

Desempenho de painéis de partículas produzidos com madeira de *Pinus oocarpa* e cigarro industrializado

Performance of particleboards produced with Pinus oocarpa wood and industrialized cigarettes

Flávia Maria Silva Brito 
Ana Carolina Corrêa Furtini 
Carolina Aparecida dos Santos 
Maria Margarida Gonçalves 
Lourival Marin Mendes 
José Benedito Guimarães Júnior 

Resumo

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a qualidade de painéis produzidos com diferentes proporções de partículas de madeira de *Pinus oocarpa* e resíduos de cigarro industrializado. As partículas foram misturadas em diferentes proporções (100% de partículas de pinus, 90% de partículas de pinus e 10% de partículas de cigarro, 80% de partículas de pinus e 20% de partículas de cigarro, 70% de partículas de pinus e 30% de partículas de cigarro). Os resultados evidenciaram que todos os painéis aglomerados atingiram o valor mínimo especificado pela NBR 14810-2 (ABNT, 2018) para o Inchamento em Espessura (IE). Todas as propriedades mecânicas avaliadas evidenciaram redução nos valores com a adição das partículas de resíduos de cigarro e os valores obtidos não atenderam ao mínimo especificado pela norma utilizada para o módulo de ruptura e módulo de elasticidade. Em relação a ligação interna os painéis dos tratamentos T3 e T4 atingiram o valor mínimo requerido pela norma brasileira. A resistência térmica dos painéis aumentou com a inclusão das partículas de resíduos de cigarro, porém o efeito foi baixo em função do R².

Palavras-chave: Propriedades físico-mecânicas. Adesivo uréia-formaldeído. Cigarro.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the quality of panels produced with different proportions of Pinus oocarpa wood particles and industrial cigarette waste. The wood came from an experimental field and the cigarette waste was obtained through a donation. The particles were mixed in different proportions (100% pine particles, 90% pine particles and 10% cigarette particles, 80% pine particles and 20% cigarette particles, 70% pine particles and 30% cigarette particles). The results showed that all particleboards reached the minimum value specified by NBR 14810-2 (ABNT, 2018) for Thickness Swelling (TS). All mechanical properties evaluated showed a reduction in values with the addition of cigarette residue particles and the values obtained did not meet the minimum specified by the standard used for the modulus of rupture and modulus of elasticity. Regarding internal adhesion, the panels for T3 and T4 treatments reached the minimum value required by Brazilian standards. The thermal resistance of the panels increased with the inclusion of cigarette residue particles, but the effect was low depending on R².

Keywords: Physical-mechanical properties, urea-formaldehyde adhesive. Cigarette.

¹Flávia Maria Silva Brito
¹Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro - ES - Brasil

²Ana Carolina Corrêa Furtini
²Universidade Federal de Lavras
Lavras -MG - Brasil

³Carolina Aparecida dos Santos
³Universidade Federal de Lavras
Lavras -MG - Brasil

⁴Maria Margarida Gonçalves
⁴Universidade NOVA de Lisboa
Caparica - Portugal

⁵Lourival Marin Mendes
⁵Universidade Federal de Lavras
Lavras -MG - Brasil

⁶José Benedito Guimarães Júnior
⁶Universidade Federal de Lavras
Lavras -MG - Brasil

Recebido em 18/05/23
Aceito em 24/11/23

Introdução

O tabagismo é responsável pela morte e adoecimento de milhões de pessoas anualmente. Aproximadamente 8 milhões de pessoas faleceram em função das doenças relacionadas ao uso de tabaco, no ano de 2017, no mundo inteiro (Morais *et al.*, 2022). Em 2021, foram apreendidos e destruídos cerca de 307 milhões de maços de cigarros contrabandeados, o que corresponde a um volume aproximado de 42 mil m³. A norma da Secretaria da Receita Federal (Brasil, 2022) regulamenta atividades de combate ao comércio ilegal de cigarros e estabelece que sejam adotadas formas para sua destruição, transformando-os em resíduos reutilizáveis e recicláveis, tornando esta atividade economicamente viável.

