



DIOGO ANTONIO CORREA GOMES

**AVALIAÇÃO DA CASCA DE AMENDOIM NA PRODUÇÃO
DE PAINÉIS DE MADEIRA**

/

**LAVRAS – MG
2026**

DIOGO ANTONIO CORREA GOMES

**AVALIAÇÃO DA CASCA DE AMENDOIM NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE
MADEIRA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos e Nanocompósitos Lignocelulósicos, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Prof. D.Sc. José Benedito Guimarães Júnior

Co-Orientador

Prof. D.Sc. Saulo Rocha Ferreira

Co-Orientadora

D.Sc. Maria Cecília Ramos de Araújo Veloso

**LAVRAS – MG
2026**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração
de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com
dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Gomes, Diogo Antonio Correa.

Avaliação da casca de amendoim na produção de painéis de madeira / Diogo
Antonio Correa Gomes. - 2026.
59 p.

Orientador: José Benedito Guimarães Júnior

Coorientador: Saulo Rocha Ferreira

Coorientadora: Maria Cecília Ramos de Araújo Ramos de Araújo Veloso

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2026.

Bibliografia.

1. Impacto ambiental. 2. Painéis aglomerados. 3. Resíduos agrícolas. 4.
Valorização. I. Guimarães Júnior, José Benedito. II. Ferreira, Saulo Rocha. III.
Ramos de Araújo Veloso, Maria Cecília Ramos de Araújo. IV. Universidade Federal
de Lavras. V. Título.

DIOGO ANTONIO CORREA GOMES

**AVALIAÇÃO DA CASCA DE AMENDOIM NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE
MADEIRA**

EVALUATION OF PEANUT SHELLS IN THE PRODUCTION OF WOOD PANELS.

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos e Nanocompósitos Lignocelulósicos, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 10 de abril de 2026.

D.Sc. José Benedito Guimarães Júnior- Universidade Federal de Lavras	UFLA
D.Sc. Flávia Maria Silva Brito- Universidade Federal do Espírito Santo	UFES
D.Sc. Josy Antevelli Osajima- Universidade Federal do Piauí	UFPI
D.Sc. Evandro Pereira da Silva- Centro Universitário de Lavras	UNILAVRAS
D.Sc. Mario Vanoli Scatolino- Universidade do Estado do Amapá	UEAP

Orientador

Prof. D.Sc. José Benedito Guimarães Júnior

Co-Orientador

Prof. D.Sc. Saulo Rocha Ferreira

Co-Orientador

D.Sc. Maria Cecília Ramos de Araújo Veloso

LAVRAS – MG

2026

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me sustentar e me dar forças em todos os momentos da minha vida acadêmica.

Ao meu pai, Marcos, pelo carinho e apoio nessa trajetória, sempre ao meu lado em todos os momentos, e à minha mãe, Nilza (*in memoriam*), pela sabedoria que me passou durante os nossos anos de convivência e um desses ensinamentos: não desanimar nos momentos difíceis da vida. E também aos demais familiares que sempre me apoiaram nesta etapa.

Aos meus amigos do Ministério Universidades Renovadas (MUR) da Renovação Carismática Católica de Lavras, diocese de São João del-Rei, que sempre estiveram ao meu lado durante esses períodos de estudos.

Agradeço à Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais pela oportunidade de estar realizando o doutorado.

Ao meu orientador, José Benedito Guimarães Júnior, por todo incentivo nesta minha trajetória na pós-graduação.

Agradeço também à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), que, por meio do custeio financeiro da pesquisa (número do processo 5.02/2022), me proporciona apoio na realização da pesquisa.

RESUMO

O amendoim (*Arachis hypogaea*) é uma planta da família Fabaceae (leguminosas), cuja produção no território brasileiro vem apresentando expressivo crescimento nos últimos anos. Com o aumento da produção do grão, observa-se também a elevação da geração de resíduos vegetais, como cascas, caules e folhas. Esses resíduos, quando descartados de forma inadequada no meio ambiente, podem causar impactos ambientais, mas apresentam potencial de reaproveitamento na geração de energia, na alimentação animal e como reforço em materiais compósitos. Nesse contexto, a presente tese teve como objetivo avaliar o potencial da incorporação de resíduos da casca de amendoim em painéis aglomerados. Os painéis foram produzidos com adesivo ureia-formaldeído, por meio de diferentes níveis de substituição em massa (0, 20, 40, 60, 80 e 100%) da madeira de *Pinus oocarpa* por partículas da casca amendoim. Os painéis e os compósitos de gesso foram avaliados quanto às propriedades físicas, mecânicas e microestruturais, visando verificar a viabilidade técnica do material alternativo. Os resultados indicaram que os painéis aglomerados apresentaram desempenho satisfatório em contato com a água, especialmente nas maiores proporções de substituição, evidenciando potencial melhoria da estabilidade dimensional. Entretanto, observou-se que algumas propriedades mecânicas foram reduzidas com o aumento do teor de resíduos, o que indica a necessidade de otimização das condições de processamento, como proporção de adesivo, granulometria das partículas e parâmetros de prensagem. Adicionalmente, as análises microestruturais evidenciaram boa distribuição das partículas lignocelulósicas, embora com variações na interface matriz-partícula, fator que pode influenciar diretamente o desempenho mecânico dos painéis. Dessa forma, conclui-se que a utilização da casca de amendoim como substituto parcial da madeira em painéis aglomerados é tecnicamente viável e ambientalmente promissora, contribuindo para a valorização de resíduos agroindustriais. Por fim, recomenda-se a realização de estudos futuros voltados ao aprimoramento das propriedades mecânicas, incluindo o uso de diferentes tipos de adesivos, tratamentos químicos das partículas e ajustes no processo produtivo, a fim de ampliar as possibilidades de aplicação desses painéis em setores como a indústria moveleira e a construção civil.

Palavras-chaves: impacto ambiental; painéis aglomerados; resíduos agrícolas, valorização.

ABSTRACT

Peanuts (*Arachis hypogaea*) are a plant from the Fabaceae family (legumes), whose production in Brazil has shown significant growth in recent years. With the increase in grain production, there has also been an increase in the generation of plant waste, such as husks, stems, and leaves. When improperly disposed of in the environment, these wastes can cause environmental impacts, but they have potential for reuse in energy generation, animal feed, and as reinforcement in composite materials. In this context, this thesis aimed to evaluate the potential of incorporating peanut husk waste into particleboard panels. The panels were produced with urea-formaldehyde adhesive, through different levels of mass substitution (0, 20, 40, 60, 80, and 100%) of *Pinus oocarpa* wood with peanut husk particles. The panels and gypsum composites were evaluated for their physical, mechanical, and microstructural properties, aiming to verify the technical viability of the alternative material. The results indicated that the particleboard panels showed satisfactory performance in contact with water, especially at higher substitution proportions, demonstrating potential for improved dimensional stability. However, it was observed that some mechanical properties were reduced with increasing residue content, indicating the need to optimize processing conditions, such as adhesive ratio, particle size distribution, and pressing parameters. Additionally, microstructural analyses showed good distribution of lignocellulosic particles, although with variations in the matrix-particle interface, a factor that can directly influence the mechanical performance of the panels. Thus, it is concluded that the use of peanut shells as a partial substitute for wood in particleboard panels is technically feasible and environmentally promising, contributing to the valorization of agro-industrial waste. Finally, future studies aimed at improving mechanical properties are recommended, including the use of different types of adhesives, chemical treatments of particles, and adjustments to the production process, in order to expand the application possibilities of these panels in sectors such as the furniture industry and civil construction.

Keywords: environmental impact; particleboard panels; agricultural waste, valorization.

INDICADORES DE IMPACTO

A presente tese teve como finalidade avaliar a influência da incorporação de cascas provenientes da cultura do amendoim (*Arachis hypogaea*) no desenvolvimento de painéis aglomerados. A pesquisa parte do princípio da valorização de subprodutos agroindustriais que, em sua maioria, são descartados ou subutilizados, especialmente em um país como o Brasil, cuja economia possui forte dependência da produção agrícola. Por isso, a proposta está fundamentada nos princípios da economia circular e na valorização de resíduos sólidos, em conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos e com as diretrizes estabelecidas pela Organização das Nações Unidas no contexto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com destaque para o ODS que preconiza padrões sustentáveis de consumo e produção.

IMPACT INDICATORS

This thesis aimed to evaluate the influence of incorporating peanut (*Arachis hypogaea*) husks on the development of particleboard panels. The research is based on the principle of valuing agro-industrial by-products, most of which are discarded or underutilized, especially in a country like Brazil, whose economy is heavily dependent on agricultural production. Therefore, the proposal is based on the principles of the circular economy and the valorization of solid waste, in accordance with the National Solid Waste Policy and the guidelines established by the United Nations in the context of the Sustainable Development Goals (SDGs), with emphasis on the SDG that advocates sustainable consumption and production patterns.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE.....	10
1 INTRODUÇÃO	10
2 ORGANIZAÇÃO DA TESE	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 Amendoim (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	13
3.1.1 Detalhamento de números da produção de amendoim	13
3.1.2 Ciclo da produção do amendoim e seus resíduos	15
3.2 Produção de Painéis aglomerados.....	18
3.4 Reaproveitamento de resíduos agrícolas	20
SEGUNDA PARTE.....	21
ARTIGO 1: Avaliação da incorporação de partículas da casca de amendoim na produção de painéis aglomerados.....	22
TERCEIRA PARTE	54
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
REFERÊNCIAS	56

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O amendoim (*Arachis hypogaea*) é uma planta da família *Fabaceae* (leguminosas), assim como o grão-de-bico, a lentilha, o feijão e a ervilha. Esse vegetal é originário da América do Sul e é usado principalmente para fins culinários na produção de biscoitos, pães, doces, cereais e saladas. Além disso, devido ao seu elevado teor de gordura, o amendoim é empregado na fabricação de produtos industrializados como óleos, farinhas, tintas, cremes, dentre outros (Perea-Moreno *et al.*, 2018).

Observa-se elevada produção dessa cultura, devido à alta demanda. Atualmente, cerca de 250,5 milhões de hectares são cultivados no Brasil, dos quais, aproximadamente 80% correspondem ao estado de São Paulo (CONAB, 2025). Essa ampla área de cultivo resultou em uma produção de 1,16 milhão de toneladas de amendoim na safra de 2024/2025, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2025).

Em razão da expressiva produção desta cultura agrícola no Brasil, há uma geração proporcional de resíduos da casca, sobras deste processamento produtivo. Tais resíduos, que correspondem a 25 a 30% da massa total do amendoim, apresentam componentes químicos como celulose, hemicelulose, cinzas e lignina (Perea-Moreno *et al.*, 2018).

Esses constituintes possuem um alto teor energético e, portanto, podem ser aproveitados como biomassa para a geração de energia. Perea-Moreno *et al.* (2018), por exemplo, utilizou cascas de amendoim como biocombustível sólido em instalações de aquecimento residenciais e industriais. Os autores concluíram que esse material pode ser empregado como combustível para caldeiras e como alimento para gado.

Entretanto, mesmo com essa ampla gama de uso, grande parte destes resíduos vegetais ainda é descartada de forma inadequada ou subutilizada. Outras formas de reaproveitamento precisam ser estudadas, pois são fundamentais para a redução dos impactos ambientais e para a obtenção de produtos de maior valor agregado, alinhados à consciência ambiental, baixo custo de produção e com potencial de aperfeiçoamento de propriedades químicas, físicas, mecânicas e microestruturais (Zhu *et al.*, 2023; Kuqo; Mai, 2021; Torkashvand; Alidoust; Khomami, 2015).

Consoante a esta linha de pesquisa, cientistas vêm realizando, nesta ótica, estudos a fim de mensurar o potencial de reaproveitamento de diversos outros resíduos agrícolas como trigo (Gomes *et al.*, 2024b), do pecíolo de jupati (Gomes *et al.*, 2024a), de feijão (Miranda *et al.*, 2022), do pecíolo de jupati (Velooso *et al.*, 2020), a casca do coco (Narciso *et al.*, 2020), do bagaço de cana-de-açúcar (Soares *et al.*, 2017), do endocarpo de café (Scatolino *et al.*, 2017), da casca do arroz (Ayrilmis; Kwon; Han, 2012); dentre outros, em materiais compósitos. De maneira geral, o uso de biomassas em compósitos provoca uma redução das propriedades mecânicas, aumento da afinidade com a água e melhoria de algumas outras propriedades físicas e mecânicas. Os resíduos de amendoim, porém, ainda possuem pesquisas insipientes nesta área e poderiam ser mais amplamente estudados.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a produção de painéis aglomerados de madeira com casca de amendoim, produzidos com adesivo à base de ureia-formaldeído, com diferentes níveis de proporções de mistura (0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100%) da madeira de *Pinus oocarpa*. O mesmo foi colocado partículas da casca de amendoim para avaliar a viabilidade técnica desses painéis, por meio dos resultados de análises físicas, mecânicas e microestruturais.

2 ORGANIZAÇÃO DA TESE

Quanto à estrutura, esta tese será organizada em três partes. A ordem de apresentação e o conteúdo abordado em cada capítulo são os seguintes:

- **1ª parte – Introdução, Organização da Tese e Referencial Teórico:** Nesta seção foram apresentadas a introdução da tese, as contribuições da pesquisa para o setor de materiais, os objetivos principais do estudo e o referencial teórico, com destaque para casca de amendoim que fundamentou a pesquisa.
- **2ª parte – Avaliação das partículas de casca de amendoim na produção de painéis aglomerados (Artigo 1):** Nesta segunda parte, foi apresentado o artigo produzido nesta tese, cujo objetivo foram analisar o efeito da incorporação de partículas da casca de amendoim nas propriedades físico-mecânicas e microestruturais de painéis aglomerados.
- **3ª parte – Considerações finais do trabalho e Referências:** Na quarta e última parte da tese foram apresentadas as conclusões gerais obtidas e as referências bibliográficas da tese.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Amendoim (*Arachis hypogaea* L.)

O Brasil apresenta elevada produção de culturas agrícolas, como o amendoim. Somente em 2019, por exemplo, a soma de bens e serviços gerados pela agricultura brasileira chegou a R\$ 1,55 trilhão, correspondendo a 21,40% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional (Instituto Nacional de Estatística e Censos, 2021). Algumas culturas agrícolas, como arroz (11,06 milhões de toneladas produzidas), soja (176,12 milhões de toneladas produzidas), milho (138,86 milhões de toneladas produzidas) e amendoim (1,14 milhão de toneladas produzidas), contribuíram para esses números expressivos (CONAB, 2025).

