nutrientes, a Cal Hidratada contribui para um uso mais eficaz dos fertilizantes, minimizando o desperdício e os impactos ambientais. Em um cenário global em que a redução das emissões é essencial para a saúde do planeta, a utilização inteligente do Cal mostra como a inovação pode ser encontrada nos recursos naturais. A integração do calcário em processos industriais não apenas resulta em benefícios ambientais, mas também na construção de um futuro mais limpo e saudável para as gerações futuras.

3.8.6 Atuação na Placa

- **Aglutinante mineral (função estrutural):** A cal atua como ligante entre os diferentes materiais da placa (fibras vegetais, agregados leves, aditivos, etc.). Quando misturada com água, ela reage formando uma pasta que, ao secar e reagir com o CO_2 do ar, se transforma em carbonato de cálcio (CaCO_3) — um composto sólido e estável que dá coesão e resistência ao material (PAVLÍK *et al.*, 2009).
- **Redutor da condutividade térmica:** A cal hidratada forma uma matriz porosa após a cura, principalmente se combinada com materiais leves (como fibras ou vermiculita). A presença de micro e macroporos dentro da estrutura reduz a transferência de calor, melhorando o isolamento térmico da placa. Placas formuladas com cal + agregados leves geralmente apresentam baixa condutividade térmica ($\sim 0,1\text{--}0,2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) (BELAYACHI *et al.*, 2013).
- **Absorção acústica (comportamento poroso):** A porosidade natural da cal, quando utilizada com materiais fibrosos ou granulados, também favorece a absorção de ondas sonoras por dissipação da energia acústica nos poros da placa. Ou seja, a cal ajuda a transformar parte da energia sonora em calor dentro da estrutura porosa, reduzindo a reverberação e os ruídos. (OUMA, 2023).
- **Regulação higrotérmica:** A cal possui propriedades higroscópicas — ela é capaz de absorver e liberar umidade do ambiente. Isso contribui para:
 - I. Evitar condensação superficial;

- II. Estabilizar o conforto térmico e acústico (ambientes muito úmidos têm pior desempenho acústico);
- III. Evitar mofo e bolor, devido ao pH alcalino (≈ 12), o que inibe crescimento microbiano (PARALKAR, 2024).

3.9 Pó de Grafite

O grafite (também conhecido como plumbago ou chumbo preto) é um mineral cristalino, composto somente de átomos de carbono (RECH, 2021). A palavra grega gráphein significa: escrever. Ou seja, o nome do mineral refere-se a uma das suas principais características, a sua untuosidade.

Ele é um alótropo do carbono - átomos iguais, organizados de maneiras distintas, que originam diversas substâncias - e, portanto, tem uma composição química semelhante à de outros alótropos: diamante e grafeno. No entanto, ele difere imensamente em termos de configuração atômica (O QUE VOCÊ DEVE SABER SOBRE AS PROPRIEDADES E APLICAÇÕES DO GRAFITE..., 2022).

Nesse sentido, o pó de grafite contém partículas de grafite subfinas. Ele tem aplicações suaves, sendo, portanto, útil em várias indústrias.

3.9.1 Extração

O grafite é encontrado em depósitos subterrâneos e o procedimento envolve minerá-lo dessas fontes. É necessário romper a superfície da terra com maquinário pesado para extrair grandes pedaços de grafite bruto, cheio de contaminantes. Normalmente, a qualidade do grafite difere neste ponto.

Depois, ele é triturado em fragmentos menores e mais trabalháveis, por máquinas de britagem especializadas, transformando grandes blocos em partículas minúsculas. A moagem se inicia para que o material vire um pó fino. Além de melhorar o desempenho, a moagem ajuda a maximizar a adaptabilidade do pó de grafite para diversas aplicações industriais.

Por fim, a purificação elimina quaisquer contaminantes que o grafite ainda possa ter. Através de tratamentos químicos ou calor, minerais, metais ou outros elementos não carbono são removidos (O QUE É PÓ DE GRAFITE – UM GUIA COMPLETO..., 2024).

3.9.2 Composição Química

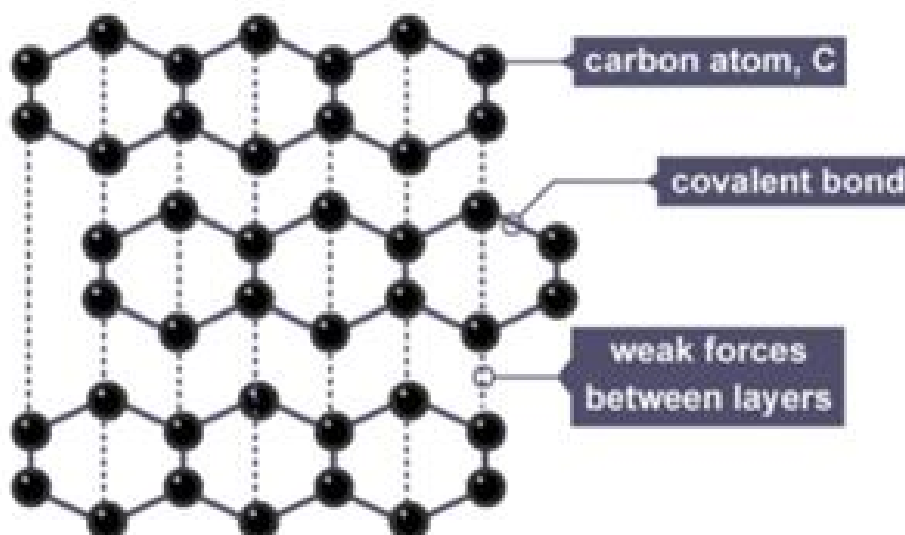
A organização de seu carbono puro é arranjada em uma estrutura hexagonal, que em troca forma camadas (O QUE VOCÊ DEVE SABER SOBRE AS PROPRIEDADES E APLICAÇÕES DO GRAFITE..., 2022). Apesar de não ter uma fórmula molecular única como em moléculas pequenas, "C" representa a composição química do grafite.

Em cada camada, todos os átomos de carbono estão ligados a outros três átomos de carbono, resultando na formação de uma estrutura plana e bidimensional.

Assim, os átomos formam um padrão de planador hexagonal. Desse modo, as camadas feitas de tal arranjo são empilhadas uma sobre a outra. Normalmente, as forças fracas de van der Waal mantêm essas camadas unidas. Como resultado, elas deslizam facilmente umas sobre as outras. Além disso, como cada átomo de carbono emite um elétron, são livres para se mover entre as camadas, permitindo que o grafite conduza eletricidade (ESTRUTURA DO GRAFITE EXPLICADA: DE CAMADAS, FORÇAS MOLECULARES À ANISOTROPIA..., 2024).

Essa composição elementar impacta diretamente nas características térmicas e elétricas do grafite.

Figura 9 - Estrutura de rede hexagonal e bidimensional.



Fonte: Carbono Leste, 2024.

3.9.3 Características Físico-Químicas

- Pó fino e inodoro;
- Cor preta com brilho metálico;
- Gorduroso;
- Possui propriedades lubrificantes;
- Valor do pH: entre 5 e 6 - ácido (para 50 g/l, H₂O, 20 °C);
- Insolúvel em água;
- Densidade: 2,26 g/cm³;
- Alta condutividade térmica;
- Estabilidade química;
- Condutividade elétrica;
- Resistência à corrosão.

3.9.4 Aplicações Gerais

3.9.4.1 Aplicação na Indústria Química

- I. Grafite de lápis;
- II. Lubrificantes.

3.9.4.2 Aplicação na Indústria Metalúrgica

- I. Cadinhos e retortas;
- II. Revestimento de fundição;
- III. Polidores.

3.9.4.3 Aplicação na Indústria de Transformação

- I. Partes de máquinas e aparelhos elétricos;
- II. Baterias e eletrodos.

3.9.4.4 Outros Usos

- I. Núcleo de reatores nucleares;
- II. Isopor de grafite;
- III. Aparelhos de resfriamento e motores;
- IV. Aditivo de polímero e termoplástico.

3.9.5 Sustentabilidade

O produto químico é inerte, mas requer cuidado devido aos problemas ambientais. Se o pó de grafite for descartado de forma descuidada, a transparência da água - por exemplo - e a qualidade do sedimento serão afetadas.

A reciclagem é uma maneira segura de conservar esse material, dando a ele uma segunda chance de vida sustentável. Pois o grafite não é infinito e a crescente dependência desse versátil alótropo de carbono representa uma ameaça de esgotamento (RECICLAGEM DE GRAFITE – UM PASSO PARA UMA FABRICAÇÃO SUSTENTÁVEL..., 2024). A reciclagem de sucata de grafite não só garante a disponibilidade futura deste recurso, mas também contribui para um futuro mais verde; como a redução da pegada de carbono e a conservação de recursos.

A mineração de grafite pode contribuir para a poluição e destruição ambiental. A reutilização é uma alternativa que pode eliminar a necessidade de extração de grafite, conservando assim o meio ambiente.

3.9.6 Atuação na Placa

Controle das propriedades térmicas: Conduz calor através de seus planos cristalinos; na matriz, atua refletindo e absorvendo radiação infravermelha.

- Ajuda a reduzir a transmissão de calor por radiação e estabiliza a temperatura interna da placa.

Proteção contra umidade e agentes químicos: Grafite é quimicamente estável e pouco solúvel em água.

- Melhora a resistência à umidade e à degradação.

Aspecto estético e funcional: Confere coloração escura às placas, aumentando a proteção contra radiação UV.

- Contribui para uma aparência mais uniforme e para maior durabilidade.

Melhoria do desempenho acústico: Altera densidade e microestrutura do material. Dispersa ondas sonoras e promove maior amortecimento das vibrações.

- Resulta em placas com melhor absorção e difusão do som.

3.10 Desmoldante

O desmoldante é uma substância utilizada para evitar que um material adira a outro durante processos de moldagem. Normalmente, ele é aplicado sobre a superfície das fôrmas ou moldes, criando uma camada que impede que a peça fabricada fique presa. Quando usado de forma adequada, o produto prolonga a vida útil dos moldes e contribui para um acabamento mais uniforme e de melhor qualidade nas peças produzidas, independentemente do material (DESMOLDANTE: O QUE É E QUAIS SUAS APLICAÇÕES?..., 2017).

Há diferentes tipos de desmoldantes, desenvolvidos para diversas finalidades e setores. Na construção civil, por exemplo, são usados para formas de concreto; na indústria metalúrgica e de fundição, para moldes metálicos ou de alumínio; e no setor alimentício, são encontrados os desmoldantes culinários. Apesar da variedade de aplicações, a função principal permanece a mesma: proteger os moldes e garantir que as peças sejam removidas sem danos (DESMOLDANTE: O QUE É E QUAIS SUAS APLICAÇÕES?..., 2017).

Figura 10 - Desmoldante de silicone em spray.



Fonte: Silispray – Linha Completa, 2025.

3.10.1 Composição Química

Solução de Polidimetilsiloxano ou óleo sintético. O gás propelente pode ser butano/propano, CO² ou Hidrofluorcarbono (SILISPRAY – LINHA COMPLETA..., s.d).

3.10.2 Características Físico-Químicas

3.10.2.1 Estado Físico e Aparência

Líquido aerossol incolor.

3.10.2.2 Odor

Suave.

3.10.2.3 Densidade Relativa

1 a 1,02 (água a 4°C=1) a 20 °C (DESMOLDANTE COM SILICONE - ORBI DESMOL SIL..., 2017, p.4).

3.10.2.4 pH

8 a 9,5 (DESMOLDANTE COM SILICONE - ORBI DESMOL SIL..., 2017, p.4).

3.10.2.5 Solubilidade

Imiscível em água (DESMOLDANTE COM SILICONE - ORBI DESMOL SIL..., 2017, p.4).

3.10.3 Aplicações Gerais

3.10.3.1 Aplicação na indústria de Plásticos e Borrachas

- Injeção e Extrusão Plástica: Essencial para a produção de peças plásticas, evitando que fiquem grudadas nas fôrmas;
- Rotomoldagem: Utilizado em processos de moldagem rotacional para garantir a fácil remoção das peças;
- Fabricação de Peças de Borracha e Silicone: Previne a aderência desses materiais às fôrmas (DESMOLDANTES PARA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA E FARMACÊUTICA..., 2025).