Os cigarros possuem na sua composição o papel, que é constituído por fibras de origem vegetal, formadas por celulose. Logo, pode-se considerar sua utilização como matéria-prima para produção de painéis aglomerados, uma vez que qualquer material que tenha composição química semelhante a madeira pode ser utilizado para este fim. Vários materiais lignocelulósicos já foram utilizados para produção de painéis, em conjunto com a madeira tais como: pistache (Brito *et al.*, 2021a), sabugo de milho (Oliveira *et al.*, 2021), bagaço de cana de açúcar (Brito *et al.*, 2021b), casca de amendoim (Brito *et al.*, 2022), soja (Borges *et al.*, 2022) dentre outros.

O painel aglomerado é um produto fabricado com partículas de madeira, encoladas com adesivo sintético ou outro aglutinante adequado e consolidado por meio de temperatura e pressão em prensas automatizadas (LEE *et al.*, 2022). A fabricação dos painéis utilizando cavacos de madeira fornecem uma distribuição homogênea de propriedades mecânicas em todos pontos do painel (Astari *et al.*, 2019). O aglomerado é um dos principais produtos à base de madeira no comércio mundial. Sua demanda global e produção têm apresentado uma tendência ascendente nos últimos anos (Lee *et al.*, 2022). Atualmente as matérias-primas mais utilizadas para a produção de painéis nas indústrias são cavacos de madeira de pinus e eucalipto. O Brasil produziu 3,560 milhões de m³ de painéis aglomerados em 2021 (FAOSTAT, 2023), que são largamente utilizados em móveis, decoração de interiores e para construção (Owodunni *et al.*, 2020, Tascioglu *et al.*, 2018).

Esta é uma pesquisa inovadora, pois propõe a utilização de cigarros industrializados que foram apreendidos ilegalmente pela polícia civil de Lavras e doados a Universidade Federal de Lavras (UFLA). Os cigarros foram utilizados como reforço em painéis aglomerados de pinus. O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a qualidade de painéis aglomerados produzidos com madeira de *Pinus oocarpa* e diferentes proporções de partículas de cigarro industrializado.

Material e métodos

Origem e coleta do material

Foram abatidas três árvores de *Pinus oocarpa* com auxílio de uma motosserra, com idades próximas de 20 anos, cultivadas no Campus universitário da UFLA, sob as coordenadas 21° 14' 45" S 44° 59' 59" W e altitude de 920 m. Os resíduos de cigarro foram obtidos por meio de uma doação da Polícia Civil, resultado de uma apreensão ilegal do produto.

Processamento mecânico do material

Foram adotados os procedimentos descritos por Furtini *et al.* (2022, 2023). De cada árvore coletada, foram retirados discos nas alturas correspondentes a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial para a caracterização química. Os discos foram encaminhados ao laboratório, para serem seccionados em quatro partes, com o auxílio de uma serra fita, obtendo duas cunhas opostas para análise química. Já os toretes, ficaram imersos em um tanque com água por um período de 48 horas com temperatura de 85 °C, para promover o cozimento e consequentemente, o amolecimento da madeira para facilitar o processo de laminação.

As lâminas foram geradas em torno laminador, com espessura nominal de 2 mm e, em seguida foram secas naturalmente e em estufa, até atingirem o teor de umidade de 5%. Após a secagem, as lâminas foram moídas em moinho do tipo martelo, obtendo-se assim as partículas. A fração selecionada foi aquela que passou pela peneira de 0,420 mm e ficou retida na de 0,250 mm de abertura.

O cigarro foi triturado de forma integral, transformado em resíduo e moído em moinho de facas. Foram utilizadas as partículas com o mesmo tamanho das partículas da madeira de *Pinus oocarpa*. As partículas foram secas em estufa com circulação forçada de ar em temperatura de 103 ± 2 °C até atingirem teor médio de umidade de 5%.

Densidade básica e Análise química das partículas de madeira

A densidade básica da madeira de *Pinus oocarpa* foi determinada conforme as designações da norma técnica NBR 11941 (ABNT, 2003a). Foram utilizadas seis amostras para determinação desta propriedade.

A análise das propriedades químicas dos materiais foi realizada em triplicatas. Determinando assim, os extrativos totais (ET), a lignina insolúvel (LI) e o teor de cinzas (CI) de acordo com a NBR 14853 (ABNT, 2010b), NBR 7989 (ABNT, 2010a) e NBR 13999 (ABNT, 2017), respectivamente. O percentual de holocelulose foi obtido por meio do somatório dos níveis de lignina (LI), extrativos (ET) e cinzas (CI), subtraídos de 100.