O amendoim é uma planta dicotiledônea pertencente à família *Fabaceae* (*Leguminosae*) e ao gênero *Arachis* (Perea-Moreno *et al.*, 2018; Lozano, 2016). São identificadas cerca de 80 espécies dentro do gênero *Arachis*, das quais 48 são restritas ao Brasil; entretanto, a única espécie cultivada comercialmente no país é a *Arachis hypogaea* L., que apresenta duas subespécies: *hypogaea* e *fastigiata*.

3.1.1 Detalhamento de números da produção de amendoim

Diante da alta produção desta cultura, o Brasil vem aumentando a sua participação no mercado internacional na produção de amendoim *in natura* e de produtos processados como óleo, farelo e outros produtos alimentícios. Tal tendência deve continuar nos próximos anos, gerando um crescimento da produção estimado em 3%, isso se deve ao fato de o país apresentar clima favorável, melhoramento genético de sementes e tecnologias avançadas no manejo da cultura (Kasai; Deuber, 2011). A produção total desse grão e de outras culturas agrícolas, para fins de comparação, pode ser observada com base nos números das últimas safras, expostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Estimativa de produção de grãos no Brasil.

Produto	Safrá- Estimativa de produção de grãos (em mil toneladas)			
	2021/2022	2022/2023	2023/2024	2024/2025
Amendoim	746,7	893,0	733,7	1138,2
Feijão	2990,2	3079,4	3244,3	3046,4
Milho	113130,40	125535,9	115697,2	138867,1
Soja	125479,8	154810,7	147718,7	176124,4

Fonte: CONAB (2025).

Por isso, a quantidade de áreas plantadas de amendoim está também apresentando crescimento. (Tabela 2).

Tabela 2 – Área plantada de grãos no Brasil.

Produto	Safrá- Estimativa da área em grãos (em mil hectares)			
	2021/2022	2022/2023	2023/2024	2024/2025
Amendoim	200,10	200,50	255,4	281,8
Feijão	2859,0	2758,6	2859,5	2641,6
Milho	21580,6	21972,9	21050,8	22714,1
Soja	41492,0	43561,9	46148,8	48672,6

Fonte: CONAB (2025).

O estado de São Paulo é o maior produtor de amendoim do país. Outro estado da região Sudeste, Minas Gerais, e estados da região Centro-Oeste, também vêm apresentando um crescimento desta cultura nos últimos dois anos (Tabela 3).

Tabela 3 – Estimativa de produção amendoim nas regiões do Brasil.

Região	Safr a - Estimativa de produção de grãos (em mil toneladas)			
	2021/2022	2022/2023	2023/2024	2024/2025
Minas Gerais /Sudeste	13,50	55,40	51,4	59,3
São Paulo / Sudeste	692,7	787,8	592,0	840,6
Sul	14,2	13,4	16,0	12,6
Norte / Nordeste	4,0	3,8	3,8	3,6
Centro Oeste	742,7	889,2	70,5	159,7

Fonte: CONAB (2025).

Observa-se, desse modo, um aumento da produção mundial de amendoim atingiu aproximadamente 52,2 milhões de toneladas em 2025, sendo a China, a Índia, a Nigéria e os Estados Unidos os principais países produtores (FAO, 2025). Esse cenário tem atraído muitos agricultores, que têm investido cada vez mais na cultura de amendoim como opção primária.

3.1.2 Ciclo da produção do amendoim e seus resíduos

Para a produção da cultura de amendoim, como mencionado, de grande relevância para a agricultura brasileira, primeiramente, realiza-se a aração do terreno e semeadura. (Figura 1).

Figura 1 – Plantio de amendoim.

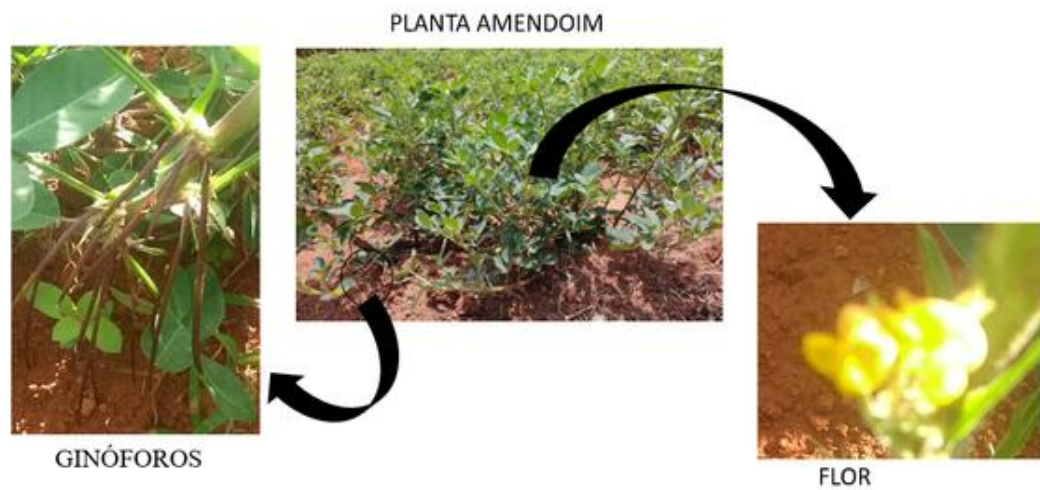


Fonte: Do autor (2026).

Após esse ciclo, a raiz cresce rapidamente, embora as folhas apresentem emergência lenta e as plantas demorem a ocupar completamente o terreno (Figura 1). Nesse período, a primeira capina deve ser realizada utilizando-se enxadas, cerca de 25 dias após a semeadura, pois o plantio ocorre durante o período chuvoso. Durante o processo de capina, deve-se tomar cuidado para não danificar os caules. Uma nova capina deve ser realizada aproximadamente 30 dias depois concomitantemente à adubação do solo nas plantas de amendoim (Kasai; Deuber, 2011).

O amendoim utilizado nos plantios, majoritariamente das subespécies *hypogaea* e *fastigiata*, é originário da América do Sul (Lozano, 2016). A planta apresenta crescimento rasteiro e as flores aparecem cerca de 60 dias após a germinação (Figura 2). Após a fecundação, elas inclinam-se em direção ao solo, com penetração de 2 a 7 cm dos ginóforos (*pegs*), assumindo posição horizontal e desenvolvendo simultaneamente os frutos. É necessária a ausência de luz para o crescimento do fruto (Kasai; Deuber, 2011).

Figura 2 – Planta de amendoim após 60 dias de germinação.



Fonte: Do autor (2026).

O amendoim também apresenta raiz pivotante (Figura 3). Isso significa que suas raízes secundárias são formadas a partir do hipocótilo e distribuem-se lateralmente em um raio de 25 a 30 cm (Kasai; Deuber, 2011).

Figura 3 – Planta de amendoim com raiz.



Fonte: Do autor (2026).

A maturação fisiológica do amendoim é determinada quando a casca apresenta textura fina e sua face interna exibe manchas e coloração marrom. A película das sementes adquire coloração marrom-clara e firme, característica da cultivar (Figura 4).

Figura 4 – Amendoim *hypogaea* e *fastigiata* in natura.



Fonte: Do autor (2026).

Esse ciclo tem duração de aproximadamente seis meses, durante os quais muitos resíduos, como as cascas, que representam de 25 a 30% da massa total produzida, são gerados (Brito Junior, 2017). Esses resíduos possuem alto teor energético, o que possibilita sua utilização como biomassa para geração de energia em instalações de aquecimento residenciais e industriais. Outro potencial, ainda pouco explorado, é seu reuso da casca de amendoim na indústria moveleira (Perea-Moreno *et al.*, 2018).

3.2 Produção de Painéis aglomerados

De acordo com o Instituto Brasileiro de Árvores (IBÁ, 2024), o consumo de painéis de madeira no ano de 2024 foi de aproximadamente 7,1 milhões de metros cúbicos. Apesar desses números, outros países, como a China, que produz cerca de 50% de todos os painéis de madeira no mundo, produzem quantidades significativamente maiores que o Brasil, que corresponde à geração de apenas 3% dos painéis de madeira do mundo (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2025). Um dos materiais mais consumido no mundo pela indústria moveleira e pela construção civil são os painéis aglomerados (Figura 5).

Figura 5 – Painel aglomerado.



Fonte: Gomes *et al.*, (2024)

Nos painéis aglomerados produzidos com madeiras tradicionais (*Pinus oocarpa* e *Eucalyptus grandis*), a união entre as partículas ocorre por meio de aplicação de adesivos sintéticos termo fixos (ureia-formaldeído, melamina-formaldeído, fenol-formaldeído, resorcina-formaldeído e tanino-formaldeído) seguida de um processo de prensagem a quente (Guimarães Júnior *et al.*, 2016).

Segundo Iwakiri e Trianoski (2020), a resina de ureia-formaldeído (UF) é produzida em solução aquosa, com teor de sólidos entre 60 e 70%, coloração branca leitosa, pH na faixa de 7,4 a 7,8 e viscosidade na faixa de 400 a 1000 cP a 25°C. Já a resina fenol-formaldeído (FF) apresenta coloração marrom avermelhada, teor de sólidos entre 48 e 51%, pH na faixa de 11 a 13, viscosidade entre 300 e 600 cP e temperatura de cura entre 130 e 150°C. Por fim, a resina melamina-formaldeído possui coloração branca leitosa, maior resistência à água em relação à ureia-formaldeído e cura mais rápida em comparação ao fenol-formaldeído. Esses três adesivos são os mais comumente utilizados em painéis.

Uma das propriedades mais importantes para a avaliação desses painéis aglomerados é a razão de compactação. Essa razão indica o grau de densificação do material. A espécie de madeira escolhida deve possuir baixa densidade para alcançar boa razão de compactação, cujo valor adequado para a produção de painéis particulados situa-se na faixa de 1,3 a 1,6 (Kelly, 1977; Maloney, 1993). Valores acima de 1,6 podem melhorar as propriedades mecânicas, mas aumentam o inchamento em espessura devido ao maior volume de material submetido à compressão durante a fase de prensagem (Iwakiri; Trianoski, 2020).

Além da razão de compactação, outros fatores influenciam as propriedades físico-mecânicas dos painéis aglomerados como a umidade das partículas, o tipo e o teor de adesivos, bem como a temperatura e a pressão durante a prensagem (Vilela, 2016).

A utilização da madeira, principal matéria-prima dos painéis aglomerados, e (*Pinus oocarpa* e *Eucalyptus grandis*). Em busca de novas matérias-primas para a indústria de painéis aglomerados, a inserção de resíduos agrícolas e agroflorestais vem contribuindo para a menor utilização de madeira e para a produção de painéis com melhor desempenho (Faria *et al.*, 2020; Iwakiri; Trianoski, 2020; Veloso *et al.*, 2020; Ribeiro *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2016a).

Historicamente, a produção de painéis aglomerados teve origem no aproveitamento de resíduos lignocelulósicos que ocorreu na Alemanha, no início da década de 1940, como forma de viabilizar a utilização de resíduos de madeira, devido à dificuldade de obtenção de madeiras de boa qualidade para a produção de painéis durante a Segunda Guerra Mundial. (Iwakiri; Trianoski, 2020). Dentre os resíduos agrícolas com grande potencial para esse fim destaca-se a casca de amendoim.

3.4 Reaproveitamento de resíduos agrícolas

O uso de recursos agrícolas, agroindustriais e florestais em painéis de madeira é fundamental para a diminuição dos impactos ambientais e para a geração de produtos de maior valor agregado, alinhados à consciência ambiental, baixo custo de produção e propriedades químicas, físicas e mecânicas aprimoradas (Zhu *et al.*, 2023; Kuqo; Mai, 2021; Torkashvand; Alidoust; Khomami, 2015).

Diante desse cenário, cientistas têm realizado pesquisas avaliando o uso de resíduos, como o endocarpo do café (Scatolino *et al.*, 2017), a casca do arroz (Ayrilmis; Kwon; Han, 2012), o trigo (Gomes *et al.*, 2024b), o feijão (Miranda *et al.*, 2022), o pecíolo de jupati (Gomes *et al.*, 2024a), entre outros, em materiais compósitos e em painéis de madeira. Observa-se que o uso de resíduos lignocelulósicos em compósitos ocasiona, de maneira geral, redução das propriedades mecânicas, aumento da afinidade com a água e aprimoramento das propriedades de isolamento térmico e acústico.

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

Artigo 1 - Elaborado conforme a norma NBR 6022	
Título do artigo:	Avaliação da incorporação de partículas da casca de amendoim na produção de painéis aglomerados
Autores:	Diogo Antonio Correa Gomes Eduardo Hélio de Novais Miranda Pedro Henrique Garcia de Castro Ribeiro Izabella Maria Silva Souto Maria Cecília Ramos de Araújo Veloso Lorival Marin Mendes Saulo Rocha Ferreira José Benedito Guimarães Júnior



DIOGO ANTONIO CORREA GOMES

**AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE PARTÍCULAS DA
CASCA DE AMENDOIM NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS
AGLOMERADOS**

**EVALUATION OF THE INCORPORATION OF PEANUT
SHELL PARTICLES IN THE PRODUCTION OF
PARTICLEBOARD.**

DESTAQUES

Valorização da matéria-prima da casca de amendoim;

Estudo do comportamento físico do painel aglomerado contendo partículas da casca de amendoim;

Aprimoramento do desempenho das propriedades físicas do painel aglomerado;

RESUMO

Painéis aglomerados de baixa densidade são produzidos a partir de partículas lignocelulósicas secas, unidas por adesivo sintético e prensadas a quente, sendo amplamente utilizados na fabricação de móveis e revestimentos. A incorporação de resíduos agrícolas nesses materiais tem sido estudada como alternativa à madeira convencional, com o objetivo de reduzir custos e promover o aproveitamento de subprodutos agroindustriais. Neste estudo, avaliou-se o desempenho de painéis aglomerados de baixa densidade produzidos com diferentes níveis de substituição da madeira de *Pinus oocarpa* por partículas de casca do amendoim (0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100%). Os materiais foram coletados, moídos, peneirados e caracterizados quanto aos teores de extrativos, lignina, cinzas e holocelulose, além da densidade aparente. Os painéis foram fabricados com densidade nominal de 0,6 g/cm³, utilizando adesivo ureia-formaldeído, com prensagem inicial a frio, prensagem a quente e posterior climatização das amostras. Para avaliar a viabilidade técnica da substituição, os painéis foram submetidos a ensaios físicos, mecânicos e análises microestruturais. Os resultados indicaram que a casca de amendoim apresenta potencial como matéria-prima alternativa, promovendo redução na absorção de água e no inchamento em espessura. Entretanto, maiores níveis de incorporação resultaram em redução das propriedades mecânicas, associada à presença de microporos, aglomeração de partículas e menor adesão da resina. Esses resultados indicam que a utilização parcial da casca pode contribuir para o desenvolvimento de painéis com melhor desempenho.