3.10.3.2 Aplicação na Construção Civil

- Concretagem: Aplicação em formas de madeira e metal para evitar que o concreto adira, protegendo a integridade do material e prolongando a vida útil das fôrmas;
- Concreto Aparente: Permite a obtenção de um acabamento superficial liso e sem imperfeições, sem manchas;

- Estruturas Pré-moldadas: Facilita a desforma de elementos como vigas, lajes e painéis (DESMOLDANTE PARA CONCRETO: CONHEÇA SUAS APLICAÇÕES E BENEFÍCIOS..., 2024).

3.10.3.3 Aplicação na Indústria Metalúrgica e Fundições

- Fundição: Utilizado em fundições de alumínio e outros metais para facilitar a remoção da peça do molde;
- Forjamento: Em forjarias, reduz o atrito e evita que a peça grude no molde em altas temperaturas (DESMOLDANTE INDUSTRIAL: CONHEÇA AS 5 PRINCIPAIS APLICAÇÕES!..., 2019).

3.10.4 Sustentabilidade

O propelente utilizado é isento de CFC e não agride a camada de ozônio. Todos os componentes de sua embalagem são compostos por produtos 100% recicláveis (SILISPRAY – LINHA COMPLETA..., 2025).

3.10.5 Atuação na Placa

Durante a fabricação da placa acústica e térmica com casca de castanha-do-Pará, a mistura é colocada em uma forma metálica (molde) e levada à secagem térmica em uma estufa. Nesse processo, utiliza-se um desmoldante de silicone em spray para evitar que o material grude na superfície do molde durante a cura.

A função do desmoldante é criar uma barreira temporária entre a mistura e o molde metálico, pois, o uso de desmoldantes é essencial em processos com moldes metálicos, já que eles criam uma barreira entre o material e a forma, permitindo a desmoldagem sem danificar o produto, onde a placa será retirada com facilidade após o processo de secagem. Além disso, o desmoldante ajuda a preservar o molde, evitando o acúmulo de resíduos e prolongando sua vida útil.

Como a placa permanece na estufa em temperaturas elevadas, o desmoldante utilizado deve apresentar resistência térmica, estabilidade química e não liberar resíduos que possam interferir nas propriedades físicas da placa. O silicone é um material ideal para isso, pois suporta altas temperaturas sem se decompor, garantindo uma desmoldagem limpa mesmo após a cura térmica (CALLISTER, 2006; ASM INTERNATIONAL..., 1988).

4 TESTES DE FORMULAÇÃO

Antes de definir a formulação final da placa termoacústica, foram realizados diversos testes com diferentes combinações de materiais e proporções. Cada variação foi avaliada quanto à consistência, homogeneidade e facilidade de moldagem, permitindo ajustar os componentes até atingir a textura ideal e garantir a integridade da placa. A seguir, apresentam-se os testes realizados e as formulações analisadas durante esse processo.

1º teste de formulação - 11/08/2025

Preparação do ligante:

- Dissolver 30g de amido de milho em 80mL de água, sob aquecimento, até virar uma pasta.

Adicionaram-se sequencialmente:

- 100g de Ca(OH)_2 (cal hidratada);
- 20mL de óleo de linhaça;
- 1 colher de pó de grafite.

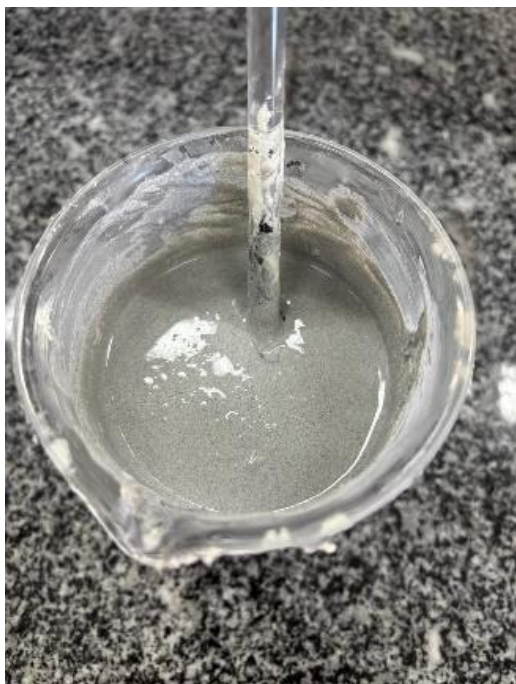
Neste teste, foi identificada a necessidade de ajuste da viscosidade com 110mL de água.

Figura 11 - Foto dos ingredientes do ligante.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 12 - Foto da Consistência do ligante.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Construção da placa:

I. Camada base:

- 80g de ligante;
- 20g de casca de ovo triturada;
- 9g de serragem.

II. Camada intermediária:

- 50g de casca grossa (castanha);
- Fibra de coco;
- 30g de ligante.

III. Camada superior:

- Bagaço de cana-de-açúcar;
- 30g de casca fina (castanha);
- 40g de ligante.

IV. Camada final:

- Repetição da camada base.

Observações:

- Montagem em forma metálica com desmoldante a base de silicone;

- Cura em ambiente não controlado por 72 horas;
- Foram produzidas duas placas, cada uma utilizando uma variação do mesmo ligante base, porém desenvolveram texturas distintas durante o processo.

Propriedades mecânicas:

- Fragilidade acentuada, esfarelamento nas bordas em ambas as placas.

Teste de inflamabilidade:

- Ausência de combustão.

Figura 13 - Foto das placas em tempo de cura.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 14 - Foto do teste de inflamabilidade.



Fonte: Autoria própria, 2025.

2° Teste – 14/08/2025

Foram desenvolvidas três formulações distintas de ligantes, com posterior análise comparativa de desempenho. Todos os testes foram submetidos a cura na estufa a 65°C - 70°C por aproximadamente 20 horas.

Formulação 1:

Ligante:

- 100g de cal hidratada em 150mL de água (hidratação por cinco minutos);
- 50mL de glicerina;
- 20mL de óleo de linhaça;
- 1 colher de pó de grafite;
- 4 colheres de amido de milho.

Processo:

- Aquecimento controlado com bico de Bunsen.

Estrutura:

Camada base:

- 10g de casca fina (castanha) + 20g de casca de ovo + ligante

Camada intermediária:

- Ligante + fibra de coco;

Camada superior:

- Ligante + 20g de casca de ovo + 10g de casca grossa (castanha) + revestimento com ligante 3.

Figura 15 - Foto do teste 01 da placa.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Formulação 2

Ligante:

- 30g de amido de milho + 80mL de água (pré-gelatinização);
- 100g de cal hidratada;
- 20mL de óleo de linhaça;
- 30mL de glicerina;
- 10 espátulas de casca fina (castanha).

Estrutura:

Camada base:

- 20g de casca de ovo + 10g de casca fina (castanha) + ligante;

Camada estrutural:

- Ligante + fibra de coco + 2 colheres de casca grossa (castanha);

Camada reforço:

- Réplica da camada 2;

Camada final:

- Réplica da camada 1, com uma leve demão de casca fina (castanha) por cima.

Figura 16 - Foto do teste 02 da placa.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Formulação 3

Ligante:

- 2 colheres de vinagre;
- 2 colheres de glicerina;
- 8 colheres de água destilada;
- 2 colheres de amido de milho;

Processo:

- Gelatinização.

Figura 17 - Foto da textura do ligante 03.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Estruturação:

Camada base:

- 20g de casca de ovo + 10g de casca fina (castanha) + ligante;

Camada intermediária (2x):

- Ligante + fibra de coco + casca grossa (castanha);

Camada final:

- 20g de casca de ovo + 10g de serragem + ligante, com uma leve demão de casca.

Figura 18 - Foto do teste 03 da placa.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Análise pós-cura - 15/08/2025.

Propriedades:

Teste 1 e 2:

- Dureza;
- Resistência à flexão;
- Ausência de esfarelamento.

Teste 3:

- Apresentou esfarelamento;
- Resistência à flexão.

Teste de inflamabilidade:

- Teste 1 submetido à chama direta, por aproximadamente 3 minutos;

Resultado:

- Não ignição;

Observação:

- Omissão de fumos.

Figura 19 - Foto do início do teste de chamas.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 20 - Foto da placa após o teste de chamas.



Fonte: Autoria própria, 2025.

3º Teste de formulação - 18/08/25.

Com base na análise comparativa dos testes anteriores, o ligante do teste 2 foi indicado como o mais promissor. Porém, as demais placas permaneceram reservadas.

Formulação do ligante (escala ampliada):

- 60g de amido de milho;
- 160 mL de água;
- 200g de cal hidratada;
- 40mL de óleo de linhaça;
- 2 colheres de pó de grafite;
- 60mL de glicerina;
- 3 colheres de casca fina (castanha).

Processo:

- Gelatinização do amido de milho + água, seguida de adição dos demais componentes.

Placa 1:

Camada base:

- Ligante + casca fina (castanha) + casca de ovo + 2 colheres de pó de grafite;

Camada absorvente:

- Ligante + fibra de coco;

Camada estrutural:

- Casca grossa (castanha);

Camada selante:

- Mistura do ligante 3 (teste anterior);

Camada final:

- Réplica da camada base.

Figura 21 - Foto da placa 01 com formulação correta do ligante.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Placa 2:

Camada base:

- Ligante + casca de ovo + casca fina (castanha);

Camada separatória:

- Fibra de coco;

Camada reforço:

- Ligante + fibra de coco;

Camada dissipativa:

- Casca grossa (castanha);

Camada final:

- Réplica da camada base.

Condições de cura:

- Estufa a aproximadamente 60°C por 20 horas.

4º Teste de formulação - 20/08/2025

Para o teste, foi aplicado a mesma formulação de ligante, em escala ampliada.

Placas 3 e 4:

Base:

- 4 colheres de ligante + 4 colheres de casca de ovo + 2 colheres de casca fina (castanha);

Separador:

- Fibra de coco pura;

Núcleo:

- 5 colheres de ligante + fibra de coco;

Dissipador:

- Casca grossa (castanha);

Revestimento:

- Réplica da camada base.

Processamento:

- Cura em estufa por aproximadamente 60°C por 20 horas.

Figura 22 - Foto dos resultados das placas 03 e 04.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Teste acústico - 25/08/25

Neste dia, foram utilizadas as 6 placas reservadas para a preparação do cubo. Para a colagem e montagem, executou-se a formulação do ligante (em escala ampliada), garantindo a estruturação do cubo.

Com o cubo formado, realizaram-se os testes acústicos, que resultou na diminuição significativa do ruído, mesmo com o volume ajustado no máximo.

Figura 23 - Foto da estruturação do cubo para eventual teste acústico.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Em seguida, todas as placas foram quebradas para teste de dureza. Além disso, foi separado um pedaço para a realização de teste de umidade no solo (colocado no dia 28/08/2025).

Figura 24 - Foto do pedaço da placa para teste de umidade no solo.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Observações:

- A placa demonstrou bom desempenho acústico;
- A dureza indica boa resistência mecânica;
- A estruturação mantém-se a mesma formulação, apenas mudando a quantidade de algumas matérias-primas.

Aplicação da formulação - 27/08/2025

Para início da formulação correta da placa, foi necessário reproduzir o ligante (em escala dobrada), aplicando-a nas seguintes camadas:

Camada 1:

- 6 colheres de ligante + 7 espátulas de casca de ovo + 5 espátulas de casca fina (castanha);

Camada 2:

- Fibra de coco;

Camada 3:

- Ligante + fibra de coco;

Camada 4:

- Casca grossa (castanha);

Camada 5:

- Réplica da 1ª camada.

Após a montagem, a placa foi levada à estufa a aproximadamente 60°C por 20 horas e, em seguida, reservada. Depois da secagem, aplicou-se óleo de linhaça sobre a superfície com um pincel.

Figura 25 - Resultado da placa com formulação alterada.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Continuação da aplicação da formulação - 05/09/2025

Foi utilizada novamente a escala dobrada de ligante, seguindo as mesmas camadas aplicadas no dia 27/08/2025.

Entretanto, após o tempo de cura, a placa apresentou craqueamento e esfarelamento.

Figura 26 - Resultado da placa com formulação alterada.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Continuação da formulação - 08/09/2025

Foi utilizada a mesma formulação de ligante, seguindo as aplicações do dia 27/08/2025.