Produção dos painéis aglomerados

Os painéis aglomerados foram produzidos com densidade nominal de 0,75 g/cm³ e dimensões de 300 × 300 × 15 mm. Para produção dos painéis aglomerados adotou-se a metodologia descrita na literatura por outros pesquisadores (Brito *et al.*, 2021a, 2021b, 2022; Furtini *et al.*, 2022, 2023). As partículas foram misturadas em diferentes proporções (100% de partículas de pinus, 90% de partículas de pinus e 10% de partículas de cigarro, 80% de partículas de pinus e 20% de partículas de cigarro, 70% de partículas de pinus e 30% de partículas de cigarro). Utilizou-se adesivo a base de uréia- formaldeído com teor de sólidos de 12% em relação a massa seca das partículas. As características do adesivo foram: teor de sólidos de 64,60%, viscosidade de 480 cP, gel time de 51 segundos e pH de 8,55, descrições presentes na ficha técnica que acompanhava o produto.

Após a mistura manual do adesivo com as partículas, procedeu-se ao arranjo do material dentro de uma caixa de madeira formadora de colchão. O colchão foi pré-prensado a frio em prensa hidráulica com pressão de 4,0 MPa, durante 10 minutos, para retirada de ar e pré-consolidação dos painéis. Em seguida foi transportado até a prensa automática. Os parâmetros do ciclo de prensagem foram: pressão de 4,0 MPa, temperatura de 180 °C e tempo de 15 minutos (Figura 1). Foram produzidos doze painéis com as seguintes dimensões: 20 x 20 x 1,5 cm (largura x comprimento x espessura, respectivamente).

Os painéis foram acondicionados em sala climatizada 20 ± 2 °C e umidade relativa de 65 ± 3% até a cura final do adesivo e padronização da umidade. Em seguida, foram esquadrejados para a retirada dos efeitos de bordas e os corpos-de-prova foram retirados com o auxílio de uma serra circular, para posterior avaliação.

Análise microestrutural e propriedades físico-mecânicas dos painéis

Os painéis foram visualizados no microscópio óptico de luz composto Leica DM4000B (LM) acoplado com câmera digital Moticam X – Motic Europe CMOS com aumento de 100x. Avaliou-se a região fraturada obtida por meio do teste de ligação interna.

Figura 1 - Painel aglomerado constituído com 70% de partículas de madeira e 30% de resíduos de cigarro



Foram determinadas as propriedades físicas e mecânicas dos painéis, tais como: densidade aparente, absorção de água em 2 e 24 horas e inchamento em espessura após 2 e 24 horas, bem como as propriedades mecânicas como flexão estática e ligação interna tração perpendicular. As propriedades físicas foram determinadas com base na NBR 14810-1 (ABNT, 2013). O teste de flexão estática foi realizado de acordo com a norma DIN 52362 (DIN, 1982). Os demais testes foram executados e os resultados foram analisados com base na D1037- (ASTM, 1982).

Avaliou-se ainda a propriedade de condutividade térmica, realizada por meio de um equipamento adaptado do método da coluna fracionada descrito por Mendes *et al.* (2021) e Arantes *et al.* (2023), através de um atuador térmico na parte inferior, mantendo a temperatura em torno de 60 °C. As temperaturas foram registradas por meio de sensores. A taxa de aquecimento foi de 1 °C/min, e o ciclo, de 1 h. Os dados foram registrados durante esse período por sensores utilizando equipamento data collector, modelo IM DC 100-01E. Os resultados de isolamento térmico do material foram obtidos pela diferença dos termopares da base do padrão e do topo. Os valores referentes à condutividade térmica, foram obtidos através da Equação 1, conforme a NBR 15220 (ABNT, 2005).

$$\lambda = \frac{(270 \cdot e)}{\Delta T} \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo:

λ = condutividade térmica (W/ (m.°C));

e = espessura do painel (m); e

ΔT = variação da Temperatura do painel (°C).