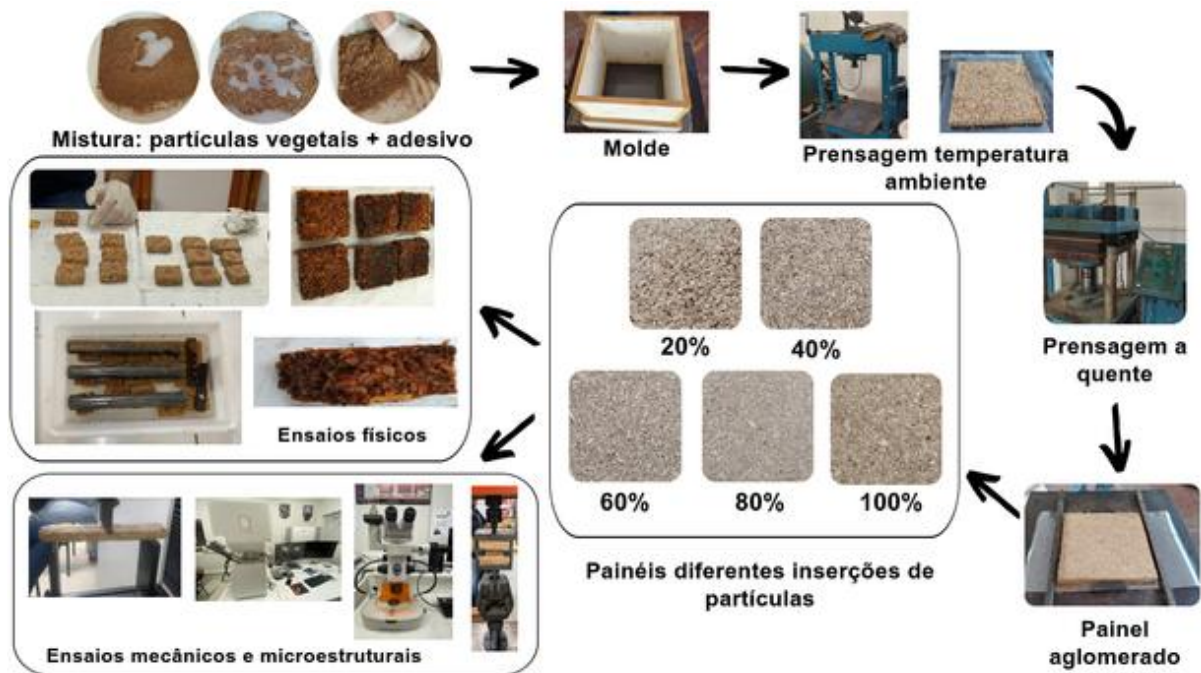
Palavras-chave: biomassa; hidrofóbico; madeira; resíduos agrícolas.

ABSTRACT

Low-density particleboard (LDP) panels are produced from dry lignocellulosic particles bonded with synthetic adhesive and hot-pressed, and are widely used in the manufacture of furniture and paneling. The incorporation of agricultural waste into these materials has been studied as an alternative to conventional wood, aiming to reduce costs and promote the use of agro-industrial by-products. This study evaluated the performance of LDP panels produced with different levels of substitution of *Pinus oocarpa* wood with peanut shell particles (0%, 20%, 40%, 60%, 80%, and 100%). The materials were collected, ground, sieved, and characterized in terms of extractives, lignin, ash, and holocellulose content, as well as apparent density. The panels were manufactured with a nominal density of 0.6 g/cm³, using urea-formaldehyde adhesive, with initial cold pressing, hot pressing, and subsequent acclimatization of the samples. To assess the technical feasibility of the substitution, the panels were subjected to physical, mechanical, and microstructural analyses. The results indicated that peanut shells show potential as an alternative raw material, promoting a reduction in water absorption and thickness swelling. However, higher incorporation levels resulted in a reduction in mechanical properties, associated with the presence of micropores, particle agglomeration, and lower resin adhesion. These results indicate that the partial use of the shells can contribute to the development of panels with better performance.

Keywords: biomass; hydrophobic; wood; agricultural waste.

RESUMO GRÁFICO



INTRODUÇÃO

Os painéis aglomerados de baixa densidade, utilizados sobretudo na indústria de movelaria, são produzidos a partir da redução granulométrica da madeira ou de materiais lignocelulósicos, os quais, posteriormente, são secos, unidos por adesivo sintético e submetidos à prensagem a quente. NBR 14810-2 (ABNT, 2018).

No Brasil, em 2024, a produção de painéis de madeira atingiu o maior volume já registrado na série histórica, totalizando 9,7 milhões de metros cúbicos, o que representa um aumento de 19% em comparação ao ano de 2023. No mesmo período, observou-se crescimento de 38% nas exportações e de 16% nas vendas destinadas ao mercado interno. Mundialmente, a China permaneceu como líder global, com 108 milhões de metros cúbicos, representando cerca de 40% da produção mundial (Indústria Brasileira de Árvores, 2025).

As madeiras de *Pinus oocarpa* e *Eucalyptus spp.* são principalmente utilizadas como matérias-primas na indústria de painéis aglomerados pois apresentam dureza média, alta resistência e outras melhores propriedades físico-mecânicas (Iwakiri; Trianoski, 2020). Porém, a demanda por painéis de madeira nos setores da construção civil e moveleiro, está sendo impulsionado a busca por matérias-primas alternativas à madeira convencional (Amarasinghe *et al.*, 2024; Neitzel *et al.*, 2022). Desse modo, tanto a comunidade científica quanto a indústria apontam os recursos agroindustriais como potenciais substitutos (Żabowski *et al.*, 2024; Villarruel *et al.*, 2023; Pędzik *et al.*, 2021).

O Brasil desempenha um papel significativo na produção agrícola. Estima-se, por exemplo, que a colheita de grãos na safra 2024/2025, de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2024), alcance 325,7 milhões de toneladas, o que aumenta o interesse pelo aproveitamento dos elevados volumes de resíduos gerados por essas atividades.

A partir disso, cientistas têm estudado formas de destinação de alguns resíduos, como os provenientes das culturas de trigo (Villarruel *et al.*, 2023), feijão (Miranda *et al.*, 2023), jupati (Gomes *et al.*, 2024a), café (Scatolino *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2022), casca do arroz (Ayrilmis; Kwon; Han, 2012), bagaço de cana-de-açúcar (Guimarães Júnior *et al.*, 2016), dentre outros, em painéis de madeira, visando melhorar o desempenho, a valorização dos resíduos e a ampliação da oferta de matéria-prima.

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.), é uma planta oleaginosa de pequeno porte, originária da América do Sul e pertencente à família das *Fabaceae* (Santos *et al.*, 2023). O Brasil produziu, na safra de 2024/2025, uma produção de 1,16 milhão de toneladas de amendoim (CONAB, 2024) enquanto a produção mundial de amendoim no mesmo período foi

estimada em aproximadamente 51 milhões de toneladas, com destaque para países como China, Índia e Estados Unidos (Food and Agriculture Organization, 2025).

A alta produção acarreta a geração de grandes quantidades de resíduos como a casca do amendoim, que corresponde a aproximadamente 30% da produção do grão, sendo utilizada principalmente como biomassa para combustível de caldeiras e como alimento para gado (Gatani *et al.*, 2013). Outros usos vêm sendo explorados como a produção de biodiesel a partir do óleo de amendoim por meio de diferentes técnicas (Ahmad *et al.*, 2009; Nunes; Paula; Martins, 2021) e a produção de painéis aglomerados com casca de amendoim e casca de arroz (Caraschi; Leão; Chamma, 2009), visando ampliar a utilização do material além de possibilitar a confecção de produtos de maior valor agregado.

O objetivo principal foi avaliar o desempenho de painéis aglomerados de baixa densidade produzidos com diferentes níveis de substituição da madeira de *Pinus oocarpa* por partículas de casca do amendoim (0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100%).

MATERIAL E MÉTODOS

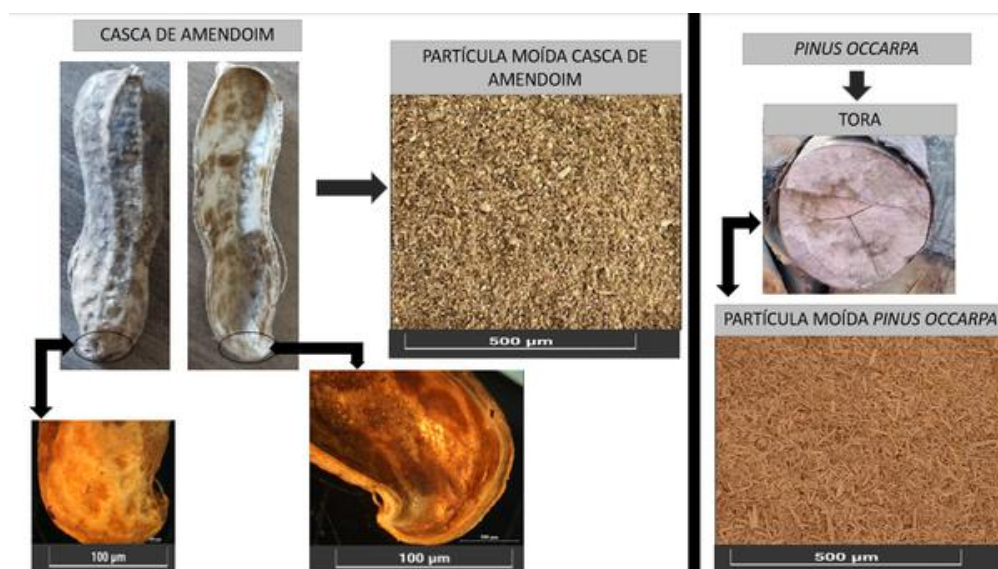
Obtenção e preparo das matérias-primas

As cascas de amendoim foram obtidas na Fazenda Pimentas localizada no município de Lavras, Minas Gerais, Brasil (latitude 21°15'58,5" S e longitude 45°03'31,5" W), após a colheita dos grãos. A madeira de *Pinus oocarpa* foi obtida a partir de árvores com 30 anos de idade, plantadas em áreas experimentais da Universidade Federal de Lavras (UFLA) (latitude 21° 14' 45" S e longitude 44° 59' 59" W).

O processamento da madeira de *Pinus oocarpa* ocorreu por meio do corte das toras de 75 cm, com diâmetro médio de 30 cm, seguido de acondicionamento em tanque de água aquecida (60 °C) por 24 horas e laminação. As lâminas obtidas com 2 mm de espessura foram secas em temperatura ambiente.

Ambos os materiais foram processados na Unidade Experimental de Painéis de Madeira (UEPAM) por meio de moagem em moinho de martelos de alta velocidade, para redução da granulometria, seguida de separação granulométrica com peneiras de malha 40 (0,420 mm) e 60 (0,250 mm) utilizando as partículas para análises químicas e produção dos painéis (Figura 1).

Figura 1 – Partículas utilizadas na produção dos painéis.



Fonte: Dos autores (2026).

Caracterização das partículas

As partículas de ambos os materiais foram caracterizadas *in natura* em triplicata a partir dos ensaios de densidade aparente, utilizando-se a norma NBR 14810-2 (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2018)), extrativos totais com base na metodologia da NBR 14853 (ABNT, 2010a), lignina insolúvel em ácido a partir da NBR 7989 (ABNT, 2010b) e teor de cinzas seguindo os critérios descritos na NBR 13999 (ABNT, 2017). O teor de holocelulose (H) foi calculado de acordo com a Equação (1):

$$H (\%) = 100 (\%) - \text{extrativos totais} (\%) - \text{teor de lignina} (\%) - \text{teor de cinzas} (\%) \quad (1)$$

Produção dos painéis aglomerados

Após a obtenção e caracterização das matérias-primas, foi realizada uma mistura dos materiais em diferentes composições (Tabela 1), totalizando seis tratamentos. Foram produzidos três painéis por tratamento, com densidade nominal de 0,6 g/cm³.

Tabela 1 – Composição dos tratamentos (relação massa/massa).

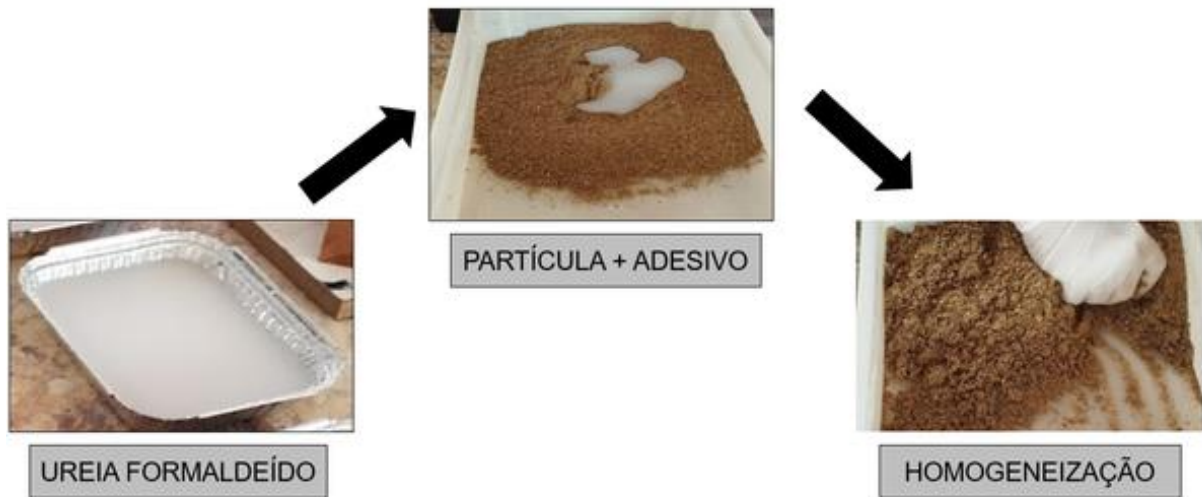
Tratamento	<i>Pinus oocarpa</i> (%)	Amendoim (%)
T1	100,0	0,0
T2	80,0	20,0
T3	60,0	40,0
T4	40,0	60,0
T5	20,0	80,0
T6	0,0	100,0

Fonte: Dos autores (2026).