Para o processo de cura, as duas placas recém-produzidas foram colocadas na estufa à 60°C por aproximadamente 20 horas. Após o tempo necessário, ambas apresentaram esfrelamento e rachaduras.

A causa provável das rachaduras e do esfrelamento está relacionada a mudança de amido de milho.

Figura 27 - Foto da placa pós desmoldar.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Continuação da formulação - 09/09/2025

Após a detecção do uso incorreto de amido de milho e sua substituição, utilizou-se a mesma formulação e as mesmas camadas aplicadas no dia 27/08/2025.

As placas foram submetidas ao processo de cura na estufa à 60°C, por aproximadamente 20 horas. Logo após o tempo de cura, a placa apresentou apenas leve esfarelamento, possivelmente em razão de o amido de milho utilizado estar com a validade vencida.

Concluiu-se, portanto, que a fragilidade estrutural observada se deve ao amido empregado. A placa foi reservada para análises posteriores.

Figura 28 - Foto da composição da placa em seu molde.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Ajuste da formulação - 10/09/2025

Neste dia foram realizados dois testes para ajuste de formulação, com o objetivo de reduzir a fragilidade estrutural das placas.

Teste 1 – Aumento da quantidade de amido:

Ligante:

- 90g de amido de milho;
- 240mL de água;
- 200g de cal hidratada;
- 40mL de óleo de linhaça;
- 60mL de glicerina;
- 40mL de água para ajuste;
- 2 colheres de pó de grafite;
- 2 colheres de casca fina (castanha).

Camadas:

Camada 1:

- 8 colheres de ligante + 9 espátulas de casca fina (castanha) + 9 espátulas de casca de ovo;

Camada 2:

- Fibra de coco;

Camada 3:

- Fibra de coco + 2 de ligante;

Camada 4:

- Casca grossa (castanha);

Camada 5:

- Réplica da camada 1.

Figura 29 - Foto do teste 01 pós tempo de cura.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Teste 2 – Aumento da quantidade de glicerina:

Ligante:

- 60g de amido de milho;
- 160mL de água;

- 200g de cal hidratada;
- 40mL de óleo de linhaça;
- 90mL de glicerina;
- 40mL de água para ajuste;
- 2 colheres de pó de grafite;
- 2 colheres de casca fina (castanha).

Camadas:

Camada 1:

- 12 colheres de ligante + 8 espátulas de casca fina (castanha) + 9 espátulas de casca de ovo;

Camada 2:

- Fibra de coco;

Camada 3:

- Fibra de coco + 2 de ligante;

Camada 4:

- Casca grossa (castanha);

Camada 5:

- Réplica da camada 1.

Figura 30 - Foto do teste 02 pós tempo de cura.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Observação:

O ligante do teste 2 apresentou textura mais líquida em comparação ao do ligante 1, devido à maior quantidade de glicerina.

As placas foram submetidas ao processo de cura em estufa à 100°C por 20 horas.

Resultados:

- Teste 1: persistiam as rachaduras, ainda que houvesse maior concentração de amido de milho;
- Teste 2: não apresentou esfarelamento nem rachaduras, entretanto, pela falta de desmoldante, a placa aderiu ao molde e acabou quebrando em um dos lados.

Assim, o aumento da glicerina na formulação demonstrou resultados mais promissores e deve ser mantido nos futuros testes.

Ajuste na formulação - 11/09/2025

Para o teste, foi mantido o aumento da quantidade de glicerina, porém com um leve ajuste, já que a formulação anterior apresentou textura mais líquida.

Ligante:

- 60g de amido de milho;
- 160mL de água;
- 200g de cal hidratada;
- 40mL de óleo de linhaça;
- 75mL de glicerina;
- 40mL de água para ajuste;
- 2 colheres de pó de grafite;
- 2 colheres de casca fina (castanha).

Camadas:

Camada 1:

- 9 colheres de ligante + 14 espátulas de casca fina (castanha) + 14 espátulas de casca de ovo;

Camada 2:

- Fibra de coco;

Camada 3:

- Fibra de coco + 2 colheres de ligante;

Camada 4:

- Casca grossa (castanha);

Camada 5:

- 9 colheres de ligante + 11 espátulas de casca de ovo + 10 espátulas de casca fina (castanha).

Para a aplicação da primeira camada, foi utilizada a técnica de bater o molde contra uma superfície plana, para a saída do ar e evitar a formação de buracos.

As placas foram submetidas ao tempo de cura em estufa à 100°C por 20 horas.

Figura 31 - Foto do processo de mistura do ligante com o agitador mecânico.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Resultado:

- Uma das placas apresentou leves rachaduras na parte inferior;
- A outra placa ficou em seu perfeito estado, mostrando que o aumento da glicerina é eficaz para a durabilidade e não esfarelamento da placa.

Figura 32 - Foto do resultado das placas com aumento da glicerina.



Fonte: Autoria própria, 2025.

5 MATERIAIS E METODOLOGIA

5.1 Materiais

- Béquero;
- Bastão de vidro;
- Bastão de plástico;
- Tripé;
- Tela de amianto;
- Espátula;
- Forma quadrada com fundo removível;
- Proveta;
- Agitador mecânico;
- Estufa.

5.2 Metodologia de Formulação

A formulação das placas termoacústicas foi conduzida em três etapas principais: preparação do ligante, preparo da mistura e cura do material.

Na etapa de preparação do ligante, 160mL de água foram combinados com 60g de amido de milho em um béquer. A solução foi aquecida em tripé com tela de amianto até atingir consistência pastosa. Em seguida, foram incorporados 200 g de cal hidratada, 75mL de glicerina, 40mL de óleo de linhaça, 5g de pó de grafite e 17g de casca de castanha-do-Pará fina. A mistura foi homogeneizada em agitador mecânico até a obtenção de um ligante uniforme.

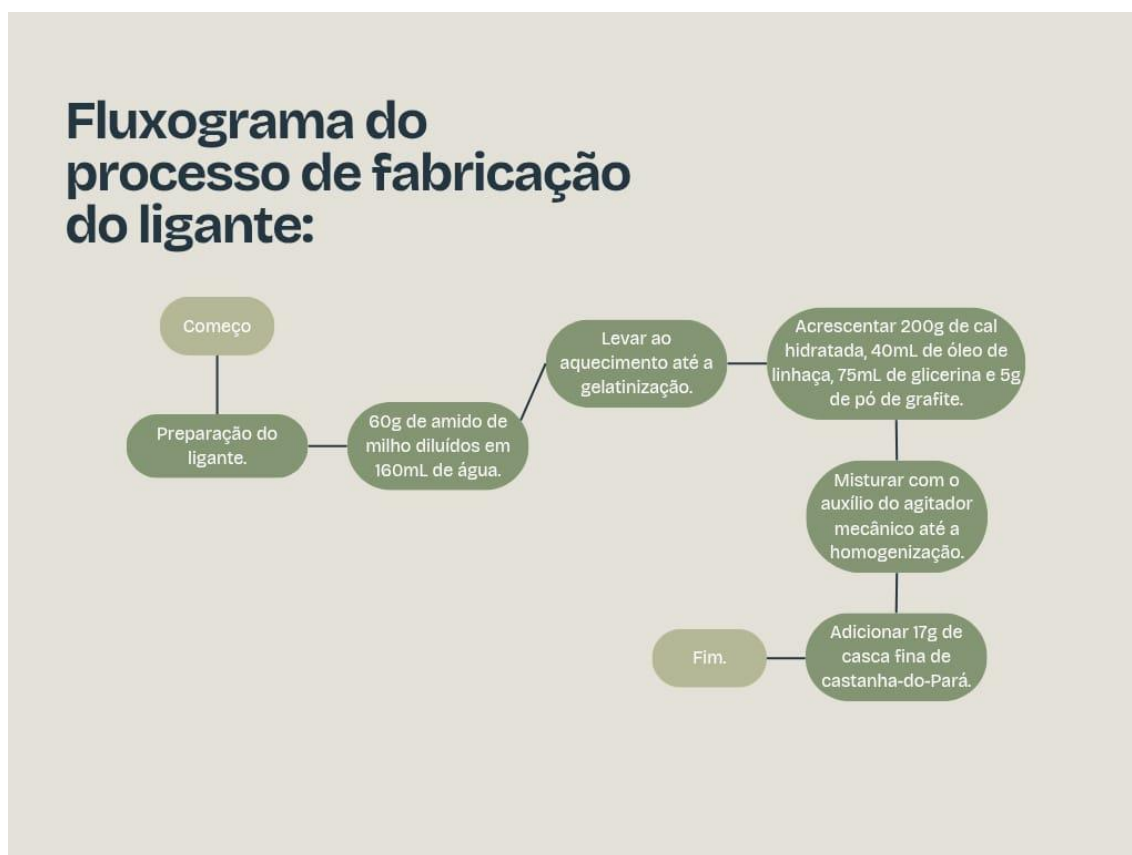
Na etapa de preparo da mistura para a placa, foram retiradas 295g do ligante e adicionadas 13g de casca de castanha-do-Pará e 18g de casca de ovo finamente trituradas, até que a massa adquirisse consistência firme e coesa. Caso a mistura não apresentasse essa característica, adicionaram-se quantidades adicionais de casca de castanha-do-Pará e de casca de ovo até atingir a textura desejada. Antes do preenchimento, a forma quadrada com fundo removível de alumínio foi preparada com aplicação de desmoldante de silicone em spray, garantindo o fácil desprendimento da placa após a cura. Em seguida, a massa foi transferida para a forma e espalhada de maneira uniforme, cobrindo o fundo e parte das laterais. Foi então adicionada uma camada de fibra de coco formando o núcleo da placa. Uma segunda mistura, composta de fibra de coco e ligante, foi aplicada para cobrir a camada central, além

de polvilhar casca grossa de castanha-do-Pará, até cobrir a fibra de coco. Por fim, adicionaram-se 295g adicionais do ligante juntamente com 18g de casca de castanha-do-Pará e casca de ovo, selando a superfície da placa.

Na etapa de cura, a forma contendo o material foi levada à estufa a 100 °C por 20 horas, assegurando a secagem e a consolidação da placa.

5.3 Fluxograma Laboratorial

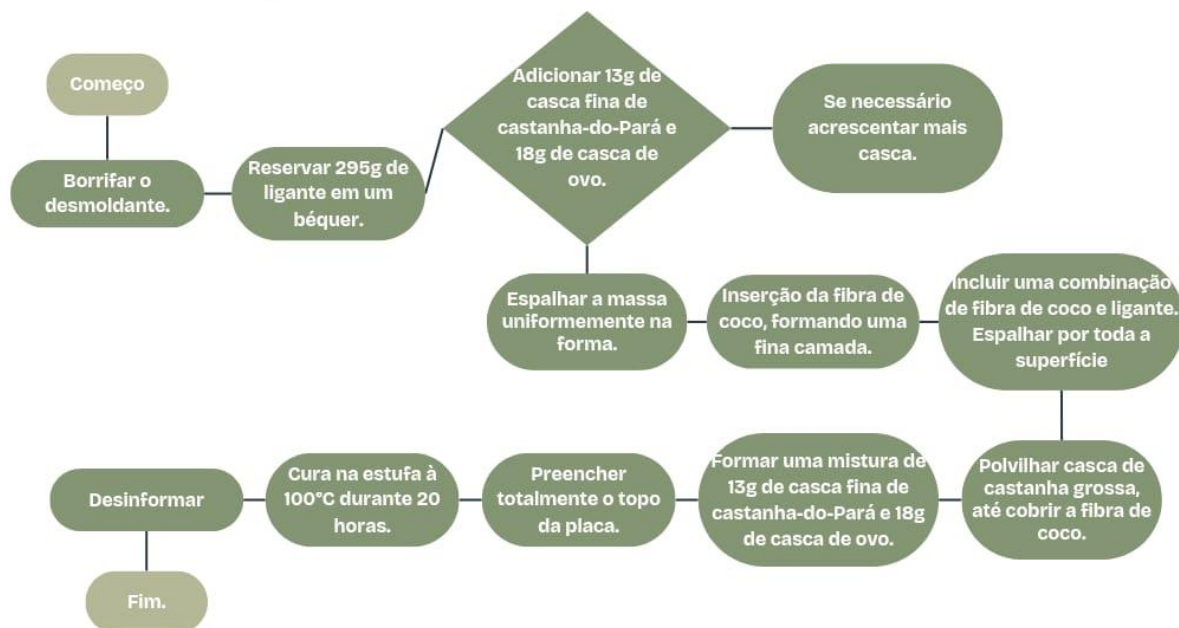
Fluxograma 1 - Processo de fabricação do ligante.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Fluxograma 2 - Processo de produção e montagem da placa.