Análise experimental dos dados

A densidade básica e a análise química foram avaliadas por meio da estatística descritiva. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, com 4 tratamentos e 3 repetições, totalizando 12 unidades experimentais, conforme a Tabela 1. Os resultados foram analisados por meio de análise de regressão, a fim de observar o comportamento das propriedades físicas e mecânicas com a adição de resíduos de cigarro nos painéis.

Resultados e discussão

Densidade básica da madeira de pinus

Para a madeira de pinus foi obtido valor médio de 0,560 g/cm³, resultado superior aos relatados por Brito *et al.* (2022) de 0,520 g/cm³ e Furtini *et al.* (2022) de 0,480 g/cm³. Em geral, a alta variação da densidade na árvore e entre árvores característica do gênero Pinus, se deve a vários fatores (ambientais, genéticos, silviculturais, madeira juvenil etc.), podendo chegar a aproximadamente 30% da média da espécie (Muñiz, 1993). Conforme a classificação de Csanády *et al.* (2015), a madeira pode ser considerada de média densidade, pois sua densidade básica (0,56 g/cm³) está na faixa de 0,50 a 0,75 g/cm³. Pesquisadores como Moslemi (1974), Maloney (1993) e Iwakiri (2005) recomendam madeiras nesta faixa de densidade, para produção de painéis aglomerados, por gerarem alta razão de compactação.

Análise química

Na Tabela 2, estão descritos os valores médios dos componentes químicos da madeira.

Tabela 1 - Delineamento experimental para a produção dos painéis aglomerados

| Tratamentos | Resíduos de cigarro (%) | Pinus (%) |
|-------------|-------------------------|-----------|
| T1 | 0 | 100 |
| T2 | 10 | 90 |
| T3 | 20 | 80 |
| T4 | 30 | 70 |

Tabela 2 - Valores médios dos componentes químicos encontrados na madeira de *P. oocarpa*

| Autores | Extrativos totais (%) | Lignina insolúvel (%) | Cinzas (%) | Holocelulose (%) |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------|------------------|
| Presente estudo | 6,50 | 28,10 | 0,28 | 65,13 |
| Brito <i>et al.</i> (2021a) | 6,34 | 29,43 | 0,93 | 63,29 |
| Furtini <i>et al.</i> (2022) | 7,38 | 29,20 | 0,26 | 70,76 |
| Santos <i>et al.</i> (2022) | 6,18 | 29,28 | 1,25 | 63,29 |

Conforme os valores observados na Tabela 2 é possível verificar que o teor de extrativos totais foi semelhante aos obtidos por Brito *et al.* (2021a) e Santos *et al.* (2022) e inferior ao resultado obtido por Furtini *et al.* (2022). Entretanto, o valor encontrado está na faixa indicada por Machado *et al.* (2017), ou seja, inferior a 10%, caso fosse superior poderia reduzir a qualidade do produto final. Segundo Marra (1992) a qualidade seria afetada, pois elevados teores de extrativos apresentam dificuldades de colagem resultando em baixa resistência da ligação adesiva entre as partículas.

Em relação ao teor de lignina insolúvel, observa-se no presente trabalho que o resultado obtido foi inferior aos descritos na Tabela 2. A lignina é o componente macromolecular responsável pela rigidez, por isso, maiores proporções de lignina são desejáveis na matéria prima empregada para produção de aglomerados, uma vez que esse componente possui uma estrutura muito condensada e um aspecto irregular conferindo assim, alta rigidez ao material (Sweet; Winandy, 1999).

O teor de cinzas obtido foi menor quando comparado aos outros autores e está próximo da faixa recomendada por Iwakiri (2005) para a fabricação de painéis (0,5%). O valor percentual é indicado para a produção de painéis, pois altas quantidades de compostos inorgânicos interferem no pH dos painéis aglomerados prejudicando a resistência e coesão da linha de cola (Iwakiri, 2005).

Em relação ao teor de holocelulose observou-se que o valor obtido nesta pesquisa se situa entre aqueles citados na literatura. Altos teores de hemiceluloses podem tornar os painéis mais higroscópicos, uma vez que são hidrofílicas. Por outro lado, também são importantes para melhorar as propriedades de resistência dos painéis e, quando em baixas proporções, podem reduzir a adesão entre as partículas (Ye *et al.*, 2007).