Para essa produção, as partículas foram secas a 3% de umidade em estufa e homogeneizadas manualmente com a adição de 12% de adesivo de ureia-formaldeído em relação à massa seca das partículas, conforme apresentado na Figura 2. As características do

adesivo foram com base ao boletim técnico do produto: teor de sólidos de 73,04%, pH 6,56, viscosidade de 1.793 cP e tempo de gelatinização de 56s.

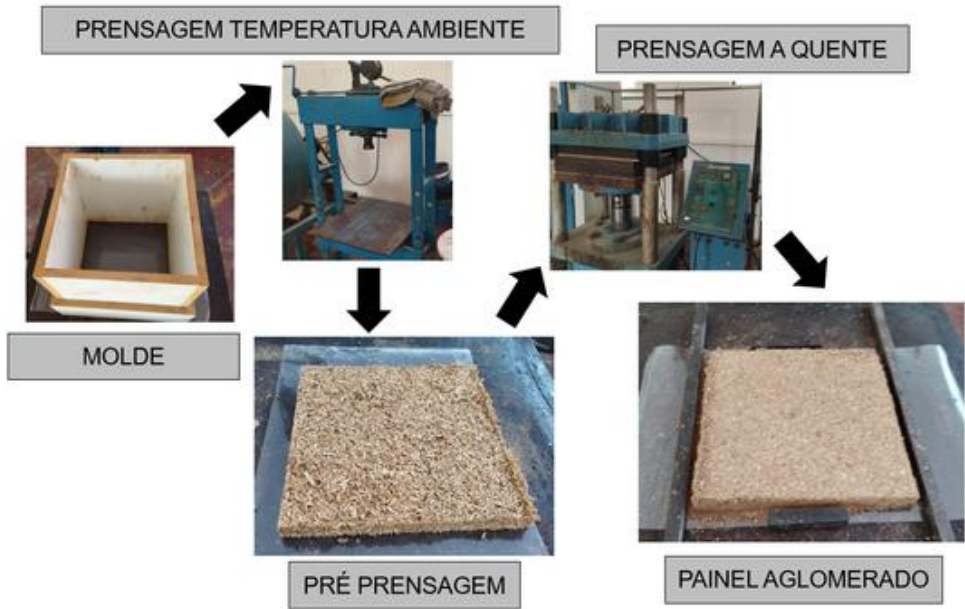
Figura 2 – Mistura do adesivo nas partículas.



Fonte: Dos autores (2025).

Posteriormente, o material obtido foi transferido para uma caixa formadora com dimensões de $250 \times 250 \times 15$ mm (largura, comprimento e espessura). O colchão de partículas com unidade de 3% foi pré-prensado à temperatura ambiente sob pressão de 0,4 MPa, e, em seguida, prensado hidráulica a temperatura (160 °C) por 10 minutos sob pressão de 4 MPa, conforme critérios descritos na NBR 14810-2 (ABNT, 2018; Figura 3).

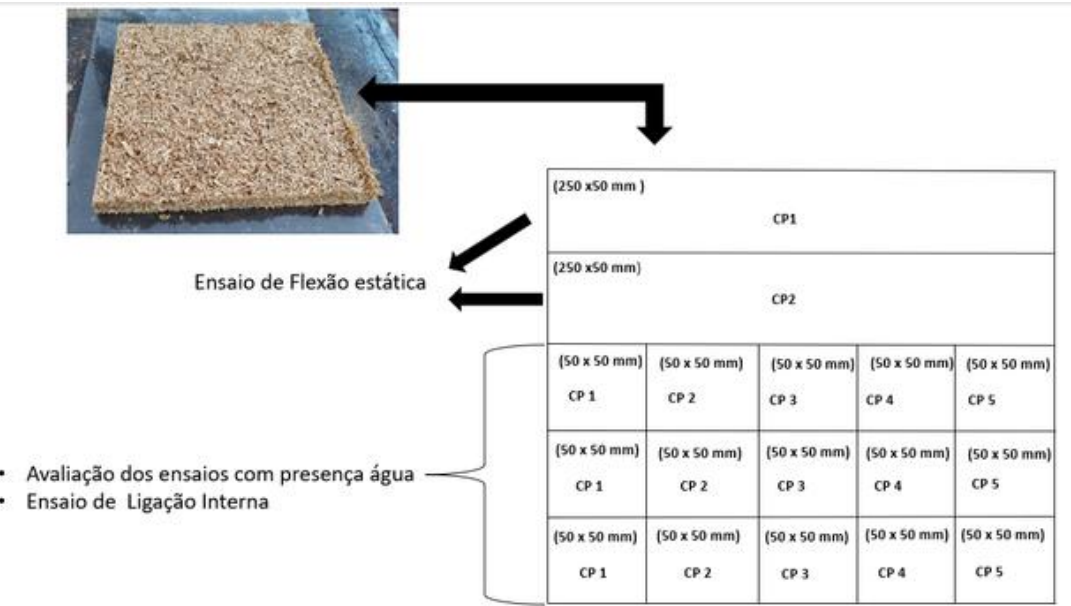
Figura 3 – Moldagem e etapas de prensagem.



Fonte: Dos autores (2026).

Concluída a etapa de fabricação, os painéis foram esquadrejados com a finalidade de eliminar irregularidades nas bordas. Posteriormente, os corpos de prova foram obtidos por meio de cortes realizados em serra circular, de acordo com o modelo ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Distribuição dos corpos de prova nos painéis.



Fonte: Dos autores (2026).

Depois do corte, os painéis permaneceram em sala climatizada (temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 5\%$) com o intuito de estabilização da umidade até a realização dos ensaios.

Avaliação das propriedades físicas dos painéis

A propriedade física da casca de amendoim em painéis aglomerados foi avaliada por meio dos resultados dos ensaios físicos de densidade aparente e umidade - NBR 14810-2 (ABNT, 2018), absorção de água (AA) após 2h e 24h de imersão, de acordo com a ASTM (*American Society for Testing and Materials*) D1037 (2012), inchamento em espessura em 2 e 24 horas CS 236-66 (1968) e taxa de não retorno em espessura. Para a determinação da razão de compactação (RC), utilizou-se a Equação (2).

$$RC = \frac{\rho_d}{\rho_f * (fp\%) + \rho_p * (pp\%)} \quad (2)$$

Onde:

ρ_d é a densidade aparente dos painéis de partículas (g/cm^3); ρ_f é a densidade aparente da casca de amendoim (g/cm^3); $fp\%$ é o conteúdo de resíduos da casca de amendoim (%); ρ_p é a densidade aparente da madeira de *Pinus oocarpa* (g/cm^3); e $pp\%$ é o conteúdo de madeira de *Pinus oocarpa* (%).

Avaliação das propriedades mecânicas dos painéis

As propriedades mecânicas dos painéis aglomerados produzidos foram avaliadas por meio dos ensaios de flexão estática, a fim de obter os valores do módulo de elasticidade (MOE) e do módulo de ruptura (MOR), e de ligação interna. Os ensaios foram realizados em uma máquina universal de ensaios Arotec, com capacidade de carga de 1000 kN, de acordo com a norma NBR 14810-2 (ABNT, 2018).

Avaliação das propriedades microestruturais dos painéis

A estrutura interna dos corpos de prova foi analisada por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizando um fragmento dos corpos de prova após o ensaio de flexão. Para tanto, utilizou-se o dispositivo STEM – FEG de ultra-alta Resolução, modelo CLARA 7, TESCAN, operado sob tensão de aceleração de 15 kV, corrente de sonda de 2 nA, com distância de trabalho variável, sem inclinação e em diferentes ampliações. As imagens foram obtidas no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural (LME) da Universidade Federal de Lavras.

A microscopia estereoscópica com fluorescência foi realizada em microscópio modelo SMZ 1500 (Nikon, 2010), utilizando um fragmento dos corpos de prova após o ensaio de flexão, com objetivo de avaliar a geometria, bem como a heterogeneidade, das partículas incorporadas no painel aglomerado. As imagens foram obtidas no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural (LME) da Universidade Federal de Lavras.

Análise estatística da regressão dos dados

O delineamento experimental aplicado aos diferentes tratamentos dos painéis foi inteiramente casualizado. Os dados foram analisados considerando seis tratamentos, com três repetições para cada ensaio. Para a realização das análises estatísticas do ensaio de composição química, foi utilizada a média e o desvio padrão. O teste de análise de variância (ANOVA) exploratória também foi realizado com o intuito de identificar as diferenças entre os grupos das diferentes fontes de variação nas propriedades físicas e mecânicas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da casca de amendoim *in natura*

Caracterização físico-química

Os resultados obtidos a partir da caracterização da madeira de *Pinus oocarpa* e da casca de amendoim estão apresentados na Tabela 2. Discute-se primeiramente que a caracterização da madeira referência foi semelhante ao obtido em outras pesquisas (Mendes *et al.*, 2018; Miranda *et al.*, 2024 e Gomes *et al.*, 2024a).

Tabela 2 – Caracterização química das partículas.

Propriedade	Casca de amendoim	<i>Pinus oocarpa</i>
Extrativos (%)	11,64 ^{1,16*}	6,06 ^{0,09}
Lignina (%)	47,51 ^{0,95}	28,55 ^{0,36}
Cinzas (%)	11,07 ^{0,45}	1,39 ^{0,03}
Holocelulose (%)	29,79 ^{2,18}	63,95 ^{0,39}
Densidade aparente (g/cm ³)	0,15 ^{0,015}	0,48 ^{0,004}

*Médias seguidas do desvio padrão.

Fonte: Dos autores (2026)

Em relação ao teor de extrativos, as partículas de casca de amendoim apresentam teores de 11,64%. De acordo com Iwakiri e Trianoski (2020), um teor de extrativos entre 10% a 15% são considerados adequados para a produção de painéis aglomerados uma vez que não ocorre o bloqueio das ligações entre as partículas do painel. Esse teor encontrado foi inferior ao obtido pelas partículas de resíduo de trigo (15,35%) (Gomes *et al.*, 2024c), de café (26,24%) (Scatolino *et al.*, 2017) e bagaço de cana-de-açúcar (19,59%) (Soares *et al.*, 2017). Em relação ao teor de extrativos, as partículas de *Pinus Oocarpa* apresentam teores de 6,06%. Esse teor para o *Pinus oocarpa* encontrado foi de 6,18% (Gomes *et al.*, 2024a) e de 6,18% (Miranda *et al.*, 2024).

O teor de lignina insolúvel encontrado para as partículas de casca de amendoim foi consideravelmente superior ao encontrado para o *Pinus* (47,51% e 28,55%, respectivamente). Além disso, esse teor foi também elevado em comparação às partículas de pergaminho de café (28,32%) (Scatolino *et al.*, 2017), bagaço de cana-de-açúcar (15,72%) (Soares *et al.*, 2017), resíduos de cacau (35,01%) (Veloso *et al.*, 2020a), resíduo de soja (22,04%) (Borges *et al.*, 2022) e pecíolo de jupati (6,90%) (Gomes *et al.*, 2024a). Valores de lignina elevados são

desejáveis para a produção de painéis de madeira aglomerada, pois a lignina proporciona uma melhor adesão dos constituintes lignocelulósicos e contribui para a obtenção de propriedades mecânicas superiores (Bufalino *et al.*, 2012).

O teor de cinzas de *Pinus oocarpa* foi de 1,39%, valor semelhante ao observado por Miranda *et al.* (2024) de 1,25%, e Gomes *et al.* (2024a) de 1,25% para o mesmo material. Já o teor de cinzas nas cascas de amendoim foi de 11,07%, valor superior ao encontrado para a madeira referência (1,39%) e semelhante ao observado por Silva *et al.* (2025) de 12,96% para o mesmo material e também aos valores encontrados no pecíolo de jupati (13,90%) (Gomes *et al.*, 2024a) e no resíduo de feijão (16,94%) (Miranda *et al.*, 2023). Valores elevados de cinzas em resíduos lignocelulósicos são, portanto, comuns e indicam presença significativa de minerais que podem influenciar tanto a densidade quanto a resistência dos painéis aglomerados, uma vez que podem dificultar a adesão e comprometer a qualidade da ligação entre as partículas (Iwakiri; Trianoski, 2020; Soares *et al.*, 2017).

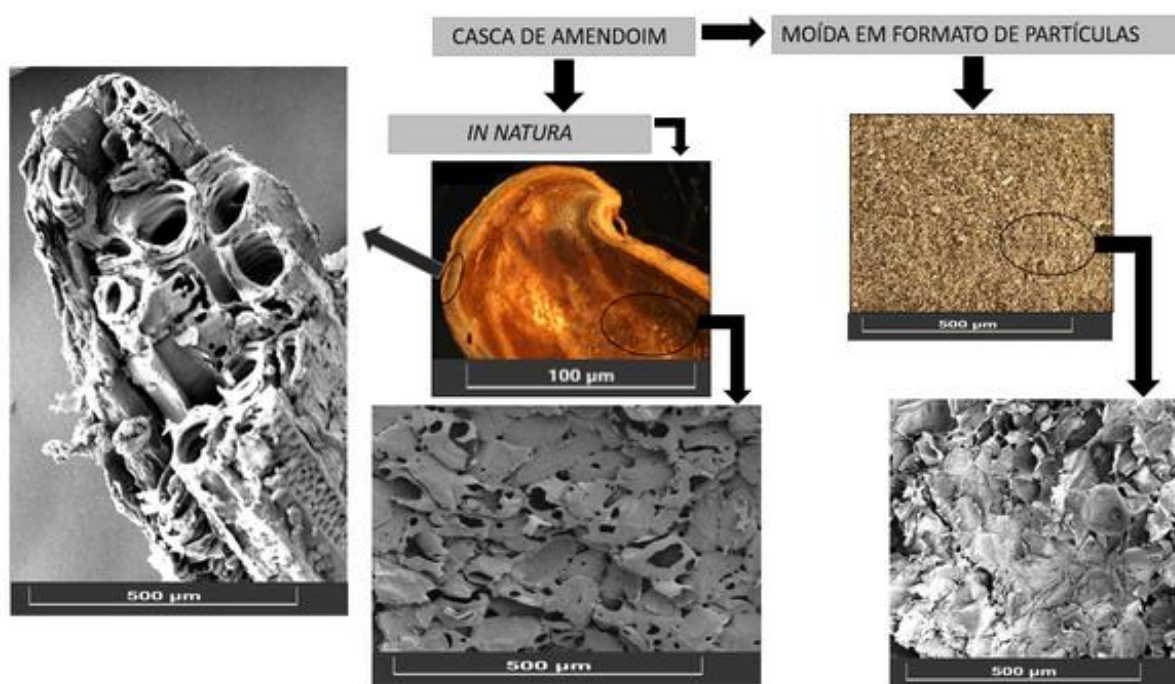
Em relação aos teores de holocelulose, a madeira de *Pinus oocarpa* apresentou um teor de 63,95%, valor semelhante ao observado por Miranda *et al.* (2024) (63,29%), Gomes *et al.* (2024a) (63,29%), Veloso *et al.* (2020a) (69,07%) e Mendes *et al.* (2018) (58,46%) para o mesmo material. Já as cascas de amendoim apresentaram uma composição de 29,79%, valor próximo ao resíduo de cacau (30,00%) (Veloso *et al.*, 2020a) e inferior ao de muitos outros resíduos como partículas de pecíolo de jupati (45,68%) (Gomes *et al.*, 2024a) e resíduo de feijão (56,55%) (Miranda *et al.*, 2023). Um alto teor de holocelulose confere ao material maior capacidade de retenção de umidade e absorção de água, uma vez que essa estrutura é higroscópica e, desse modo, as partículas de amendoim podem conferir um caráter mais hidrofóbico nos painéis que as contêm (Guimarães Júnior *et al.*, 2016).