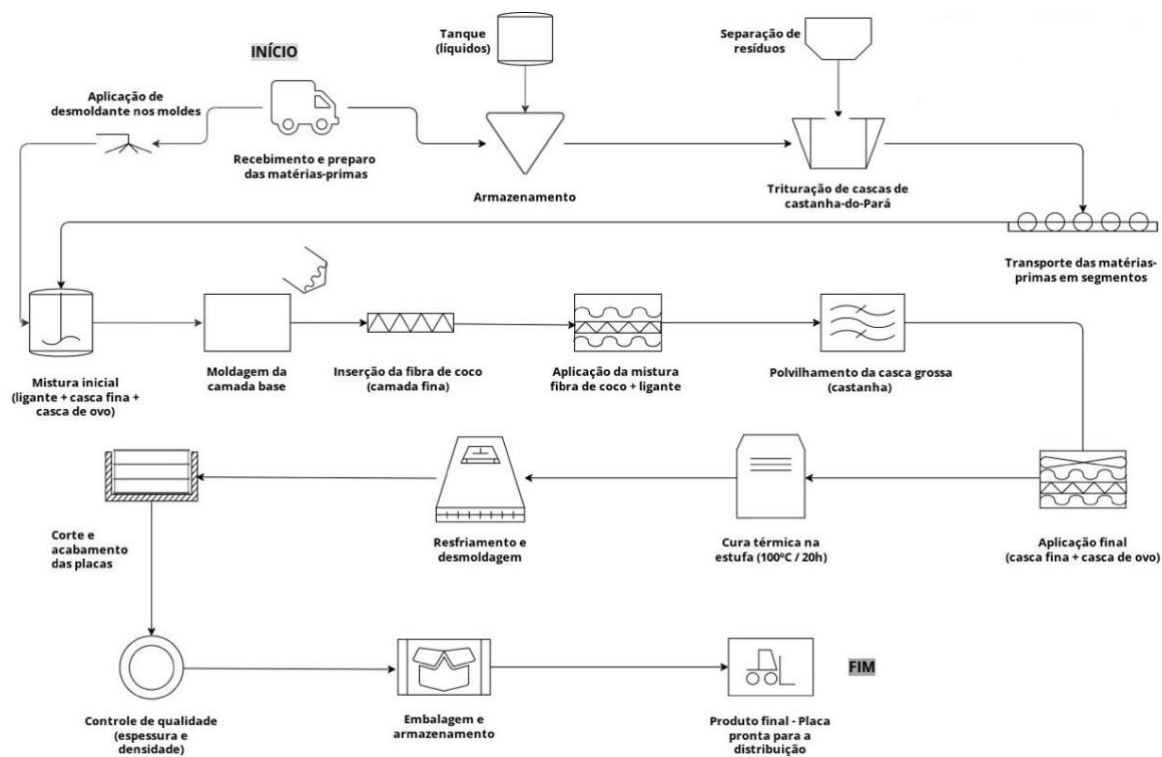
Fluxograma da produção e montagem da placa:



Fonte: Autoria própria, 2025.

5.4 Fluxograma Industrial

Fluxograma 3 - Processo de produção e montagem da placa em escala industrial.



Fonte: Autoria própria, 2025.

6 MONTAGEM DA LINHA DA PLACA ACÚSTICA E TÉRMICA

A montagem das placas termoacústicas foi realizada seguindo um procedimento padronizado, com o objetivo de garantir uniformidade entre os corpos de prova.

6.1 Preparação da Forma

A forma utilizada foi quadrada, com fundo removível de alumínio, para facilitar a desmoldagem. Antes do preenchimento, foi aplicado desmoldante de silicone em spray em toda a superfície interna, formando uma camada uniforme que preveniu a aderência do material e evitou danos às bordas da placa no momento da retirada.

6.2 Primeira Camada

Após a preparação do ligante, foram retiradas 295g da mistura e transferidas para um béquer separado. Adicionaram-se 13g de casca de castanha-do-Pará e 18g casca de ovo finamente trituradas, misturando até que a massa apresentasse consistência firme e homogênea. Quando necessário, adicionaram-se quantidades adicionais de casca de castanha ou de ovo até que a mistura se tornasse suficientemente coesa. Essa primeira massa foi então depositada na forma e espalhada de maneira uniforme, cobrindo todo o fundo e subindo parcialmente pelas laterais, de forma a criar uma espécie de “cama” para receber as próximas camadas.

Figura 33 - Primeira camada.



Fonte: Autoria própria, 2025.

6.3 Inserção da Fibra de Coco

Com a base pronta, foi disposta uma camada de fibra de coco, distribuída de maneira uniforme para formar o núcleo da placa. Essa etapa foi realizada de forma cuidadosa, evitando espaços vazios e garantindo espessura constante em toda a superfície.

Figura 34 - Inserção da fibra de coco.



Fonte: Autoria própria, 2025.

6.4 Segunda Camada

Preparou-se uma nova mistura de fibra de coco com o ligante previamente elaborado. Essa mistura foi aplicada sobre a camada central, preenchendo completamente o espaço restante e cobrindo a fibra de coco para promover a coesão entre as camadas.

Figura 35 - Segunda camada.



Fonte: Autoria própria, 2025.

6.5 Camada Final e Fechamento

Por fim, foram adicionadas mais 295g do ligante e 13g de casca de castanha-do-Pará e 18g casca de ovo trituradas, criando a camada de fechamento da placa. Essa camada foi cuidadosamente nivelada para manter a espessura uniforme e evitar falhas na superfície.

Figura 36 - Camada final.



Fonte: Autoria própria, 2025.

6.6 Cura da Placa

A forma montada foi então levada à estufa, mantida a 100 °C por um período de 20 horas. Esse processo assegurou a secagem completa do material, a evaporação da umidade residual e a consolidação estrutural da placa.

Após a cura, a forma foi retirada da estufa, deixada em temperatura ambiente até resfriar e, em seguida, a placa foi desmoldada com auxílio de espátulas para preservar sua integridade.

Figura 37 - Tempo de cura da placa.



Fonte: Autoria própria, 2025.

7 PLANEJAMENTO ORÇAMENTÁRIO

O planejamento orçamentário é a seção deste documento que engloba todos os aspectos contábeis e financeiros de uma empresa. Essa área foi planejada visando a produção de uma única unidade e efetuando cálculos em cima desse número.

7.1 Matéria-Prima

Para a produção da placa de isolamento termoacústico são necessários os seguintes componentes nas quantidades estipuladas, onde tal processo gera apenas 1 (uma) unidade, com medidas de 15x15x5.

Tabela 1 - Rendimento dos custos.

Rendimento		
Matéria-prima		
Matéria	Preço	Quantidade
Água;	R\$ 0,64	160mL
Amido de milho;	R\$ 1,80	60g
Cal hidratada;	R\$ 0,27	200g
Casca de castanha-do-Pará;	R\$ 0,00	85g
Casca de ovo;	R\$ 0,00	36g
Desmoldante;	R\$ 0,08	1,2g
Fibra de coco;	R\$ 0,45	5g
Glicerina;	R\$ 1,87	75mL
Óleo de linhaça;	R\$ 0,85	40mL
Pó de grafite.	R\$ 0,90	5g
Total:	R\$ 6,86	
Produção de uma placa		
Observação: A casca de castanha-do-Pará e de ovo foram doações de resíduos industriais		

Fonte: Autoria própria, 2025.

7.2 Plano Industrial

Para realizar a produção em escala industrial se necessita dos seguintes equipamentos, tendo como despesas mensais os seguintes custos:

Tabela 2 - Custos de uma indústria de placas termoacústicas.

Custos - Indústria de Placas de Isolamento		
Categoria	Item	Faixa de Custo
Infraestrutura e Construção	Aluguel de espaço	R\$ 3.000 – R\$ 10.000/mês
Infraestrutura e Construção	Compra de imóvel	R\$ 200.000 – R\$ 600.000
Infraestrutura e Construção	Adaptação/Reforma	R\$ 30.000 – R\$ 100.000
Infraestrutura e Construção	Instalações elétricas/hidráulicas	R\$ 10.000 – R\$ 30.000
Infraestrutura e Construção	Geração de energia	R\$ 20.000 – R\$ 50.000
Custos Operacionais Fixos	Energia elétrica	R\$ 3.000 – R\$ 10.000/mês
Custos Operacionais Fixos	Água e esgoto	R\$ 500 – R\$ 1.500/mês
Custos Operacionais Fixos	Internet	R\$ 200 – R\$ 1.000/mês
Custos Operacionais Fixos	Telefonia	R\$ 100 – R\$ 500/mês
Licenciamento e Regulamentação	Licença de funcionamento	R\$ 1.000 – R\$ 5.000
Licenciamento e Regulamentação	Licenças ambientais	R\$ 1.000 – R\$ 10.000
Licenciamento e Regulamentação	Certificação de qualidade (ISO)	R\$ 5.000 – R\$ 15.000
Mão de Obra	Operadores de máquina	R\$ 1.500 – R\$ 3.000 (cada)
Mão de Obra	Auxiliar de produção	R\$ 1.200 – R\$ 2.000
Mão de Obra	Supervisor de produção	R\$ 3.000 – R\$ 6.000
Mão de Obra	Assistente administrativo	R\$ 1.500 – R\$ 3.000
Mão de Obra	Treinamento inicial	R\$ 500 – R\$ 2.000
Mão de Obra	Capacitação anual	R\$ 2.000 – R\$ 10.000/ano
Seguros	Seguro patrimonial	R\$ 5.000 – R\$ 15.000
Seguros	Seguro responsabilidade civil	R\$ 2.000 – R\$ 7.000
Marketing e Comercialização	Identidade visual	R\$ 2.000 – R\$ 10.000
Marketing e Comercialização	Website/E-commerce	R\$ 3.000 – R\$ 10.000
Marketing e Comercialização	Material publicitário	R\$ 1.000 – R\$ 5.000
Marketing e Comercialização	Feiras e eventos	R\$ 5.000 – R\$ 20.000
Transporte e Insumos	Veículo de entrega	R\$ 40.000 – R\$ 100.000
Transporte e Insumos	Combustível/manutenção	R\$ 1.000 – R\$ 5.000/mês
Transporte e Insumos	Matéria-prima	R\$ 20.000 – R\$ 50.000/mês
TOTAL: R\$ 400.000 a R\$ 1.000.000		
Custos Mensais Operacionais: R\$ 25.000 a R\$ 70.000		

Fonte: Autoria própria, 2025.

7.3 Modelo de Negócios (Canvas Empresarial)

Esta ferramenta de planejamento estratégico permite desenvolver e esboçar modelos de negócios para empreendimentos.

Figura 38 - Canvas empresarial.

Parceiros-chave	Atividades-chave	Propostas de valor	Relações com o consumidor	Segmentos de clientes
Lojas de materiais de construção; Lojas de aparelhagem de som; Revendedores.	Isolamento acústico; Isolamento térmico.	R\$10,00 por placa de 15x15 cm.	<ul style="list-style-type: none"> • Transparência; • Ética; • Segurança; • Confiança. 	Pessoas que precisam manter a temperatura interna dos ambientes; Pessoas que precisam isolar o som interno ou externo.
	<p>Principais recursos</p> Equipamentos laboratoriais e vidrarias; Internet.			
Estrutura de custos		Fluxos de Fabricação		
<ul style="list-style-type: none"> • Investimentos; • Custos fixos; • Impostos; • Matéria-prima. 		Produção e venda do produto.		

Fonte: Autoria própria, 2025.