Análise microestrutural dos painéis

A Figura 2 (a, b, c e d) representa as imagens obtidas com o microscópio óptico de luz, referentes as proporções de mistura de partículas dos painéis aglomerados.

Conforme a figura acima é possível observar que os painéis do tratamento 1, demonstram ausência de partículas de cigarro. Para os tratamentos 2, 3 e 4 é possível observar que os resíduos de cigarro estão emaranhados com a madeira e o adesivo, caracterizados por regiões mais escuras.

Propriedades físicas dos painéis aglomerados

Na Figura 3 verifica-se a análise de regressão entre os dados de densidade aparente e razão de compactação com a porcentagem de inserção de resíduos de cigarro na composição dos painéis. Embora a regressão linear mostre uma relação não significativa, 42% da variação da densidade aparente pode ser explicada pela inserção de resíduos de cigarro na composição dos painéis.

A regressão entre razão de compactação (RC) e o percentual de resíduos de cigarro teve coeficiente de determinação de 0,902 e a correlação foi significativa ao nível de 5% de probabilidade. Para cada unidade (%) de resíduos de cigarro inserida na composição dos painéis, houve um aumento equivalente a 0,0086 na RC dos painéis.

Os painéis apresentaram valores médios de densidade menor que a nominal planejada ($0,75\text{g/cm}^3$), porém este fato é corriqueiro em experimentos de laboratório e pode estar associado com a perda de insumos no decorrer da produção dos colchões, durante a pré-prensagem, fase de prensagem a quente e após a saída dos painéis da prensa, em que o volume dos painéis pode aumentar e, assim, reduzir o valor nominal de densidade (Guimarães Júnior *et al.*, 2016; Bazzetto *et al.*, 2019).

Todos os painéis podem ser classificados como de média densidade, conforme a NBR 14810-2 (ABNT, 2018), pois os valores obtidos foram entre 551 g/cm^3 e 750 g/cm^3 . Ainda de acordo com a norma, a variação da densidade dos painéis em relação a densidade média não pode ser superior à 7%, requisito observado nesta pesquisa. A importância dessa classificação está diretamente relacionada aos valores mínimos de inchamento

em espessura, absorção de água, módulo de elasticidade, módulo de ruptura e ligação interna tração perpendicular (Machado *et al.*, 2017).

Ainda de acordo com a Figura 3, nota-se que à medida que os resíduos de cigarro foram sendo adicionadas, os valores da razão de compactação foram aumentando. Os valores médios obtidos para os tratamentos T1 e T2 estão fora da faixa considerada ideal de 1,3 a 1,6 (Maloney, 1993), entretanto os tratamentos T3 e T4 atendem a esta faixa de variação, indicando uma boa densificação e qualidade do produto final. Valores mais elevados da RC tendem a garantir melhorias na resistência à flexão e ligação interna tração perpendicular, em função do melhor contato entre as partículas. A desvantagem seria em relação as propriedades físicas de absorção e inchamento (Maloney, 1993).

Figura 2 - Imagens da estrutura interna dos painéis obtidas por análises em microscópio óptico de luz: (a) Painéis compostos com 100% de partículas de pinus; (b) Painéis compostos com 90% de partículas de pinus e 10% de partículas de cigarro; (c) Painéis compostos por com 80% de partículas de pinus e 20% de partículas de cigarro; e (d) Painéis compostos por com 70% de partículas de pinus e 30% de partículas de cigarro