As partículas de amendoim apresentaram densidade aparente (0,15 g/cm³) menor do que as partículas de *Pinus*. Outros resíduos também apresentaram valores de densidade baixa e semelhantes aos da casca de amendoim como as partículas de resíduo de miriti (0,09 g/cm³) (Furtini, 2023), de jupati (0,12 g/cm³) (Gomes *et al.*, 2024a) e de bagaço de cana-de-açúcar (0,09 g/cm³) (Mendes *et al.*, 2014b), confirmando a baixa densidade como característica intrínseca de resíduos agrícolas e agroindustriais. A utilização de uma matéria-prima de baixa densidade para a produção de painéis implica que seja necessário um maior volume do material para que o painel atinja a densidade previamente planejada (Iwakiri; Trianoski, 2020).

Caracterização morfológica

A caracterização morfológica da casca de amendoim está apresentada na Figura 5.

Figura 5 –Morfologia da casca do amendoim moída e *in natura*.



Fonte: Dos autores (2026)

A casca de amendoim *in natura* apresenta uma região que atua como barreira protetora natural do fruto e detém maior concentração de lignina, o que confere elevada rigidez estrutural da casca e menor permeabilidade inicial à água (MISHRA; VINU, 2026). Em relação à literatura, a micromorfologia da casca de amendoim guarda semelhanças estruturais com resíduos como o resíduo de soja (Borges *et al.*, 2022), resíduo de feijão (Miranda *et al.*, 2023), resíduo de palha de trigo (Villarruel *et al.*, 2023) e casca do arroz (Ayrilmis; Kwon; Han, 2012), todos caracterizados por arranjos celulares compactos e porosos.

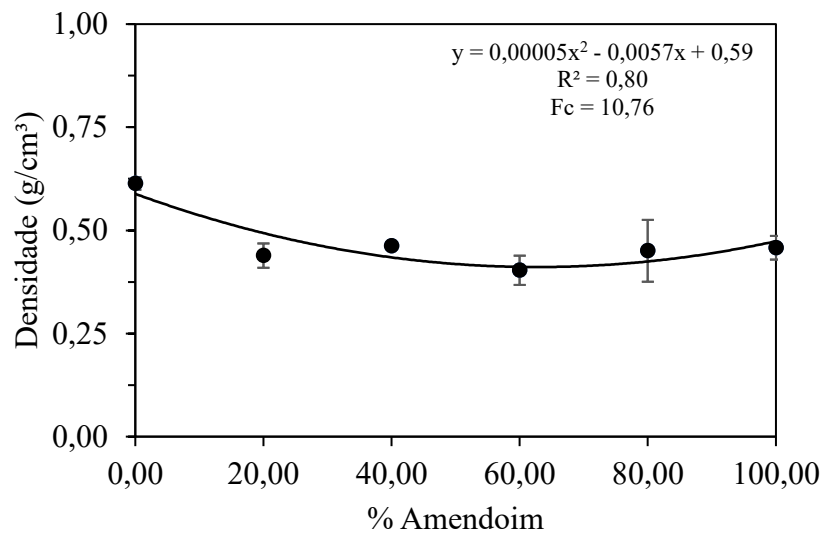
Após o processo de moagem, verifica-se a fragmentação da estrutura original, resultando em partículas de geometria irregular e dimensões variadas. Nota-se a ruptura das paredes celulares e maior exposição das superfícies internas, com redução da organização estrutural previamente observada no material *in natura*. Essa modificação morfológica implica aumento da área superficial específica e maior acessibilidade aos poros, fatores que podem influenciar diretamente propriedades como a absorção de água (Silva *et al.*, 2024).

Propriedades físicas dos painéis produzidos

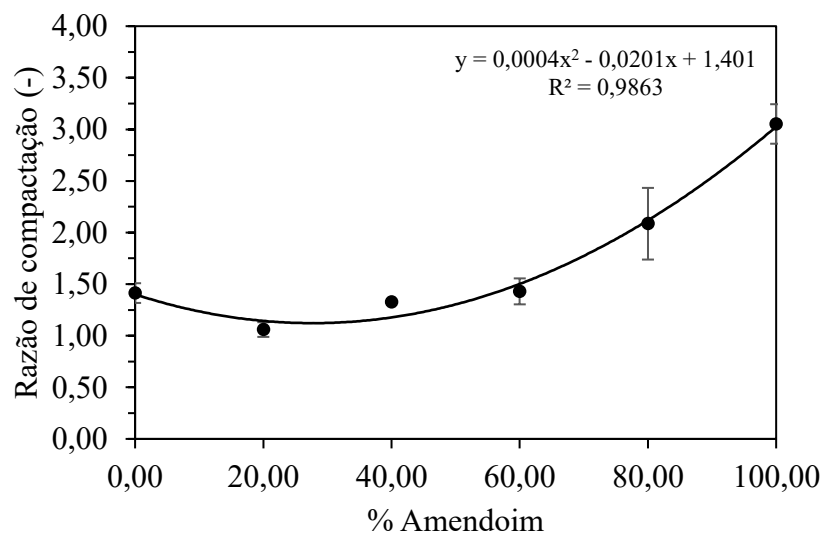
Densidade e razão de compactação

Os valores médios obtidos para a densidade aparente e razão de compactação dos painéis estão apresentados na figura 6.

Figura 6 – Densidade aparente (A) e razão de compactação (B) dos painéis.



(A)



(B)

Fonte: Dos autores (2026).

Observou-se, primeiramente, que a densidade dos painéis variou entre 0,48 e 0,55 g/cm³ (Figura 6A), valores próximos aos relatados por Furtini *et al.* (2023), que utilizaram resíduos de miriti em substituição à madeira referência de *Pinus oocarpa*, obtendo variação de densidade entre 0,48 e 0,53 g/cm³. O tratamento com 60% de casca de amendoim apresentou a menor densidade dentre as amostras analisadas e o de 0% maior. Esse resultado demonstrou que a proporção de amendoim incorporada influenciou significativamente a densidade aparente dos painéis produzidos. De forma geral, a menor densidade das cascas de amendoim em relação ao pinus (Tabela 2) contribuiu para a produção de painéis aglomerados mais leves.

Observa-se, contudo, que a densidade aparente dos painéis foi inferior à densidade nominal estipulada (0,6 g/cm³). Tal diferença pode ser atribuída à perda de partículas durante a formação do colchão e ao aumento da espessura após a prensagem a quente, o que eleva o volume final e, conseqüentemente, reduz a densidade em relação ao valor nominal (Guimarães Júnior *et al.*, 2016).

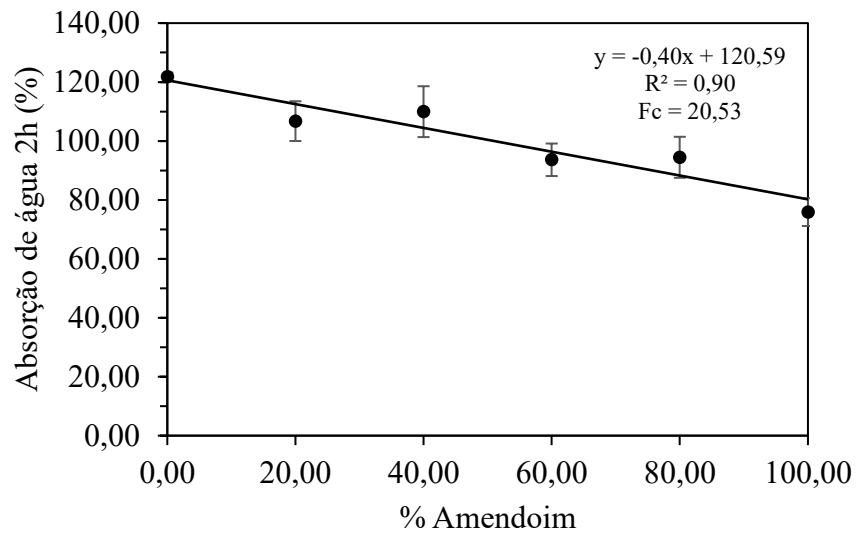
Em relação à razão de compactação dos painéis, observou-se uma variação de valores de 1,41, para os painéis compostos por 100% de *Pinus oocarpa*, a 3,05, nos painéis formados integralmente por cascas de amendoim. Estes dados indicam um crescimento superior a duas vezes da razão de compactação devido à menor densidade da casca de amendoim, ocorrendo um maior número de partículas em determinada área no painel, fazendo aumentar a razão de compactação. De acordo com Maloney (1993), a taxa de compactação ideal situa-se entre 1,30 e 1,60; a partir de uma regressão realizada com os dados obtidos, foi constatado que a faixa ideal de inserção de casca de amendoim em tratamento entre 0,00 e 5,68% e entre 44,59% e 58,72%.

O teste estatístico indicou que a proporção de amendoim incorporada influenciou significativamente a razão de compactação dos painéis produzidos. O aumento da razão de compactação com maiores proporções de partículas residuais foi observado em estudos prévios com painéis aglomerados de pecíolo de jupati (Gomes *et al.*, 2024a), partículas de miriti (Furtini *et al.*, 2023), aglomerado com partículas de feijão (Miranda *et al.*, 2023) e partículas de trigo (Villarruel *et al.*, 2023).

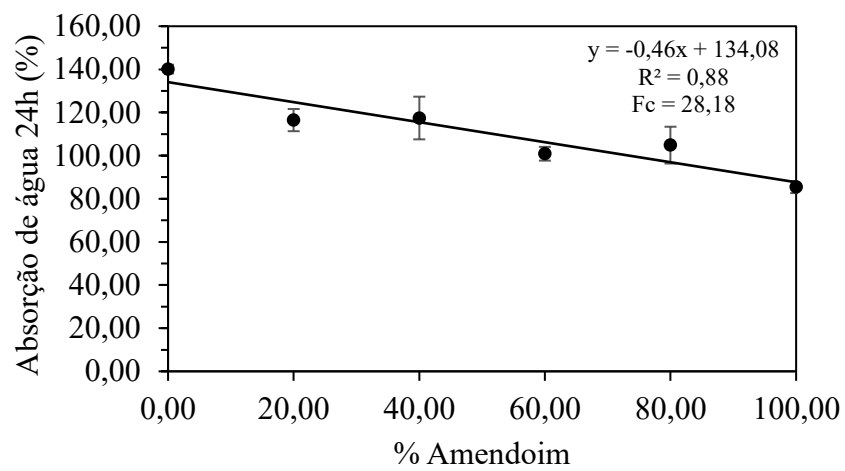
3.2.2 Absorção de água e umidade

Na Figura 7 são apresentados os valores de absorção de água e teor de umidade para os diferentes painéis produzidos.

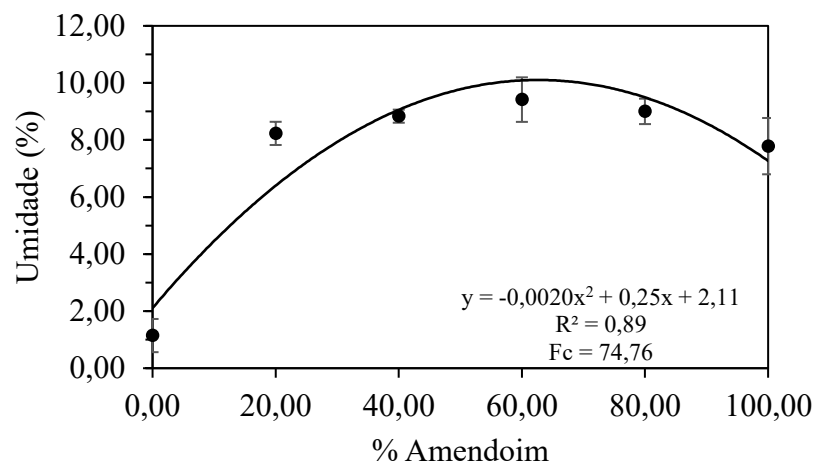
Figura 7 – Absorção de água 2 h (A), Absorção de água 24 h (B) e umidade do painel (C).



(A)



(B)



(C)

Fonte: Dos autores (2026).

Observa-se que houve uma diminuição estatisticamente significativa tanto para a absorção de água em 2 horas quanto em 24 horas, à medida que é aumentado o teor de casca de amendoim nos painéis. Essa tendência é oposta à observada nos estudos de Gomes *et al.* (2024), que, ao substituir a madeira por pecíolo de jupati em painéis, encontraram valores de absorção em 24 horas aumentando de 75% na amostra referência para 180% na amostra com o maior nível de substituição, e de Miranda *et al.* (2023), que, ao utilizarem resíduos de feijão, registraram variações na absorção de água em 24 horas aumentando de 25% na amostra referência para 74% na amostra com o maior nível de substituição. Os autores desses trabalhos atribuem o aumento da absorção à elevada quantidade de holocelulose presente nos resíduos utilizados, uma vez que apresenta estrutura hidrofílica.

Nesse sentido, o decréscimo da absorção de água observado neste trabalho devido ao menor teor de holocelulose aliado à maior quantidade de lignina presente na casca de amendoim e também o aumento da razão de compactação, fatores que conferem características mais hidrofóbicas ao painel (Iwakiri; Trianoski, 2020).