7.4 Produção Mensal e Lucros

O preço de cada placa acústica e térmica feita com casca de castanha do Pará, no tamanho de 15x15 cm, foi definido em R\$ 10,00. Esse valor leva em conta o custo de produção e também a embalagem, que é 100% sustentável e feita com materiais recicláveis. Além disso, o preço inclui um lucro necessário para que o produto seja viável e possa continuar sendo fabricado. Portanto, o valor final não representa apenas o material, mas também o compromisso com sustentabilidade e a possibilidade de manter o projeto funcionando no futuro.

8 ANÁLISES E TESTES

Durante o desenvolvimento das formulações, foi possível observar que o desempenho das placas esteve diretamente relacionado à qualidade e proporção dos ligantes, bem como às condições de cura térmica. Nos primeiros testes, verificaram-se falhas estruturais, como esfarelamento, fissuras e baixa resistência mecânica, atribuídas à quantidade inadequada de amido e glicerina ou à variação da temperatura de cura. Além disso, o uso de amido vencido influenciou negativamente na consistência e na coesão das placas.

Com os ajustes progressivos, principalmente pelo aumento da quantidade de glicerina, foi possível melhorar a maleabilidade e a resistência, reduzindo o aparecimento de rachaduras. A aplicação em camadas alternadas (casca de ovo, casca de castanha-do-Pará, fibra de coco) mostrou-se fundamental para a estruturação do material, favorecendo tanto o isolamento acústico quanto a estabilidade térmica.

Assim, a análise prévia indicou que a combinação entre resíduos orgânicos e ligantes naturais é promissora, mas exige rigor no controle da formulação para garantir desempenho adequado.

8.1 Testes Acústicos

O teste acústico é utilizado para avaliar o isolamento sonoro de materiais, ambientes ou equipamentos, medindo a capacidade de reduzir ou bloquear a passagem de som. Foram realizados testes utilizando protótipos da placa, onde foi montado um cubo e encaixado dentro do mesmo um celular com sons altos.

O cubo foi fixado com o mesmo ligante que foi-se utilizado no revestimento da placa, durante a experiência houve um ótimo resultado demonstrando que os isolamentos acústicos das placas foram de boa qualidade impedindo o som interno de ser escutado do lado de fora.

Para verificar a eficiência das placas desenvolvidas, foi montado um cubo utilizando as placas desenvolvidas e o silicone para junção das placas. Dentro desse cubo foi colocado um celular emitindo diferentes tipos de sons em volume elevado. A comparação entre os níveis de decibéis fora e dentro da caixa permitiu medir de forma prática o desempenho do isolamento.

Os resultados foram consistentes ao longo de todos os testes. Sons musicais e ruídos variados apresentaram queda significativa de intensidade quando medidos dentro do cubo, o que indica que o material tem boa capacidade de atenuação sonora. A música de referência, com média de 76 dB, reduziu para 48 dB dentro da caixa. O ruído branco caiu de 58 dB para 40 dB. O som agudo passou de 80 dB para 45 dB. O ruído marrom reduziu de 60 dB para 40 dB. A música eletrônica foi de 73 dB para 45 dB.

Esses resultados mostram que o protótipo da placa oferece um isolamento acústico eficiente, capaz de reduzir entre 20 e 35 decibéis dependendo da frequência do som emitido. Podendo levar em consideração o som ambiente de 28 dB que auxiliou a avaliar a eficiência da placa. A estrutura montada demonstrou estabilidade e manteve o desempenho esperado, reforçando que o material desenvolvido possui potencial para aplicações onde o controle acústico é necessário.

Figura 39 - Teste acústica com diferentes sons.



Fonte: Autoria própria, 2025.

8.2 Testes Térmicos

O teste térmico verifica como um material ou produto reage a diferentes temperaturas, avaliando resistência, isolamento térmico e desempenho em situações

de calor ou frio. No teste térmico, foi realizado dois experimentos com resultados positivos, o primeiro ocorreu sendo colocado o protótipo da placa dentro de uma estufa térmica, e quando retirada a placa não houve uma mudança brusca de temperatura, como aconteceu com a forma onde a placa estava localizada. O segundo teste foi feito com o Bico de Bunsen, onde foi posicionado o protótipo encima de um tripé de ferro que foi situado acima do bico ligado, durante o teste houve a liberação de fumaça não tóxica e não foi verificado a mudança de temperatura na parte contrária ao fogo.

Figura 40 - Teste térmico com pétala de rosa.



Fonte: Autoria própria, 2025.

9 METODOLOGIA DE PESQUISA

A pesquisa realizada foi de caráter bibliográfico, com o objetivo de reunir informações sobre materiais sustentáveis, propriedades termoacústicas e processos de reaproveitamento de resíduos agroindustriais. As informações foram obtidas em fontes digitais confiáveis, tais como:

- Artigos científicos indexados nas bases de dados Google Acadêmico e Scielo;
- Livros e capítulos disponíveis em bibliotecas digitais;
- Normas técnicas da ABNT e de organismos internacionais pertinentes ao tema;
- Sites institucionais de universidades, centros de pesquisa e empresas do setor de materiais de construção.

Os critérios de seleção incluíram publicações com relevância para a área de sustentabilidade, acústica e isolamento térmico. Após a seleção, o material foi lido, fichado e organizado de forma a subsidiar o embasamento teórico e a fundamentação do estudo proposto.

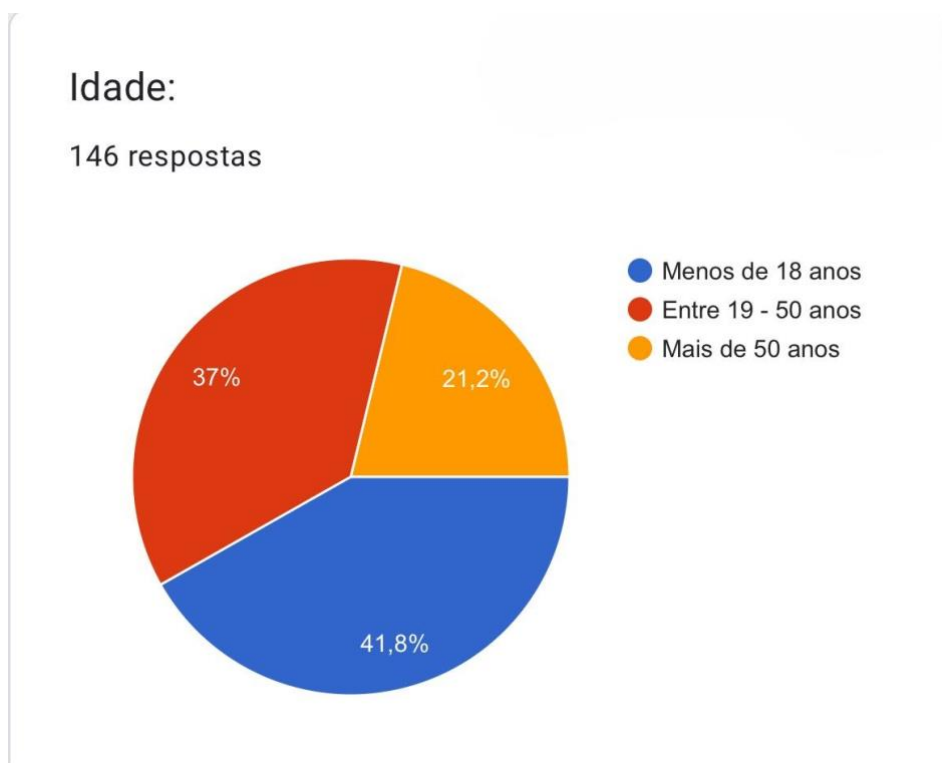
10 PESQUISA DE CAMPO

A pesquisa de campo teve como objetivo coletar percepções e opiniões do público em relação ao uso de materiais sustentáveis na construção civil, com foco em alternativas como placas acústicas e térmicas produzidas a partir de resíduos agroindustriais. Para isso, foi elaborado um questionário direcionado a diferentes grupos de pessoas, abrangendo estudantes, profissionais da área da construção e público em geral.

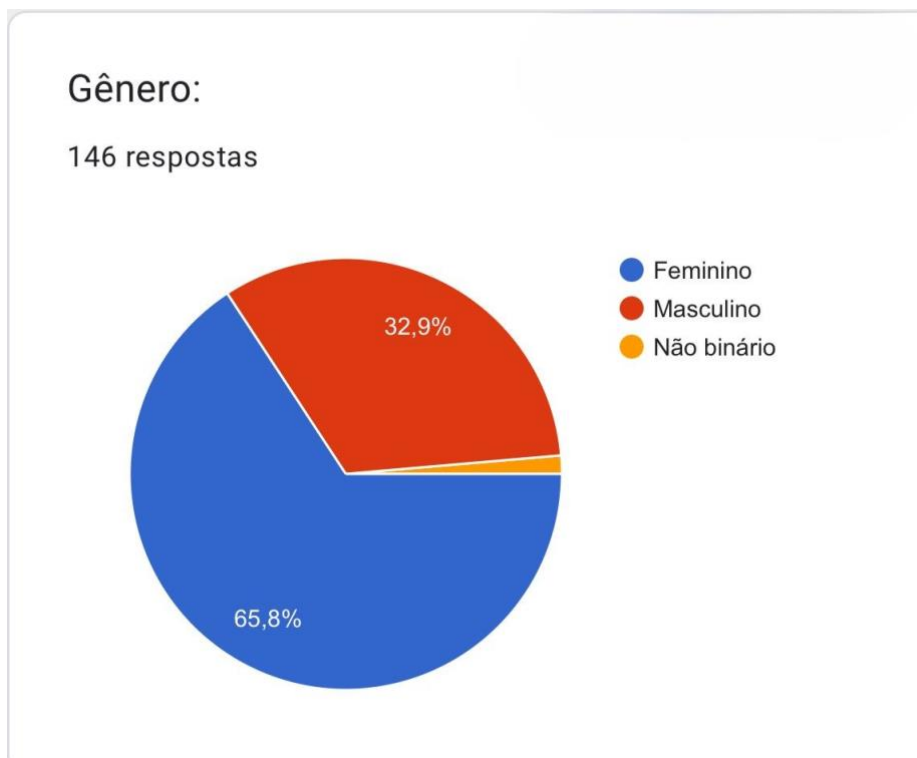
A partir das respostas obtidas, foi possível realizar uma análise qualitativa e quantitativa, que auxiliou na validação da relevância social e ambiental do projeto, além de contribuir para o direcionamento das etapas experimentais.

Para isso, foram feitas as seguintes perguntas:

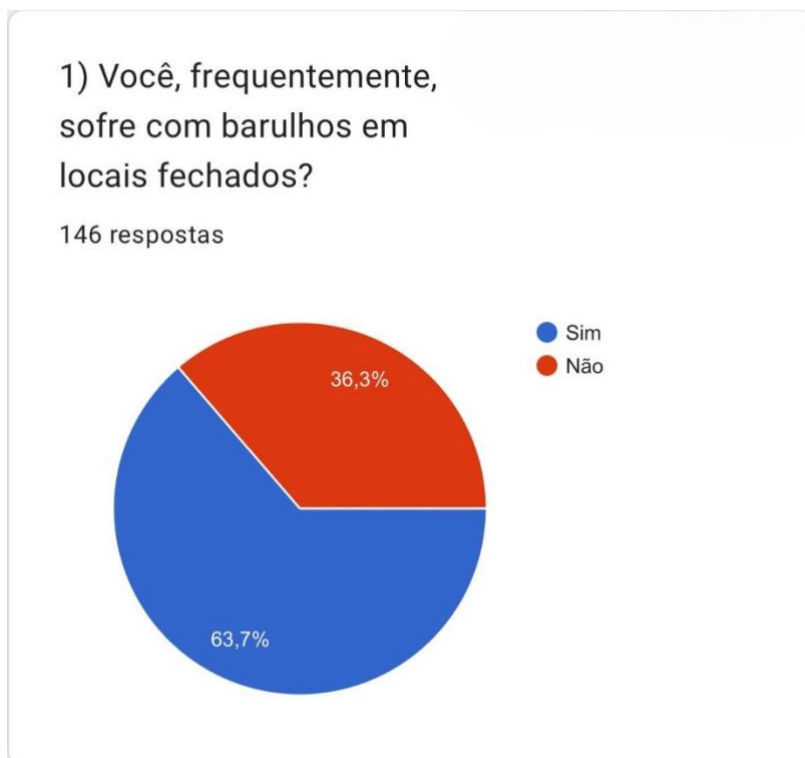
Gráfico 1 – Gráfico da faixa etária dos participantes.