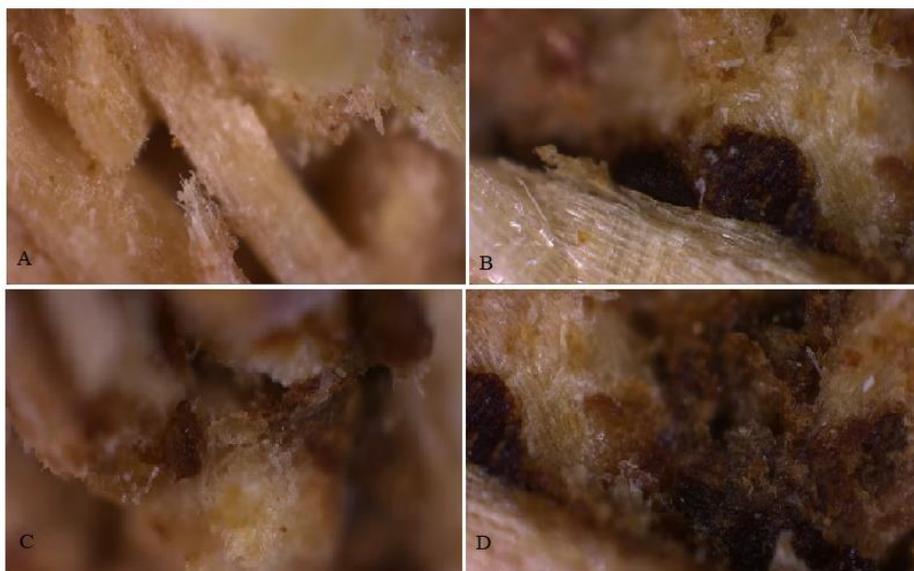
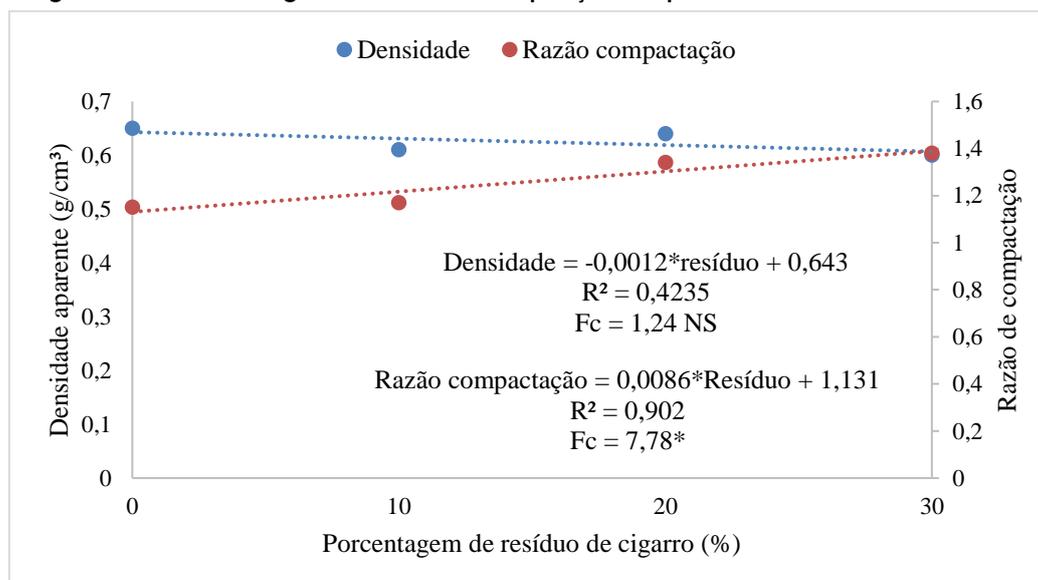


Figura 3 - Análise de regressão linear para densidade aparente e razão de compactação em função da porcentagem de resíduo de cigarro inserido na composição dos painéis



Há relatos na literatura de pesquisadores que incluíram resíduos na composição dos painéis de madeira e observaram um aumento da razão de compactação, tais como Martins *et al.* (2018) e Guimarães *et al.* (2019), que trabalharam com painéis de madeira de eucalipto e resíduos de casquilho de soja. Veloso *et al.* (2020) conduziram um experimento com partículas do pecíolo do jupati em substituição à madeira de eucalipto. Brito *et al.* (2022) produziram painéis de pinus com casca de amendoim.

Na Figura 4 verifica-se a análise de regressão entre os dados de Absorção de Água em 2 horas (AA2h) e Absorção de Água em 24 horas (AA24h) em relação a inserção de quantidades percentuais de resíduos de cigarro na composição dos painéis. A regressão linear mostra que 64% da variação de AA2h pode ser explicada pela inserção de resíduos de cigarro na composição dos painéis e foi significativa, ou seja, a inserção do material afetou a taxa de absorção de água em 2 horas, porém teve um efeito reduzido. Para cada unidade (%) de resíduos de cigarro inserida na composição dos painéis, houve um aumento equivalente a 0,58% no Inchamento em Espessura em 2 horas (IE2h) dos painéis. A regressão entre AA24h e o percentual de resíduos de cigarro teve coeficiente de determinação de 0,56 e a correlação também foi significativa ao nível de 5% de probabilidade, mas o coeficiente de determinação também é considerado baixo. Para cada unidade (%) de resíduos de cigarro inserida na composição dos painéis, houve um aumento equivalente a 0,65% no Inchamento em Espessura em 24 horas (IE24h) dos painéis.