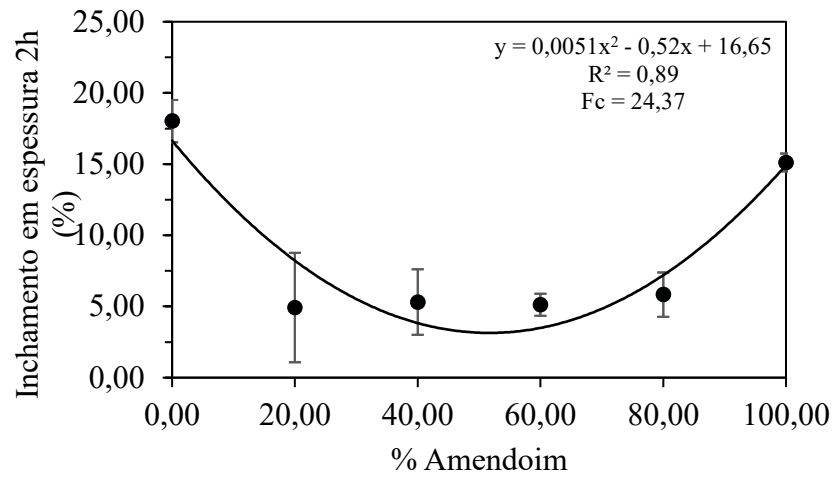
Em relação ao teor de umidade (Figura 7C), observou-se uma tendência oposta de aumento com a presença da casca de amendoim, independentemente da proporção. Os tratamentos com 20%, 40% e 60% de substituição apresentaram valores crescentes que se estabilizam e reduzem a partir de 80%. Embora tenha ocorrido o aumento desta propriedade, os valores alcançados, com exceção da amostra referência, são considerados ideais (5 a 11%) segundo a norma NBR 14810-2 (ABNT, 2018).

Os painéis aglomerados apresentaram, neste contexto, alta umidade inicial, atribuída ao caráter higroscópico das partículas lignocelulósicas e à presença de grupos hidroxila na hemicelulose, que favorecem a retenção de água (Roweel, 2012). Entretanto, exibiram baixa absorção de água após imersão em maiores porcentagens, indicando reduzida permeabilidade à água, devido à presença de alto teor de lignina, componente de natureza mais hidrofóbica que contribui para diminuir a absorção hídrica (Lu, Y *et al.* 2017).

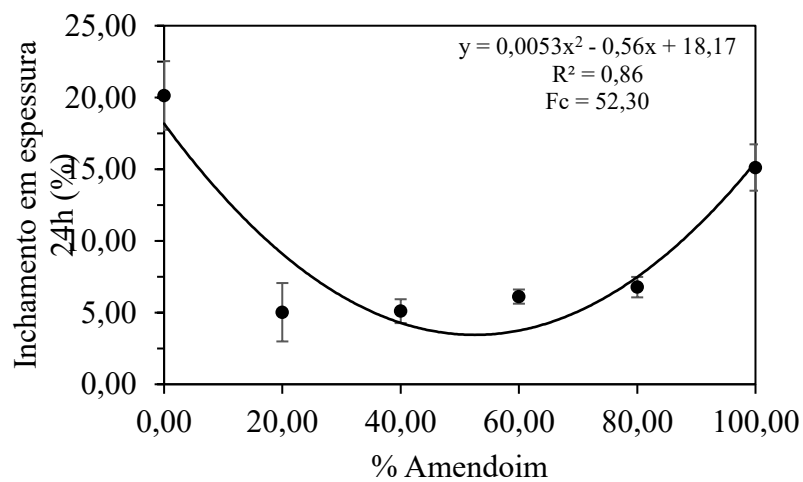
3.2.3 Inchamento em espessura e taxa de não retorno

A Figura 8 apresenta os resultados de inchamento em espessura e taxa de não retorno obtida para os painéis aglomerados com diferentes níveis de casca de amendoim.

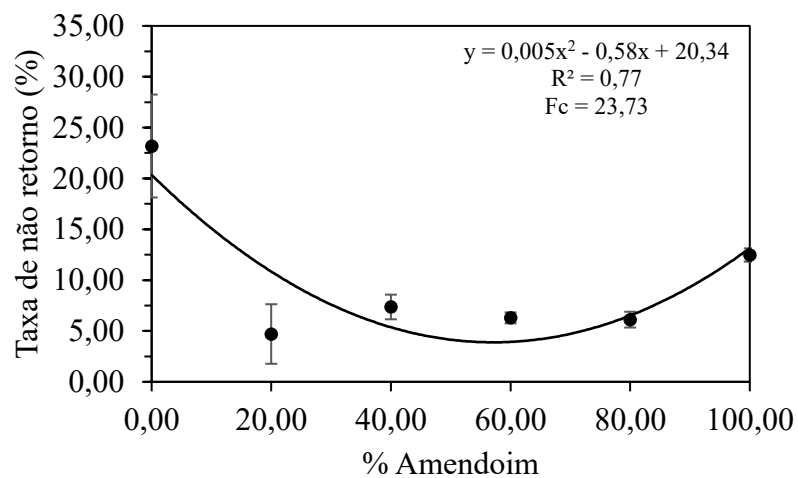
Figura 8 – Inchamento em espessura a 2 horas (A) e a 24 horas (B) e taxa de não retorno em espessura (C).



(A)



(B)



(C)

Fonte: Dos autores (2026).

Observou-se que o inchamento ocorreu principalmente nas primeiras duas horas, resultando em uma expansão inicial acentuada, atribuída à razão de compactação dos painéis, especialmente nas regiões onde a compactação das partículas foi menos uniforme. Posteriormente, verificou-se pouca variação entre 2 e 24 horas.

Nota-se também uma diminuição progressiva do inchamento em espessura a 2 e 24h de imersão e da taxa de não retorno em espessura até a concentração de 20% de partículas, um leve acréscimo até 80% de substituição e um aumento maior para o tratamento com maior quantidade de resíduos. Todos os painéis atenderam ao padrão CS 236-66 (1968), que estabelece o limite máximo de 35% para o inchamento em espessura.

Em ambas as propriedades físicas, os tratamentos intermediários (20%, 40%, 60% e 80%) são significativamente inferiores aos demais. Brito, Bortoletto Júnior e Surdi (2021), que produziram painéis aglomerados com madeira de *Pinus oocarpa* e casca de amendoim também obtiveram resultados positivos em relação ao inchamento em espessura.

Com o aumento da incorporação do resíduo de amendoim, a taxa de não retorno em espessura também foi significativamente influenciada. Observou-se uma redução em níveis intermediários de substituição (20%, 40%, 60% e 80%), indicando que a presença desse resíduo apresenta alto teor de lignina e baixa holocelulose, o que favorece o painel em relação à variação de volume após ser retirado da água. Segundo Maloney (1993), a estabilidade dimensional dos painéis está diretamente relacionada à compactação da estrutura interna e à eficiência da ligação entre componentes químicos das partículas e adesivo.

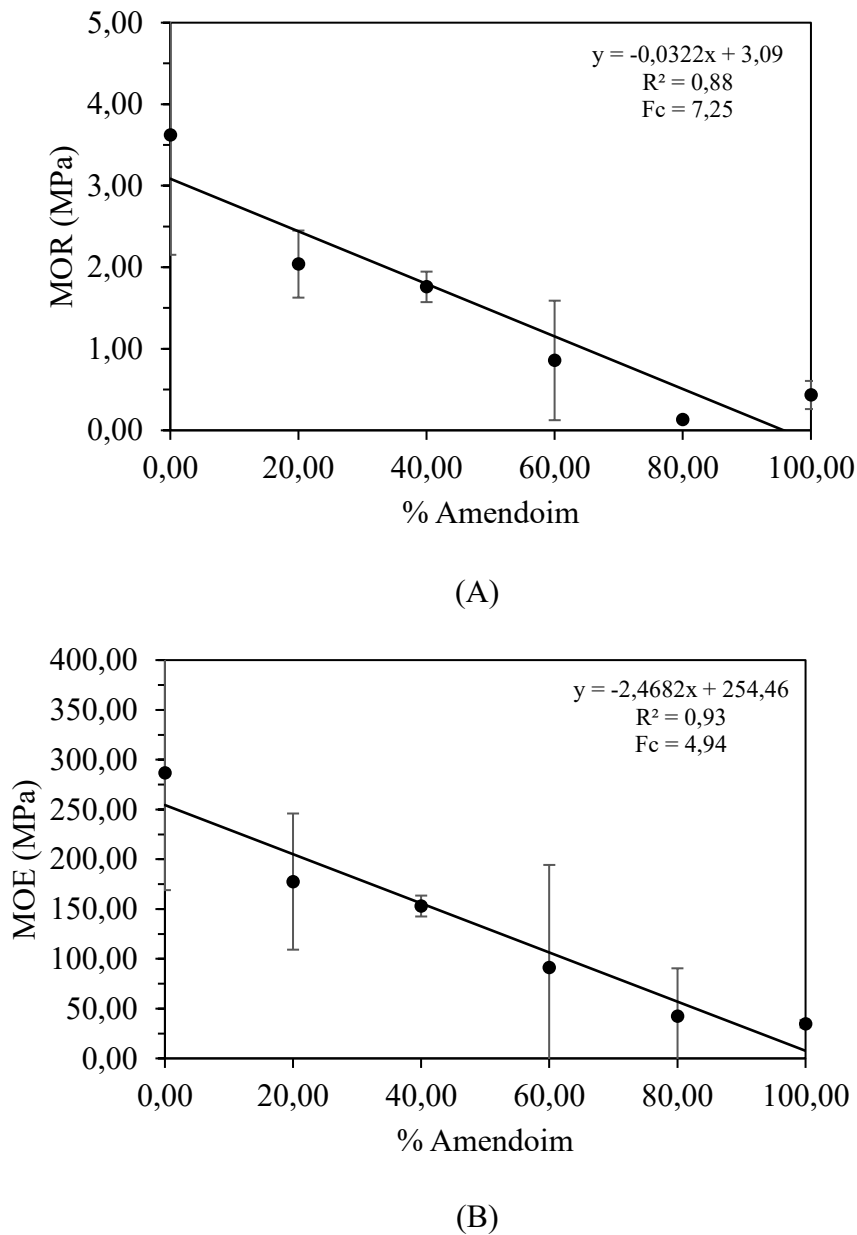
O resíduo de miriti, em comparação, apresentou altos valores de taxa de não retorno, pois este apresentou grande variação volumétrica e absorção de água (Furtini *et al.*, 2023). Devido à natureza higroscópica, materiais lignocelulósicos apresentam componentes como celulose e hemicelulose capazes de absorver água e provocar expansão das partículas (Iwakiri; Trianoski, 2020).

Propriedades mecânicas

Flexão estática

Os valores do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) obtidos do ensaio de flexão estática encontram-se apresentados na figura 9.

Figura 9 –Teste mecânicos dos painéis: (A) Flexão (MOR), (B) Flexão (MOE).



Fonte: Dos autores (2026).

A resistência à flexão (MOR) (Figura 9A) variou entre 0,5 e 3,5 MPa, com diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos com incorporação de casca de amendoim (20%, 40%, 60%, 80% e 100%).

Verifica-se uma tendência de redução dos valores de MOR à medida que aumenta a incorporação de casca de amendoim. O grupo controle (0%) apresentou o maior valor médio, enquanto os tratamentos com 80% e 100% registraram os menores valores, evidenciando um enfraquecimento estrutural proporcional ao aumento do nível de substituição. Além disso,

apenas a referência apresentou valores dentro do requisito mínimo de 5,5 Mpa, estabelecido pela norma NBR 14810-2 (ABNT, 2018).

Gatani *et al.* (2013), ao investigarem a viabilidade técnica da produção de painéis de partículas utilizando casca de amendoim, obtiveram valores médios de MOR entre 4,37 e 5,34 MPa. Em estudos com partículas de trigo, a resistência à flexão variou de 1,59 a 7,20 MPa (Villarruel *et al.*, 2023). Dessa forma, o enfraquecimento estrutural observado à medida que se aumenta a proporção de resíduos lignocelulósicos é um fenômeno recorrente.

O módulo de elasticidade (MOE) também apresentou tendência de maior valor para o grupo controle (0%), enquanto os tratamentos com 80% e 100% de substituição apresentaram os menores valores médios, evidenciando uma redução progressiva da rigidez do material à medida que aumenta a proporção de casca de amendoim.

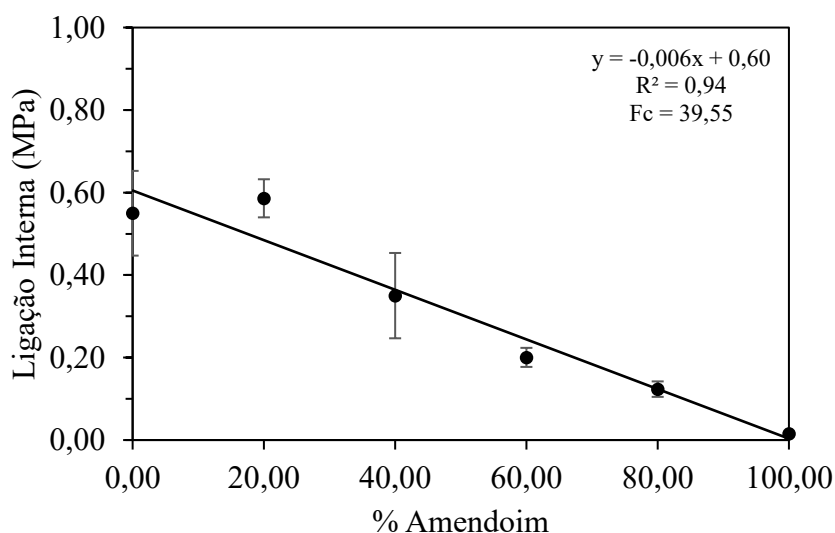
Todos os painéis apresentaram valores de MOE abaixo do requisito mínimo de 550 MPa, estabelecido pela norma NBR 14810-2 (ABNT, 2018). Esse resultado confirma que a incorporação de casca de amendoim impactou negativamente as propriedades mecânicas dos painéis, reduzindo tanto a rigidez quanto a resistência estrutural do material.