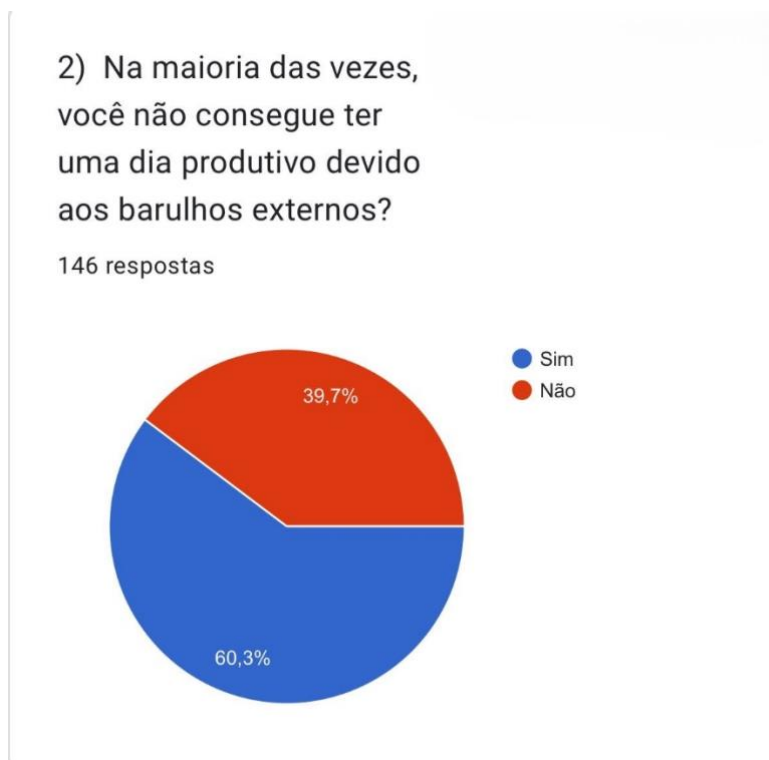
Fonte: Autoria própria, 2025.

Gráfico 2 – Gráfico do gênero dos participantes.

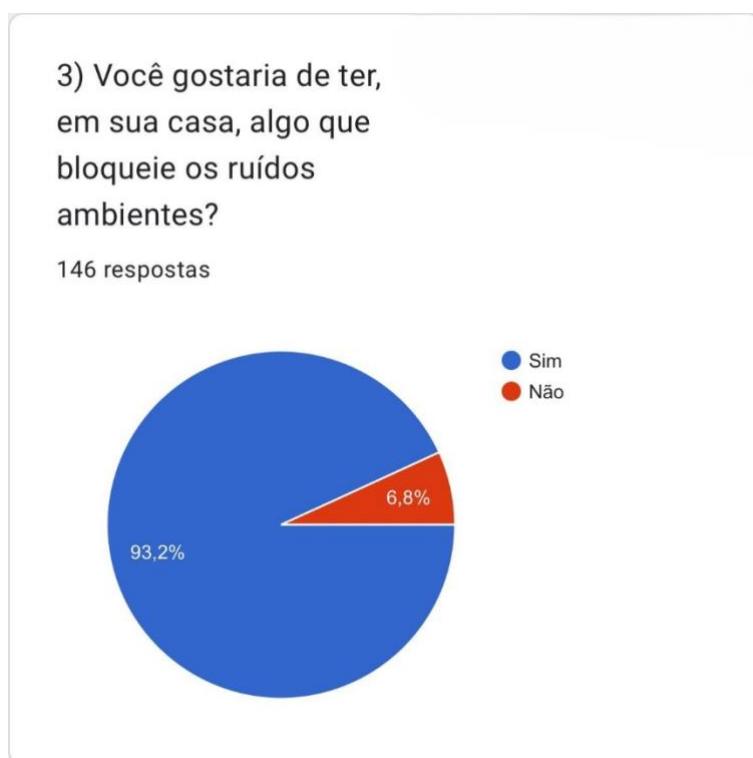
Fonte: Autoria própria, 2025.

Gráfico 3 – Gráfico de resposta da pergunta 1 (um).

Fonte: Autoria própria, 2025.

Gráfico 4 – Gráfico de resposta da pergunta 2 (dois).

Fonte: Autoria própria, 2025.

Gráfico 5 – Gráfico de respostas da pergunta 3 (três).

Fonte: Autoria própria, 2025.

Gráfico 6 – Gráfico de respostas da pergunta 4 (quatro).

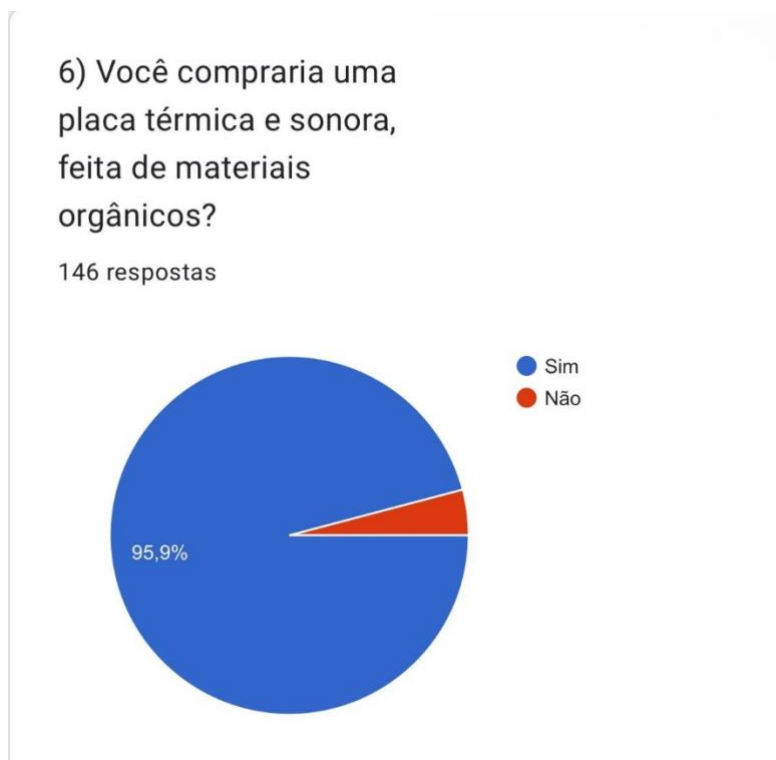


Fonte: Autoria própria, 2025.

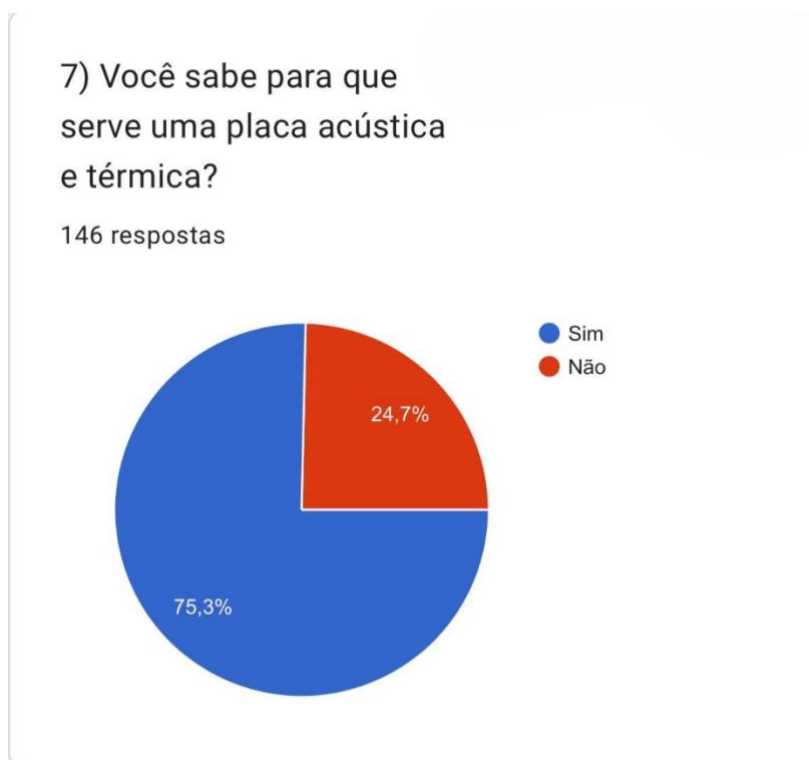
Gráfico 7 – Gráfico de respostas da pergunta 5 (cinco).



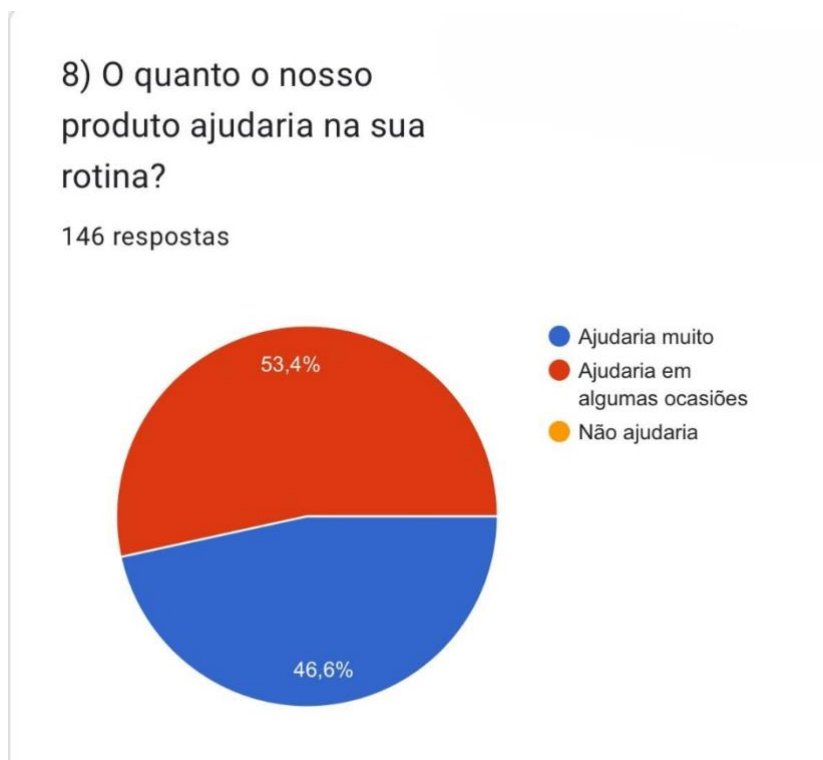
Fonte: Autoria própria, 2025.

Gráfico 8 – Gráfico de respostas da pergunta 6 (seis).

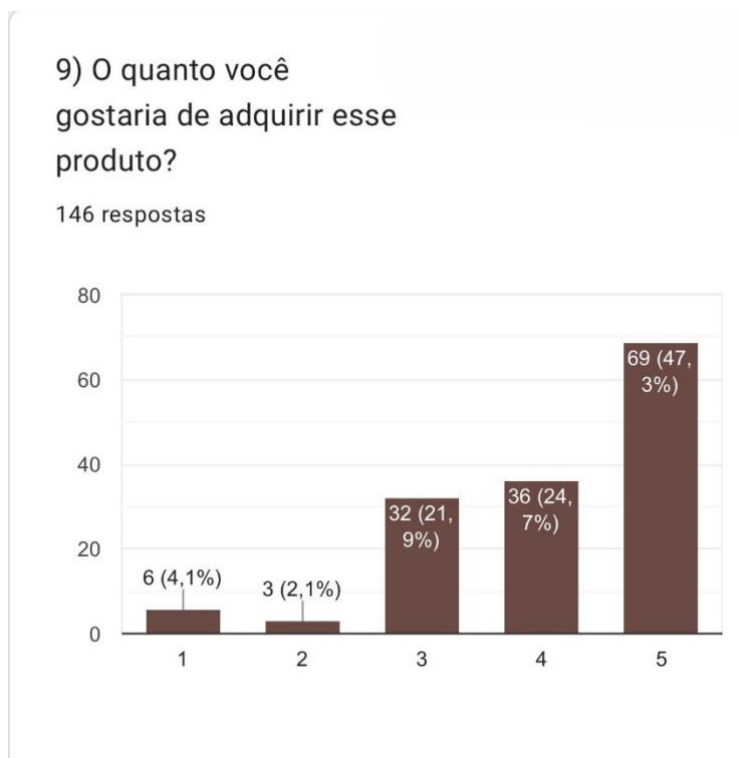
Fonte: Autoria própria, 2025.