Como é possível verificar na Figura 4, à medida que foi adicionado o resíduo de cigarro nos painéis, houve aumento significativo da taxa de absorção de água, em ambos tempos de imersão. Supõe-se que o fenômeno observado nesta pesquisa pode estar relacionado com a composição química do cigarro, que inclui várias substâncias, como a nicotina, por exemplo, que de acordo com Sandrin (1994) é solúvel em água. Provavelmente algumas substâncias componentes do cigarro, em contato com a água, foram dissolvidas resultando em espaços vazios na estrutura interna dos painéis, que foram preenchidos com água.

Na Figura 5 verifica-se a análise de regressão entre os dados de Inchamento em Espessura em 2 horas e Inchamento em Espessura em 24 horas (IE2h e IE24h) em relação a inserção de quantidades percentuais de resíduos de cigarro na composição dos painéis. A regressão linear mostra que 65% da variação do IE2h pode ser explicado pela inserção de resíduos de cigarro na composição dos painéis e foi significativa, ou seja, a inserção do material afetou a estabilidade dimensional dos painéis para esta propriedade, porém o coeficiente é considerado baixo. A regressão entre IE24h e o percentual de resíduos de cigarro teve coeficiente de determinação de 0,47 e a correlação não foi significativa ao nível de 5% de probabilidade. Para cada unidade (%) de resíduos de cigarro inserida na composição dos painéis, houve um aumento equivalente a 0,18% no IE2h dos painéis.

Figura 4 - Análise de regressão linear para absorção de água em 2 e 24 horas, em função da porcentagem de resíduo de cigarro inserido na composição dos painéis

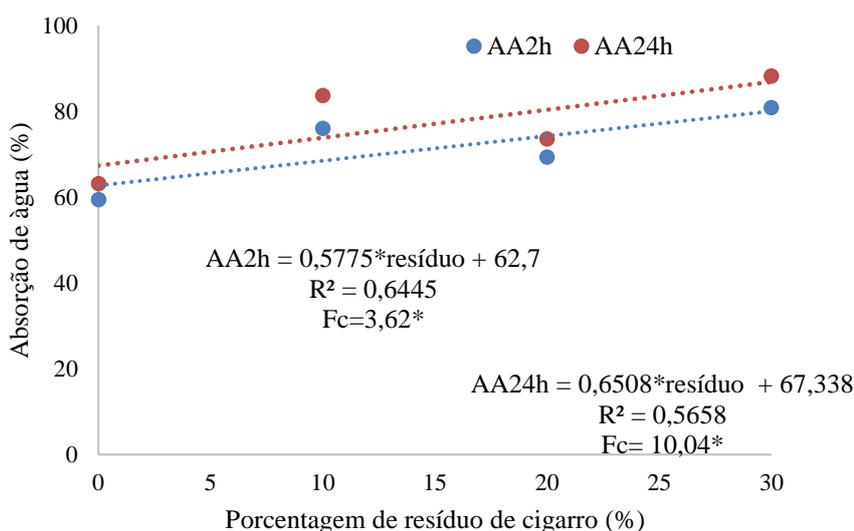
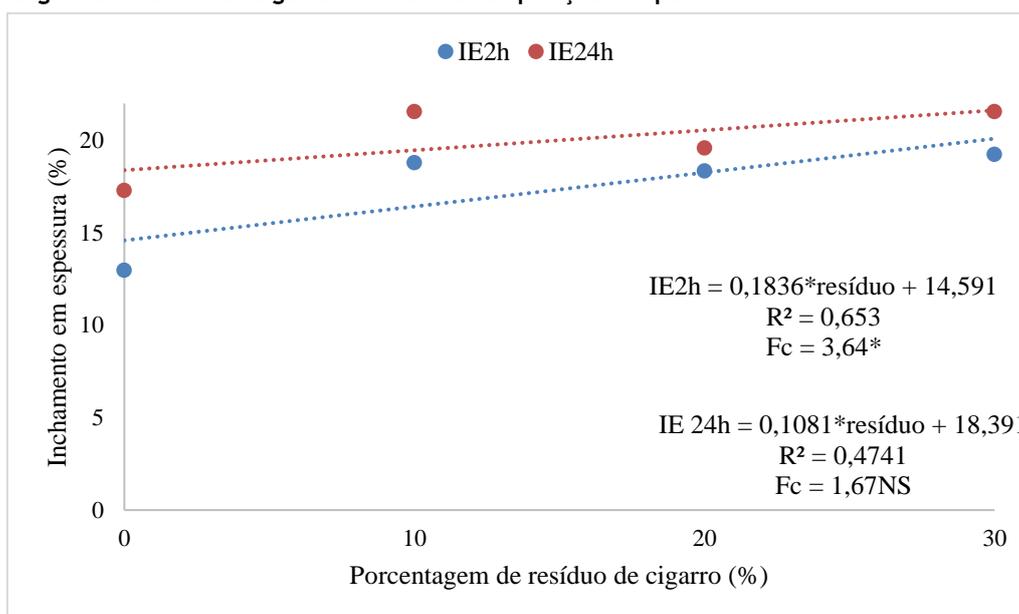