Os resíduos lignocelulósicos também impactaram negativamente os valores de MOE em diversos estudos, como o de Gatani *et al.* (2013), que investigaram a produção de painéis utilizando casca de amendoim como matéria-prima. Na avaliação da incorporação de resíduos de trigo, os valores de MOE variaram entre 669,32 e 1.697,72 MPa, sendo que apenas alguns tratamentos alcançaram os limites mínimos exigidos pela norma (Villarruel *et al.*, 2023).

Ligação interna

Os valores obtidos nos ensaios de ligação interna encontram-se apresentados na Figura 10.

Figura 10 – Ligação interna



Fonte: Dos autores (2026).

A análise da ligação interna também revelou diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos. Observou-se uma redução progressiva nos valores dessa variável à medida que aumentou a proporção de casca de amendoim, sendo que os tratamentos de 0% e 20% apresentaram os maiores valores, enquanto o tratamento de 100% registrou a menor resistência.

De acordo com o padrão A208 (ANSI, 1999), somente os tratamentos com até 83,33% de substituição da madeira de referência por casca de amendoim atingiram os valores mínimos recomendados de 0,10 MPa para ligação interna.

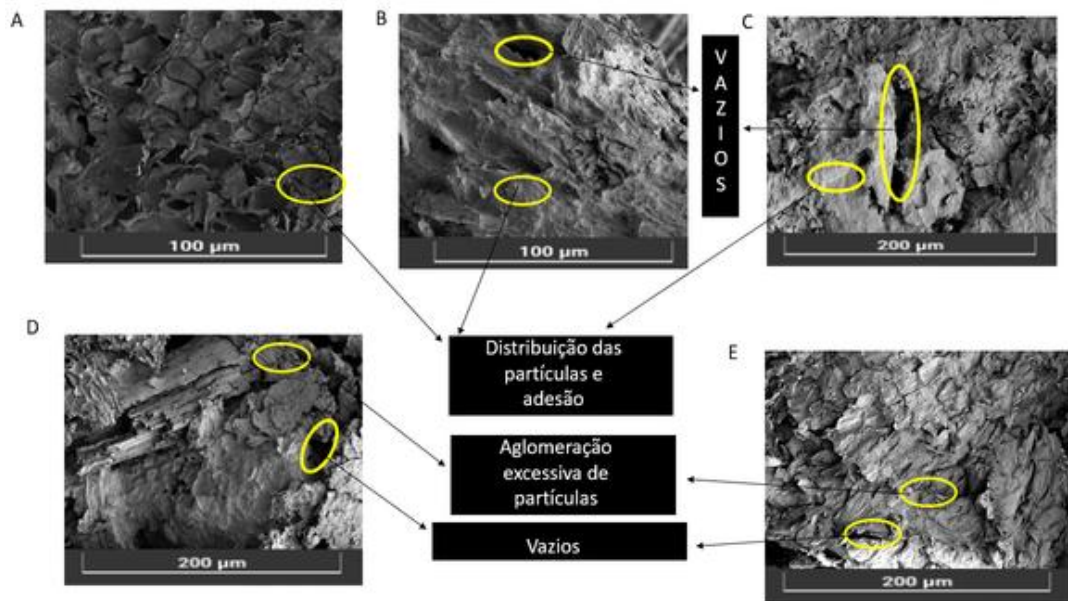
A resistência à tração por ligação interna observada neste estudo foi superior, especialmente no tratamento de 80%, quando comparada a outros painéis de partículas produzidos com endocarpo de café (Scatolino *et al.*, 2017) e pecíolo de jupati (Veloso *et al.*, 2020; Gomes *et al.*, 2024a).

Observou-se, portanto, de forma geral, uma tendência de declínio das propriedades mecânicas à medida que aumentaram os níveis de resíduos, sendo essa redução atribuída aos componentes químicos presentes nas partículas agrícolas (Iwakiri; Trianoski, 2020).

Análise microestrutural

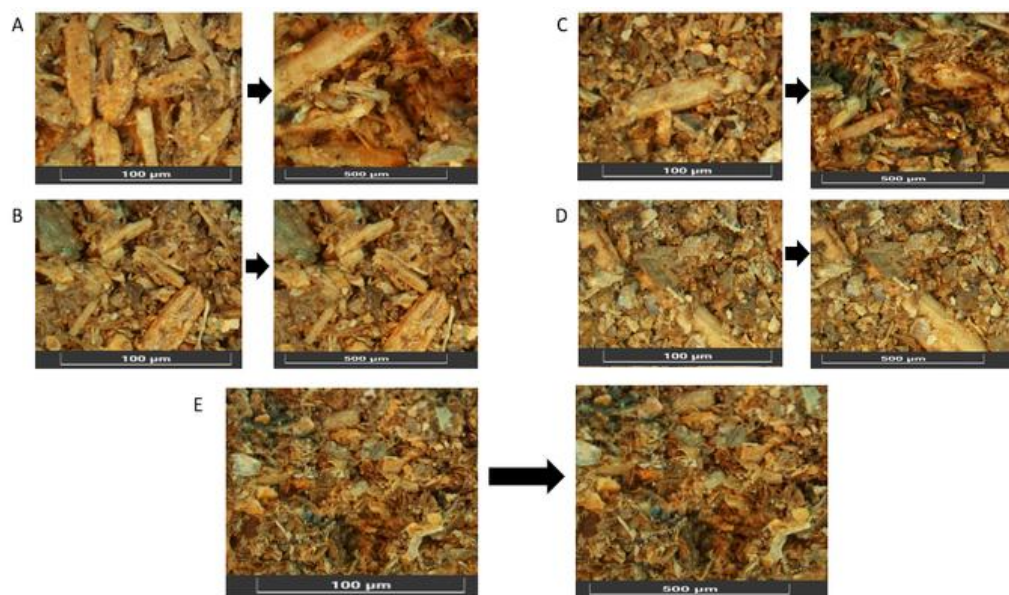
A Figura 11 apresenta imagens de microscopia eletrônica de Varredura (MEV) e a Figura 12 do microscópio estereoscópio com fluorescência das amostras.

Figura 11 – Análise microscopia dos diferentes níveis de substituição: (A) 20%, (B) 40%, (C) 60%, (D) 80% e (E) 100%.



Fonte: Dos autores (2026).

Figura 12 – Análise microscópio estereoscópico com fluorescência dos diferentes níveis de substituição: (A) 20%, (B) 40%, (C) 60%, (D) 80% e (E) 100%.



Fonte: Dos autores (2026)

As imagens das amostras de painéis aglomerados mostraram uma distribuição homogênea das partículas, especialmente nas maiores concentrações de amendoim. Observou-se que as partículas de madeira estavam bem compactadas, com boa adesão entre si, característica típica de painéis aglomerados de alta qualidade (Maloney, 1993).

Nas figuras 11 e 12, evidenciou-se a presença de microporos, aglomerações de partículas, pouca adesão da resina, aspectos diretamente relacionados ao fato de serem painéis de baixa densidade. A casca de amendoim, por apresentar menor densidade de sua partícula em comparação à madeira de pinus, no processo de produção do painel favorece a formação de regiões com aglomeração de partículas, especialmente nos tratamentos com maior incorporação da casca o que resultou na queda das propriedades mecânicas.

A aglomeração de partículas foi relatada nos estudos de Gomes *et al.* (2024), Santos *et al.* (2021), Souza *et al.* (2019) e Barros Filho *et al.* (2011) que, ao avaliarem painéis aglomerados produzidos com resíduos lignocelulosico verificaram aumento do volume interno e baixa adesão da resina resultando na queda das propriedades mecânicas.

CONCLUSÃO

A caracterização físico-química demonstrou que a casca de amendoim apresentou menores valores de densidade aparente e de holocelulose, além de altos teores de lignina em comparação à madeira de *Pinus oocarpa*, indicando potencial para utilização como matéria-prima alternativa na produção de painéis aglomerados.

A incorporação da casca de amendoim influenciou significativamente as propriedades físicas dos painéis. Os painéis apresentaram redução da absorção de água, do inchamento em espessura e da taxa de não retorno em níveis intermediários de substituição, indicando melhoria no desempenho do painel aglomerado.

As propriedades mecânicas foram afetadas negativamente com o aumento da incorporação dos resíduos. Apenas os painéis produzidos com 100% de madeira apresentaram valores próximos aos requisitos estabelecidos pelas normas técnicas.

As análises microestruturais evidenciaram a presença de microporos, aglomeração de partículas e regiões com menor adesão da resina, principalmente nos tratamentos com maiores níveis de substituição, fatores que contribuíram para a redução das propriedades mecânicas dos painéis.

A casca de amendoim apresentou viabilidade técnica para utilização na produção de painéis aglomerados, principalmente em níveis intermediários de substituição (20% até aproximadamente 60%), nos quais foi possível obter boas propriedades físicas sem comprometer significativamente as propriedades mecânicas dos compósitos.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, M. *et al.* Optimization of base catalyzed transesterification of peanut oil biodiesel. **African Journal of Biotechnology**, [s.l.], v. 8, n. 3, p. 441-446, 2009. Disponível em: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/59837/0>. Acesso em: 24 jul. 2024.
- AMARASINGHE, I. T. *et al.* Composite Panels from Wood Waste: A Detailed Review of Processes, Standards, and Applications. **Journal of Composites Science**, v. 8, n. 10, p. 417, 11 out. 2024.
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (ANSI). **ANSI A208.1-99**: Mat-formed wood particleboard. Maryland: ANSI, 1999.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM D-1037**: standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles. West Conshohocken: ASTM, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 14810-2**: Painéis de partículas de média densidade. Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 14853**: Madeira – determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona. Rio de Janeiro: ABNT, 2010a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 7989**: Pasta celulósica e madeira – determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro: ABNT, 2010b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 13999**: Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira - Determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525 °C. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- AYRILMIS, N.; KWON, J. H.; HAN, T. H. Effect of resin type and content on properties of composite particleboard made of a mixture of wood and rice husk. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, [s.l.], v. 38, p. 79-83, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2012.04.008>. Acesso em: 20 jun. 2024.
- BARROS FILHO, R. M. *et al.* Hybrid chipboard panels based on sugarcane bagasse, urea formaldehyde and melamine formaldehyde resin. **Industrial Crops and Products**, [s.l.], v. 33, p. 369-373, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.11.007>. Acesso em: 20 jun. 2024.
- BRAIEK, A. *et al.* Estimation of the thermophysical properties of date palm fibers/gypsum composite for use as insulating materials in building. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 140, p. 268-279, abr. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.001>. Acesso em: 20 jun. 2024.

BORGES, I. O. *et al.* Potencial de utilização de resíduos da cultura de soja tratados com água e hidróxido de sódio para produção de painéis aglomerados. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, p. e29511225762, 25 jan. 2022.

BRITO, F. M. S.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; SURDI, P. G. Properties of particleboards made from sugarcane bagasse particles. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 16, n. 1, p. 1-7, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v16i1a8783>. Acesso em: 20 jun. 2024.

BUFALINO, L. *et al.* Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro australiano. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 70, p. 129-137, 2012. Disponível em: <https://pfb.sede.embrapa.br/pfb/article/view/356/262>. Acesso em: 17 jan. 2024.

CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L.; CHAMMA, P. V. C. Avaliação de painéis produzidos a partir de resíduos sólidos para aplicação na arquitetura. **Polímeros**, São Carlos, v. 19, n. 1, p. 47-53, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-14282009000100012>. Acesso em: 31 jul. 2023.

COMMERCIAL STANDARD. CS 236-66: mat formed wood particleboard. Washington, 1968.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira**. Brasília: CONAB, 2024.

FURTINI, A. C. C. *et al.* Using miriti petiole to produce particleboards. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 23, n. 2, p. 149-162, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212023000200668>. Acesso em: 13 jun. 2024.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The State of Food and Agriculture 2025: moving forward on food loss and waste reduction**. Rome: FAO, 2025.

GATANI, M. P. *et al.* Viabilidade técnica de produção e propriedades de painéis de partículas de casca de amendoim. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 1286-1293, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-70762013000200004>. Acesso em: 13 jun. 2024.

GOMES, D. A. C. *et al.* Physical and mechanical properties of low-density particleboards of Amazon jupati palm and pinewood. **International Journal of Environmental Science and Technology**, [s.l.], v. 22, p. 8045-8056, 2024a. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13762-024-06156-9>. Acesso em: 10 fev. 2025.

GOMES, D. A. C. *et al.* Plastery matrix composites reinforced with palm fiber from the Amazon Region. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 411, p. 1-9, 2024b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134121>. Acesso em: 18 fev. 2024.

GOMES, D. A. C. *et al.* Analysis of the influence of wheat residues on gypsum composites. **Innovative Infrastructure Solutions**, v. 8, n. 1, 24 nov. 2022. <https://doi.org/10.1007/s41062-022-01007-3>

GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. *et al.* Inclusão de resíduo da cultura de sorgo em painéis aglomerados de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [s.l.], v. 36, n. 88, p. 435-442, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.88.1036>. Acesso em: 14 abr. 2024.

GUIMARÃES, I. L. *et al.* Aproveitamento de casca de soja para produção de painéis convencionais de aglomerados de baixa densidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 14, n. 2, p. 1-6, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i2a5643>. Acesso em: 22 mar. 2024.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). *Relatório anual IBÁ 2025*. São Paulo: IBÁ, 2025. Disponível em: <https://iba.org>. Acesso em: 27 fev. 2026.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Ajir Gráfica e Editora, 2020.

LU, Y. *et al.* Structural Characterization of Lignin and Its Degradation Products with Spectroscopic Methods. **Journal of Spectroscopy**, v. 2017, p. 1–15, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/8951658>

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman, 1993.

MENDES, R. F. *et al.* Particleboard panels produced with different radial positions of *Pinus oocarpa* wood. **Floresta e Ambiente**, [s.l.], v. 25, n. 1, p. 1-7, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.114514>. Acesso em: 17 ago. 2023.

MENDES, R. F. *et al.* Qualidade de painéis aglomerados homogêneos produzidos com a madeira de clones de *Eucalyptus urophylla*. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 2, p. 329-336, 2014a. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01047760.201420021273>. Acesso em: 10 mar. 2024.

MENDES, R. F. *et al.* Use of sugarcane bagasse for particleboard production. **Key Engineering Materials**, [s.l.], v. 634, p. 163-171, 2014b. Disponível em: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.634.163>. Acesso em: 17 set. 2023.

MIRANDA, E. H. N. *et al.* Evaluation of the influence of the addition of bean residue in gypsum matrices. **Clean Technologies and Environmental Policy**, [S. l.], v. 1, p. 1–11, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s10098-022-02389-9>. Acesso em: 4 set. 2022.