Gráfico 9 – Gráfico de respostas da pergunta 7 (sete).

Fonte: Autoria própria, 2025.

Gráfico 10 – Gráfico de respostas da pergunta 8 (oito).

Fonte: Autoria própria, 2025.

Gráfico 11 – Gráfico de respostas da pergunta 9 (nove).

Fonte: Autoria própria, 2025.

Gráfico 12 – Gráfico de respostas da pergunta 10 (dez).



Fonte: Autoria própria, 2025.

11 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos demonstraram que:

- O uso da casca de ovo em conjunto com a casca fina da castanha-do-Pará contribuiu para maior coesão interna do compósito, funcionando como elemento de preenchimento que evitou a formação de vazios;
- A fibra de coco, quando inserida em camadas intermediárias, atuou como reforço estrutural, além de colaborar para a absorção acústica, devido à sua natureza fibrosa;
- O pó de grafite mostrou-se um aditivo auxiliar, capaz de melhorar a resistência mecânica e conferir certa uniformidade ao ligante;
- A quantidade de glicerina foi determinante: em menores proporções, observou-se fragilidade estrutural, enquanto em excesso, o ligante tornou-se excessivamente líquido, dificultando a moldagem. O ajuste final (redução para 75 mL) resultou em maior estabilidade;
- O processo de cura em estufa a 100 °C por 20 horas foi mais eficaz do que a secagem natural ou em menor temperatura, proporcionando placas mais resistentes e homogêneas.

Nos testes acústicos, observou-se redução significativa da propagação sonora, ainda que em frequências baixas o desempenho tenha sido limitado. Já nos testes de inflamabilidade, as placas não apresentaram risco de combustão, característica essencial para aplicação na construção civil.

De forma geral, os resultados confirmaram as hipóteses iniciais, demonstrando que a casca da castanha-do-Pará pode ser empregada com sucesso na formulação de placas termoacústicas sustentáveis. O último teste realizado destacou-se como a formulação mais eficiente, apresentando menor índice de falhas estruturais, boa resistência e desempenho satisfatório nos ensaios realizados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho, demonstrou-se a viabilidade do aproveitamento da casca da castanha-do-Pará, em combinação com outros resíduos naturais, na produção de placas com propriedades acústicas e térmicas. Por meio da pesquisa experimental, do registro sistemático em diário de bordo e da pesquisa de campo, foi possível confirmar as hipóteses iniciais: a matéria-prima selecionada apresenta elevado potencial para a formulação de um material sustentável, de baixo custo e funcional.

Adicionalmente, verificou-se que as placas de isolamento desenvolvidas contribuem significativamente para a redução da poluição sonora e térmica, promovendo ambientes mais confortáveis para jovens e adultos, com impactos positivos na qualidade de vida e no bem-estar dos usuários.

Dessa forma, conclui-se que os objetivos propostos foram plenamente alcançados, evidenciando uma alternativa eficiente aos materiais convencionais. Além disso, o estudo contribui para a valorização de resíduos agroindustriais e reforça a importância de pesquisas voltadas ao desenvolvimento de soluções sustentáveis para a construção civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

Água mineral: o que é, de onde vem e como se classifica. **Serviço Geológico do Brasil**, https://aguamineral.sgb.gov.br/agua_mineral_more.html. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

ALVARO, Julie. Glicerina: o que é, para que serve, propriedades. **Química.com.br**, 2022. Disponível em: <https://www.quimica.com.br/glicerina-o-que-e-para-que-serve-propriedades/>. Acesso em: 15 de setembro de 2025.

ANJOS, Daiane Brito Dos; *et al.* Potencial Da Casca Da Castanha Do Brasil Como Biofertilizante No Cultivo De Lactuca sativa L. **Universidade Federal do Acre**, v.4, n.1, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/1014>. Acesso em: 17 de setembro de 2025.

BATISTA, Carolina. Água. **Toda Matéria**, 2013. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/agua/>. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

BATISTA, Carolina. Amido. **Toda Matéria**, 2020. Disponível em: [https://www.todamateria.com.br/amido/#:~:text=Estrutura%20do%20amido,%2D\(1%2C4\).&text=A%20amilopectina%2%200%C3%A9%20um%20pol%C3%ADmero,propor%C3%A7%20%C3%A3o%20na%20composi%C3%A7%C3%A3o%20do%20%20amido.&text=Saiba%20mais%20sobre%20os%20polis%20sacar%C3%ADdeo](https://www.todamateria.com.br/amido/#:~:text=Estrutura%20do%20amido,%2D(1%2C4).&text=A%20amilopectina%2%200%C3%A9%20um%20pol%C3%ADmero,propor%C3%A7%20%C3%A3o%20na%20composi%C3%A7%C3%A3o%20do%20%20amido.&text=Saiba%20mais%20sobre%20os%20polis%20sacar%C3%ADdeo). Acesso em: 18 de setembro de 2025.

BELAYACHI, Naima; *et al.* Comportamento termomecânico de um compósito inovador de palha e cal para aplicações de isolamento térmico. **Research Gate**, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/272619247_Thermo-Mechanical_Behaviour_of_an_Innovant_Straw_Lime_Composite_for_Thermal_Insulation_Applications. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

Cal Hidratada Gecal. **Gecal**, 2024. Disponível em: <https://gecal.com.br/cal-hidratada-gecal/>. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

Cal hidratada. **Almawa Tech**, 2024. Disponível em: <https://www.almawatech.com/pt/aguas-residuais/cal-hidratada/>. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

CALLISTER, William D. Fundamentos da ciência e engenharia dos materiais. 2. edição. **Grupo Gen**, 2006. Disponível em: <https://www.grupogen.com.br/autores/willian-callister?>. Acesso em: 15 setembro 2025

Casca de ovo. **Science Direct**, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/egg-shell#:~:text=Casca%20de%20ovo%20%C3%A9%20definida,remo%C3%A7%C3%A3o%20de%20poluentes%20de%20solu%C3%A7%C3%B5es.&text=Qu%C3%A3o%20%C3%BAtil%20%C3%A9%20esta%20defini%C3%A7%C3%A3o?> Acesso em: 16 de setembro de 2025.

COELHO, André M. Validade e oxidação da linhaça!. **Linhaça**, 2022. Disponível em: <https://www.linhaca.net.br/validade-oxidacao-linhaca/>. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

Como é produzida a farinha de Milho?. **IDUgel – Instituto de Desenvolvimento de Tecnologia e Gestão Ambiental**, 2023. Disponível em: <https://idugel.com.br/como-e-produzida-a-farinha-de-milho/>. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

Conheça os diferentes tipos de cal. **Viteragro**, 2023. Disponível em: <https://viteragro.com.br/conheca-os-diferentes-tipos-de-cal/>. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

CORDEIRO, Brenda de Oliveira. Óleo de linhaça: para que serve, benefícios e mais. **Central Nutrition**, 2025. Disponível em: <https://blog.centralnutrition.com.br/oleo-de-linhaca-para-que-serve/>. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

CORRADINI, Elisângela; *et al.* Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos de cultivares de coco verde. **SciELO Brasil**, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/DQdC9ZVzgsndcvBjvGM4tNb/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 17 de setembro de 2025.

COSTA, Ana Luíza Macêdo; *et al.* Caracterização Física e Química Do Óleo De Linhaça Exposto ao a Diferentes Condições De Armazenamento. **Universidade Federal de Goiás**, 2016. Disponível em: https://www.sbpnet.org.br/livro/63ra/conpeex/pivic/trabalhos/ana_luiz.pdf#:~:text=A%20semente%20crua%20e%20armazenada%20em%20temperatura%20ambiente,v%20egetal%20de%20colora%C3%A7%C3%A3o%20alaranjada%20e%20sabor%20levemente%20amargo. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

COSTA, Joanne Régis; *et al.* Aspectos silviculturais da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) em sistemas agroflorestais na Amazônia Central. **SciELO Brasil**, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/RHgrfmFvT5SMm9bKKNJtN5m/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 17 de setembro de 2025.

CUSTÓDIO, Andreza Cristiane; *et al.* Purificação Simplificada do Rejeito de Glicerina Bruta da Produção de Biodiesel da Biorrefinaria Berso-UFPE: Uma Prática Sustentável. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.15, n.05, 2022 pg 2226-2237. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/253719>. Acesso em: 15 de setembro de 2025.

Desmoldante a base de silicone. *Soluções Industriais*, [s.d.]. Disponível em: <https://www.solucoesindustriais.com.br/desmoldante-a-base-de-silicone>. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

Desmoldante industrial: conheça as 5 principais aplicações!. Aeromaxx, 2012. Disponível em: <https://aeromaxx.com.br/blog/desmoldante-industrial-conheca-as-5-principais-aplicacoes/>. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

Desmoldante para concreto: conheça suas aplicações e benefícios. **Desmold**, 2024. Disponível em: <https://www.desmold.com.br/blog/desmoldante-para-concreto/desmoldante-para-concreto-o-que-e-e-quais-as-vantagens-desse-produto/>. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

Desmoldante: O que é e quais suas aplicações?. **Cadium**, 2017. Disponível em: <https://cadium.com.br/desmoldante-o-que-e-e-quais-suas-aplicacoes/>. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

Desmoldantes para indústrias farmacêuticas e alimentícias. **Clarus Technology**, 2025. Disponível em: <https://www.brclarus.com/divisao/manufatura/linha/desmoldantes/produto/desmoldantes-para-industrias-farmaceuticas-e-alimenticias#:~:text=Desmoldantes%20para%20ind%C3%BAstrias%20farmac%C3%AAuticas%20e,conformidade%20regulat%C3%B3ria%20e%20excel%C3%Aancia%20operacional>. Acesso em: 17 de setembro de 2025.

Desmoldantes para Indústrias Farmacêuticas e Alimentícias. Clarus Technology, [s.d.]. Disponível em: <https://www.brclarus.com/divisao/manufatura/linha/desmoldantes/produto/desmoldantes-para-industrias-farmaceuticas-e-alimenticias>. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

Estrutura do grafite explicada: de camadas, forças moleculares à anisotropia. **East Carbon**, 2024. Disponível em: <https://www.eastcarb.com/pt/estrutura-de-grafite/>. Acesso em: 15 de setembro de 2025.

Fibra De Coco. **Associação Nacional Dos Produtores De Coco**, Disponível em: <https://aprococobrasil.org.br/coco-e-cultura/derivados/fibra-de-coco/>. Acesso em: 17 de setembro de 2025.

Ficha de Informação de Produto Químico. Nome do produto: Glicerina. **CETESB**, [s.d.]. Disponível em: https://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?Consulta=GLICERINA. Acesso em: 15 de setembro de 2025.

Ficha De Informações De Segurança De Produto Químico Produto: Amido de Milho. **Multinacional Química**, 2021. Disponível em: <https://multinacionalquimica.com.br/wp-content/uploads/2021/09/FISPQ-AMIDO-DE-MILHO.docx.pdf?>. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

Ficha De Informações De Segurança De Produtos Químicos. **Orbi Química**, 2020. Disponível em: https://orbiquimica.com.br/v3/wp-content/uploads/2023/03/FISPQ_5640__DESMOLDANTE_COM_SILICONE__ORBI_V01.pdf. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

Glicerina PA ACS 1L ACS Científica. BCLab Produtos Laboratoriais, [s.d.]. Disponível em: <https://www.bclab.com.br/quimicos-reagentes/glicerina-pa-ac-1l-acscientifica>. Acesso em: 15 de setembro de 2025.

GIRALDELLI, Mariana Aparecida; *et al.* Propriedade da Fibra de Coco: Uma Revisão Sistemática. **Uniciências**, v.24, n.1, p.34–38, 2021. Disponível em: <https://uniciencias.pgsscogna.com.br/uniciencias/article/view/8920>. Acesso em: 17 de setembro de 2025.