FAO – **Food And Agriculture Organization Of The United Nations**. FAOSTAT. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/GF>.

MIRANDA, E. H. N. *et al.* Evaluation of bean residues in the production of agglomerated panels. **Maderas, Ciencia y Tecnología**, [s.l.], v. 25, n. 32, p. 1-10, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-221x2023000100432>. Acesso em: 17 jan. 2025.

MISHRA, P.; VINU, R. Assessing the Bioenergy Potential of Peanut Shell Waste. **Polymers (MDPI)**, v. 18, n. 5, fev. 2026. <https://doi.org/10.3390/polym18050560>

NEITZEL, N.; HOSSEINPOURPIA, R.; WALTHER, T.; ADAMOPOULOS, S. Materiais alternativos da agroindústria para a fabricação de painéis de madeira: uma revisão. **Materials**, v. 15, n. 13, p. 4542, 2022. DOI:

NUNES, R. F.; PAULA, D. C.; MARTINS, M. G. Produção de biodiesel do óleo de amendoim por transesterificação metílica e aplicação da superfície de resposta. **Scientia Plena**, [s.l.], v. 17, n. 4, p. 1-16, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2021.044201>. Acesso em: 12 jun. 2023.

PĘDZIK, M.; JANISZEWSKA, D.; ROGOZIŃSKI, T. Alternative lignocellulosic raw materials in particleboard production: a review. **Industrial Crops and Products**, v. 174, p. 114162, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114162>.

PINHEIRO, S. M. de M. **Gesso reciclado: avaliação das propriedades para uso em componentes**. 2011. [s.n]. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Estadual de Campinas. São Paulo. 2011.

PINTO, N. A. *et al.* Avaliação de matriz de gesso com incorporação de borracha de pneus para utilização na construção civil. **Revista Tecnológica**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 103-117, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/revtecnol.v25i1.29894>. Acesso em: 17 set. 2024.

REGIS, B. D. Estudo da influência do aditivo hidrofugante nas propriedades das pastas de gesso para fundição (Study of the influence of the water-repellent additive on the properties of plaster pastes for casting). [S. l.], p. 794–803, 2019.

ROWELL, R. M. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. 2. ed. **Boca Raton**: CRC Press, 2012. 703 p.

SANTOS, C. A. *et al.* Utilização da madeira de *Pinus oocarpa* e *Coffea arabica* para a produção de painéis de partículas orientadas (OSB). **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 1-10, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26795>. Acesso em: 18 nov. 2023.

SANTOS, M. D. S. *et al.* Função de produção da cultura do amendoim (*Arachis Hypogaea* L.) em resposta à lâmina de irrigação e adubação orgânica. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, Curitiba, v. 21, n. 8, p. 9901-9920, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/oelv21n8-111>. Acesso em: 16 nov. 2024.

SANTOS, P. *et al.* Acoustic and thermal behaviour of cross-insulated timber panels. **Journal of Building Engineering**, [s.l.], v. 44, p. 1-14, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103309>. Acesso em: 23 out. 2024.

SCATOLINO, M. V. *et al.* Eucalyptus wood and coffee parchment for particleboard production: Physical and mechanical properties. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 41, n. 2, p. 139-146, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-70542017412038616>. Acesso em: 24 jun. 2023.

SILVA, J. B. *et al.* Characterization and Performance of Peanut Shells in Caffeine and Triclosan Removal. **Molecules (MDPI)**, v. 29, n. 12, jun. 2024.

SILVA, J. V. F. *et al.* Characterization of particleboards produced with *Pinus* spp. waste. **Scientia Forestalis**, [s.l.], v. 44, n. 111, p. 01-06, 3 out. 2016. Disponível em <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n111.08>.

SILVA, M. V. C. *et al.* Evaluation of the incorporation of peanut pod ash in gypsum matrix composites. **Journal of Engineering Research**, [s.l.], v. 5, n. 3, p. 1-12, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.317532524023>. Acesso em: 13 abr. 2025.

SOARES, S. S. *et al.* Valorização do bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis aglomerados de baixa densidade. **Revista Ciência da Madeira**, [s.l.], v. 8, n. 2, p. 64-73, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/cienciadamadeira/article/view/10589>. Acesso em: 17 mar. 2024.

SOPHIA, M. *et al.* Gypsum as a Construction Material- A Review of Recent Developments. International Journal for Innovative. **International Journal For Innovative Research In Science & Technology**: [s. l], v. 2, n. 12, p. 1-9, maio 2016.

SOUZA, J. T. de *et al.* Propriedades mecânicas do MDP produzido com partículas de madeira de *Ilex paraguariensis*, *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 122, 30 jun. 2019.

VELOSO, M. C. R. A. *et al.* Potential destination of Brazilian cocoa agro-industrial wastes for production of materials with high added value. **Waste Management**, [s.l.], v. 118, p. 36-44, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.019>. Acesso em: 17 maio 2024.

VELOSO, M. C. A. R. *et al.* Propriedades de painéis aglomerados de baixa densidade produzidos com partículas de jupati e madeira de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 15, n. 4, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v15i4a8414>. Acesso em: 14 jul. 2023.

VILLARRUEL, D. C. V. *et al.* Evaluation of the addition of wheat residues in the production of *Pinus oocarpa* agglomerated panels. **Clean Technologies and Environmental Policy**, [s.l.], v. 25, p. 1753-1760, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-023-02467-6>. Acesso em: 24 jan. 2024.

ŻABOWSKI, B.; WRONKA, A.; KOWALUK, G. Selected Physical and Mechanical Properties of Particleboards Manufactured from Plantation Willow and Poplar Wood. **Materials**, v. 17, n. 16, p. 4069, 16 ago. 2024.

TERCEIRA PARTE

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, a elevada produção de amendoim no Brasil resulta na geração de resíduos, como a casca, que apresentam composição lignocelulósica e potencial para diferentes formas de reaproveitamento. Embora parte desse material já seja utilizada como fonte de energia ou em outras aplicações, ainda há grande quantidade sendo descartada ou subutilizada.

Nesse contexto, a possibilidade de reaproveitamento desses resíduos na produção de painéis aglomerados configura-se como uma alternativa promissora para agregar valor ao subproduto, reduzir impactos ambientais e ampliar as possibilidades de uso da casca. Os resultados obtidos evidenciam que a casca de amendoim possui características compatíveis com sua aplicação em compósitos lignocelulósicos, especialmente em função de seu elevado teor de lignina e baixo teor de holocelulose, fatores que contribuíram para o bom desempenho das propriedades físicas dos painéis, como a estabilidade dimensional e a resistência à umidade.

Por outro lado, em função da baixa densidade do material e das limitações na interação interfacial entre partícula e adesivo, observou-se redução nas propriedades mecânicas dos compósitos, indicando que, embora tecnicamente viável, a substituição da madeira por casca de amendoim ainda demanda otimizações no processo produtivo. Esses resultados reforçam a importância do equilíbrio entre desempenho físico e mecânico para viabilizar aplicações estruturais ou não estruturais dos painéis.

Além disso, sob a perspectiva ambiental e econômica, a utilização da casca de amendoim contribui para a redução da pressão sobre recursos florestais, como espécies do gênero *Pinus*, e promove a valorização de resíduos agroindustriais, alinhando-se aos princípios da economia circular.

Para trabalhos futuros, recomenda-se investigar diferentes teores de adesivo, visando a melhoria das propriedades mecânicas dos painéis produzidos com casca de amendoim. Adicionalmente, estudos envolvendo tratamentos químicos das partículas podem contribuir para otimizar a interação entre as partículas e o adesivo. Sugere-se, também, a avaliação da durabilidade, bem como a análise do ciclo de vida dos painéis, a fim de ampliar o entendimento sobre seu desempenho em aplicações reais.

Dessa forma, conclui-se que a casca de amendoim apresenta elevado potencial como matéria-prima alternativa na produção de painéis aglomerados, podendo contribuir

significativamente para o desenvolvimento de materiais de menor impacto ambiental, desde que seja associada a avanços tecnológicos que permitam o aprimoramento de suas propriedades mecânicas e ampliação de sua aplicabilidade industrial.

REFERÊNCIAS

- AYRILMIS, N.; KWON, J. H.; HAN, T. H. Effect of resin type and content on properties of composite particleboard made of a mixture of wood and rice husk. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, [s.l.], v. 38, p. 79-83, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2012.04.008>. Acesso em: 20 jun. 2024.
- BRITO JUNIOR, S. X. **Metodologia para projeto de veículo elétrico**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/2871/1/SilvioXavierdeBritoJunior.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2024.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira**. Brasília: CONAB, 2024.
- FARIA, D. L. *et al.* Technological properties of medium density particleboard produced with soybean pod husk and Eucalyptus wood. **Scientia Forestalis**, [s.l.], v. 48, n. 126, p. 1-14, 30 jun. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v48n126.19>. Acesso em: 20 jun. 2024.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The State of Food and Agriculture 2025: moving forward on food loss and waste reduction**. Rome: FAO, 2025.
- GOMES, D. A. C. *et al.* Physical and mechanical properties of low-density particleboards of Amazon jupati palm and pinewood. **International Journal of Environmental Science and Technology**, [s.l.], v. 22, p. 8045-8056, 2024b. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13762-024-06156-9>. Acesso em: 10 fev. 2025.
- GOMES, D. A. C. *et al.* Plastery matrix composites reinforced with palm fiber from the Amazon Region. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 411, p. 1-9, 2024a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134121>. Acesso em: 18 fev. 2024.
- GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. *et al.* Inclusão de resíduo da cultura de sorgo em painéis aglomerados de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [s.l.], v. 36, n. 88, p. 435-442, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.88.1036>. Acesso em: 14 abr. 2024.
- GUIMARÃES, I. L. *et al.* Aproveitamento de casca de soja para produção de painéis convencionais de aglomerados de baixa densidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 14, n. 2, p. 1-6, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i2a5643>. Acesso em: 22 mar. 2024.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório 2025**. São Paulo: IBÁ, 2025.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS (INDEC). **Censo Nacional Agropecuario 2018: resultados definitivos**. 1. ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC), 2021.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Ajir Gráfica e Editora, 2020.

KASAI, F. S.; DEUBER, R. **Manejo de Plantas Daninhas na Cultura do Amendoim**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2011.

KELLY, M. W. **A critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard**. Madison: U.S. Department of Agriculture, 1977.

KUQO, A.; MAI, C. Mechanical properties of lightweight gypsum composites comprised of seagrass *Posidonia oceanica* and pine (*Pinus sylvestris*) wood fibers. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 282, n. 18, p. 1-9, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122714>. Acesso em: 17 mar. 2025.

LOZANO, M. G. **Amendoim (*Arachis hypogaea* L.): composição centesimal, ácidos graxos, fatores antinutricionais e minerais em cultivares produzidas no Estado de São Paulo**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11141/tde-15082016-125036/pt-br.php>. Acesso em: 20 jul. 2025.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman, 1993.

MENDES, R. F. *et al.* Efeito da associação de bagaço de cana, do tipo e do teor de adesivo na produção de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 161-170, jan./mar., 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/198050985088>. Acesso em: 17 mar. 2023.

MIRANDA, E. H. N. *et al.* Evaluation of the influence of the addition of bean residue in gypsum matrices. **Clean Technologies and Environmental Policy**, [s.l.], v. 25, p. 93-103, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s10098-022-02389-9>. Acesso em: 4 set. 2022.

NARCISO, C. R. P. *et al.* Potential for the Use of Coconut Husk in the Production of Medium Density Particleboard. **Waste and Biomass Valorization**, [s.l.], v. 12, n. 3, p. 1647-1658, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s12649-020-01099-x>. Acesso em: 13 abr. 2024.

PAULA, W. F. P.; SILVA, L. P. Preparação e caracterização de resíduo pós-industrial de madeira plástica reforçados com resíduos de pó de madeira. **Revista Produção e Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 114-124, 2016. Disponível em: <https://revistas.cefet-rj.br/index.php/producaoedesenvolvimento/article/view/e120/126>. Acesso em: 11 fev. 2024.

PEREA-MORENO, M. A. *et al.* Peanut shell for energy: Properties and its potential to respect the environment. **Sustainability**, [s.l.], v. 10, n. 9, p. 1-15, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su10093254>. Acesso em: 16 maio 2023.

RIBEIRO, D. P. *et al.* Effect of Heat Treatment on the Properties of Sugarcane Bagasse Medium Density Particleboard (MDP) Panels. **Waste And Biomass Valorization**, [s.l.], v. 11, p. 6429-6441, 23 nov. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-019-00882-9>. Acesso em: 19 jan. 2024.

SCATOLINO, M. V. *et al.* Eucalyptus wood and coffee parchment for particleboard production: Physical and mechanical properties. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 41, n. 2, p. 139-146, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-70542017412038616>. Acesso em: 24 jun. 2023.

SILVA, A. R. S. *et al.* Determinação da resistência à compressão de blocos compósitos de gesso com adição de resíduos da construção civil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 22., 2016b, Natal. **Anais [...]**. Natal: Centro de Convenções do Hotel Holiday Inn, 2016. p. 4276-4286. Disponível em: <https://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/216-032.pdf>. Acesso em: 26 maio 2024.

SILVA, J. V. F. *et al.* Characterization of particleboards produced with Pinus spp. waste. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 111, p. 623-628, 2016a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n111.08>. Acesso em: 18 out. 2024.

SOARES, S. S. *et al.* Valorização do bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis aglomerados de baixa densidade. **Revista Ciência da Madeira**, [s.l.], v. 8, n. 2, p. 64-73, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/cienciadamadeira/article/view/10589>. Acesso em: 17 mar. 2024.

TORKASHVAND, A. M.; ALIDOUST, M.; KHOMAMI, A. M. The reuse of peanut organic wastes as a growth medium for ornamental plants. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, [s.l.], v. 4, p. 85-94, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s40093-015-0088-0>. Acesso em: 6 out. 2023.

VELOSO, M. C. A. R. *et al.* Propriedades de painéis aglomerados de baixa densidade produzidos com partículas de jupati e madeira de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 15, n. 4, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v15i4a8414>. Acesso em: 14 jul. 2023.

VILELA, A. P. **Utilização da borracha de pneu para produção de painéis MDF e cimento-madeira**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biomateriais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFLA_d70ef252193e019dadac853c63660684. Acesso em: 23 nov. 2024.

ZHU, Y. *et al.* Current Technologies and Uses for Fruit and Vegetable Wastes in a Sustainable System: A Review. **Foods**, [s.l.], v. 12, n. 10, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods12101949>. Acesso em: 12 set. 2023.