GÓMEZ, Maria Elena de Los Dolores Bernal. Modulação da composição de ácidos graxos poliinsaturados ômega 3 de ovos e tecidos de galinhas poedeiras, através da dieta I. Estabilidade oxidativa [tese]. **Biblioteca Digital USP**, 2003. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/9/9131/tde-02062003-150007/pt-br.php>. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Água. **Portal de Educação Ambiental**, 2023. Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira>

ambiental/agua/#:~:text=A%20%C3%A1gua%20%C3%A9%20um%20recurso,e%20%C3%A9%20um%20solvente%20universal. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

Hidróxical. **Vatten**, 2015. Disponível em: https://vatten.com.br/hidroxical?gad_source=1&gad_campaignid=262445484&g_braid=0AAAAADppuRwYTzvwYKtjp7WiS9LaojcRy&gclid=EAlaIQobChMIImMbtqDbjwMV1x5ECB16IQj_EAAYASAAEgKF-_D_BwE. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

Hidróxido de cálcio: aplicações na saúde e construção. **Quero Bolsa**, 2025. Disponível em: <https://querobolsa.com.br/enem/quimica/hidroxido-de-calcio>. 18 de setembro de 2025.

JÚNIOR, Gilberto Regalin; NIENOV, Fabiano Alexandre. Incorporação de pó de casca de ovo de galinha em misturas de solo-cimento. **Unoesc**, 2022. Disponível em: <file:///C:/Users/Admin/Downloads/30067-Texto%20do%20artigo-97115-103857-10-20220606.pdf>. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

KAERAMAA, A.L.; *et al.* Desempenho higrotérmico de argamassas de isolamento térmico à base de cal: absorção de água, sorção higroscópica e permeabilidade ao vapor de água. **Research Gate**, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/376432621_Hygrothermal_Performance_of_Lime-Based_Thermal_Insulation_Mortars_Water_Absorption_Hygroscopic_Sorption_and_Water_Vapour_Permeability. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

KARAKY, Hamzé; *et al.* Desempenho higrotérmico e acústico de compósitos de amido e polpa de beterraba para isolamento térmico de edifícios. **PubMed Central**, 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30189650/>. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

LEAL, Karla. Óleo de linhaça: para que serve e como usar. **Tua Saúde**, 2025. Disponível em: <https://www.tuasaude.com/oleo-de-linhaca/>. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

LEGNAIOLI, Stella. Amido de milho: entenda benefícios e riscos. **Ecycle**, 2025. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/amido-de-milho/>. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

LOBO, Alexandre Rodrigues; SILVA, Glória Maria de Lemos. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. **Scielo Brasil**, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-52732003000200009>. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

LOPES, Beatriz de Oliveira; *et al.* Composição Química e de Minerais de Cascas de Castanhas Brasileiras. **Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia**, 2024. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1168087/1/877015.pdf>. Acesso em: 17 de setembro de 2025.

LOPES, Luanny; GIGLIO, Dr. Vinicius José. Eficiência da casca da castanha-do-Pará e do coco como biofertilizantes no cultivo de hortaliças. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v.13, n.2, 2024. Disponível em: <https://periodicos.unir.br/index.php/rolimdemoura/article/view/7680#:~:text=A%20cas>

ca%20da%20castanha%2Ddo,tiveram%20um%20crescimento%20significativament e%20maior. Acesso em: 17 de setembro de 2025.

MARCHETTI, JM; *et al.* Métodos possíveis para produção de biodiesel. **Science Direct**, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032105001073>. Acesso em: 15 de setembro de 2025.

MARTELLI, Marlice Cruz; *et al.* Produção De Carbonato De Cálcio (CaCO₃) A Partir Da Casca De Ovo De Galinha. **Research Gate**, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/375716085_PRODUCAO_DE_CARBOONAT_O_DE_CALCIO_CaCO3_A_PARTIR_DA_CASCA_DE_OVO_DE_GALINHA. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

MENG, Tian Shuo; *et al.* Compósitos porosos de amido/fibra de sisal ajustáveis para absorção acústica de banda larga: projeto experimental, modelagem JCA e aplicações sustentáveis. **PubMed Central**, 2025. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40744181/>. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

MILBRADT, Bruna Gressler; *et al.* Casca de ovo como fonte de cálcio para humanos: composição mineral e análise microbiológica. **SciELO Brasil**, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/yTR8KbsQWNpBSLQB3ZrwSSP/?lang=pt#:~:text=Al%C3%A9m%20do%20Ca%2C%20mineral%20mais,et%20al.%2C%202003>). Acesso em: 16 de setembro de 2025.

MONACO, Paola Alfonsa Vieira Lo; *et al.* Conchas De Ostras E Cascas De Ovos Moídas Como Corretivos Da Acidez Do Solo. **Research Gate**, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/329262568_CONCHAS_DE_OSTRAS_E_CASCAS_DE_OVOS_MOIDAS_COMO_CORRETIVOS_DA_ACIDEZ_DO_SOLO_-_DOI_10130831414-3984revengv23n6p584-590. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

MOTOSHITA, Masaharu; *et al.* Responsabilidade pelo consumo sustentável de água nas cadeias de abastecimento globais. **Science Direct**, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092134492300191X>. Acesso em: 17 de setembro de 2025.

MURAKAMI, Fabio Seigi; *et al.* Estudo físico-químico do CaCO₃ de cascas de ovos, **Repositório UFMS**, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/1267?>. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

NERY, Lídson Ramos. Qualidade da casca do ovo: o que é preciso saber?. **DeHeus**, 2024. Disponível em: <https://www.deheus.com.br/explore-e-aprenda/artigos/qualidade-da-casca-do-ovo-o-que-e-preciso-saber>. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

O que é glicerina e o seu papel na sustentabilidade. **Diplomata Comercial**, 2025. Disponível em: <https://diplomatacomercial.com/glossario/o-que-e-glicerina-e-o-seu-papel-na-sustentabilidade/>. Acesso em: 15 de setembro de 2025.

O que é Óleo de linhaça. Portal de Nutrição, 2025. Disponível em: <https://portaldenutricao.com/o-que-e-oleo-de-linhaca/>?. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

O que é pó de grafite – um guia completo. **East Carbon**, 2024. Disponível em: <https://www.eastcarb.com/pt/o-que-e-po-de-grafite/>. Acesso em: 15 de setembro de 2025.

O que você deve saber sobre as propriedades e aplicações do grafite?. **PCC Group Product Portal**, 2022. Disponível em: <https://www.products.pcc.eu/pt/blog/o-que-voce-deve-saber-sobre-as-propriedades-e-aplicacoes-do-grafite/>. Acesso em: 15 de setembro de 2025.

Óleo De Linhaça. **Florien**, 2024. Disponível em: <https://florien.com.br/wp-content/uploads/2024/01/OLEO-DE-LINHACA.pdf>. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

Óleo de Linhaça. **Tintas e Pintura**, 2016. Disponível em: <https://tintasepintura.pt/glossario/oleo-de-linhaca/>. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

Os 17 principais usos do pó de grafite que você deve conhecer. **East Carbon**, 2024. Disponível em: <https://www.eastcarb.com/pt/usos-do-pode-grafite/>. Acesso em: 15 de setembro de 2025.

OUMA, Justus; *et al.* Propriedades acústicas de blocos de terra compactada: efeito da pressão de compactação, cinza de aguapé e cal, **Research Gate**, 2023. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/366852575_Acoustical_properties_of_compressed_earth_blocks_Effect_of_compaction_pressure_water_hyacinth_ash_and_lime. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

PARALKAR, Vismaya; *et al.* Características de amortecimento de umidade e crescimento de mofo em casas rebocadas com cal e ventiladas naturalmente. **PubMed Central**, 2024. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11443221/>. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

PAVLÍK, Zbyšek; *et al.* Efeito da umidade na condutividade térmica de compósitos à base de cal. **Springer Nature Link**, v.30, 2009. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10765-009-0650-y>. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

Picandet, Vincent; *et al.* Permeabilidade e condutividade térmica de concreto pré-moldado de cal e cânhamo. **Revista Acadêmica de Engenharia Civil**, 2015. Disponível em: <https://journal.augc.asso.fr/index.php/ajce/article/view/1643>. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

PINTO, Denisard G. da Silva. Glicerina Bidestilada (Glicerina Bi-Destilada) o que é? Para que serve?. **Química.com.br**, 2022. Disponível em: <https://www.quimica.com.br/glicerina-bidestilada/>. Acesso em: 15 de setembro de 2025.

Processo de Extração da Fibra de Coco. **Exponature**, 2023. Disponível em: <https://exponature.com.br/blog/agronegocios/processo-de-extracao-da-fibra-de-coco>. Acesso em: 17 de setembro de 2025.

Qual a importância do uso do grafite nas plantadeiras?. **Blog da Rech**, 2021. Disponível em: <https://blog.rech.com/qual-a-importancia-do-uso-do-grafite-nas-plantadeiras/>. Acesso em: 15 de setembro de 2025.

Reciclagem de grafite – Um passo para uma fabricação sustentável. **East Carbon**, 2024. Disponível em: <https://www.eastcarb.com/pt/reciclagem-de-grafite/>. Acesso em: 15 de setembro de 2025.

Revista Eletrônica de Materiais e Processos. **Remap**, v.15, n.2, 2020. Disponível em: <https://remap.revistas.ufcg.edu.br/index.php/remap/article/view/>. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

Rodrigues, A. S.; Ávila, S. G. Caracterização Físico-Química da Casca de Ovo de Galinha e Utilização como Fonte para Produção Compostos de Cálcio. **Revista Virtual de Química**, 2017. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v9n2a10.pdf>. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

S. T. S. Santos; *et al.* Análises dos Constituintes Inorgânicos da Casca do Ovo. **Scientia Plena**, v.8, n.3, 2012. Disponível em: <https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/917/476>. Disponível em: 16 de setembro de 2025.

Sabia que... as cascas de ovo são um excelente fertilizante orgânico para a sua horta?. **Nanta**, 2024. Disponível em: <https://www.nanta.es/pt-pt/particulares/gama-camper/blog-de-camper/sabia-que-as-cascas-de-ovo-sao-um-excelente-fertilizante-organico-para-a-sua-horta/#:~:text=As%20cascas%20de%20ovo%2C%20compostas,de%20forma%20simples%20e%20eficaz>. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

SANTOS, Francisco Bento dos; *et al.* Ouriço da castanha do Pará (*Bertholettia excelsa*): caracterização e seus possíveis usos. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.4, p.165–172, 2022. Disponível em: <https://sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/7180>. Acesso em: 17 de setembro de 2025.

SANTOS, Ivanildo. Projeto utiliza casca de coco para produzir placas de isolamento térmico e acústico. **Fapema**, 2015. Disponível em: <https://www.fapema.br/projeto-utiliza-casca-de-coco-para-produzir-placas-de-isolamento-termico-e-acustic/>. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

SANTOS, Vanessa Sardinha dos. Composição química da água. **Mundo Educação**, 2019. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/biologia/composicao-agua.htm>. Acesso em: 18 de setembro de 2025. 2019

SEBRAE. Métodos de extração do óleo e extrato e obtenção do farelo de linhaça. **SEBRAE**, 2011. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/sbrr/Dossies/metodos-de-extracao-do-oleo-e-extrato-e-obtencao-do-farelo-de-linhaca,1ac18df035242810VgnVCM100000d701210aRCRD>. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

Silispray – Linha Completa. **UltraLub**, [s.d.]. Disponível em: <http://www.ultralub.com.br/produtos/silispray-linha-completa/>. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

TARANNUM, Fatema; *et al.* Composto de polieterimida de grafite expandido termicamente com condutividade elétrica e térmica superior. **Arxiv**, 2022. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2204.12075>. Acesso em: 15 de setembro de 2025.

Tudo sobre desmoldante: conheça os principais tipos e suas aplicações. **Coplas**, 2024. Disponível em: <https://coplas.com.br/tudo-sobre-desmoldante/>. Acesso em: 16 de setembro de 2025.

VIANA, Aline Maria De Souza. Casca De Ovo Como Biossorvente Alternativo Para Remoção De Metais Pesados Em Águas Residuárias. **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano**, 2018. Disponível em: https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos_8/2020-11-06-03-22-56Disserta%C3%A7%C3%A3o_ALINE%20MARIA.pdf?. Acesso em: 16 de setembro de 2025.