Figura 5 - Análise de regressão linear para inchamento em espessura em 2 e 24 horas, em função da porcentagem de resíduo de cigarro inserido na composição dos painéis



Conforme dito anteriormente o IE2h aumentou significativamente com a adição de resíduos de cigarro. Supõe-se que houve influência da composição química do material. A amônia, por exemplo, faz parte da composição do cigarro e quando esta substância é combinada com a água, forma hidróxido de amônia que, ionizando-se, produz NH_4^+ (ion amônio) e OH^- (hidroxila) (Baird; Cann, 2011). A maior disponibilidade dos grupamentos de OH^- aumenta o processo de adsorção de água pelos constituintes da parede celular, elevando o IE.

Ressalta-se ainda que produtos com maior razão de compactação podem ter altos valores de inchamento, porque estes tendem a liberar as tensões de compressão geradas no processo de prensagem, além do efeito da densidade, pois quanto maior a proporção de partículas mais higroscópico é o material (Iwakiri *et al.*, 2018). A afirmação corrobora com Brito *et al.* (2020) que ao trabalharem com painéis produzidos com partículas de bambu e resíduos agrícolas (bagaço de cana) em diferentes proporções (0, 25, 50, 75 e 100%) notaram um aumento significativo nos valores de IE à medida que aumentava a proporção de bagaço de cana na composição dos painéis. Essa situação foi justificada pelo aumento da taxa de compressão, decorrente da adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar, devido ao maior número de partículas sob compressão e que, expostas à umidade, liberam tensões que resultam na instabilidade dimensional.

Como não há relatos na literatura de pesquisas que envolvem a produção de painéis aglomerados com resíduos de cigarro de forma total e/ou parcial, os resultados deste estudo foram confrontados com valores obtidos em experimentos semelhantes que utilizaram madeira e diferentes proporções de resíduos, mesma densidade nominal e resina a base de UF para produção de painéis aglomerados.

Brito *et al.* (2021a) trabalharam com painéis aglomerados de madeira de *Pinus oocarpa* e casca de pistache em diferentes proporções. A densidade nominal foi $0,75\text{ g/cm}^3$. Os valores obtidos variaram entre 33,96 a 72,21% e 61,15 a 95,39% para AA2h e AA24h. Em relação ao IE2h e IE24h os valores obtidos foram de 11,04 a 13,00% e 14,79 a 22,57%, mas não houve significância entre os tratamentos. Brito *et al.* (2022) produziram painéis aglomerados com madeira de *Pinus oocarpa* e casca de amendoim em diferentes proporções. A densidade nominal adotada foi $0,75\text{ g/cm}^3$. Os autores relataram valores médios de 65,05 a 76,71% e 71,97 a 88,24% para AA2h e AA24h. Em relação ao IE em 2 e 24 horas os valores foram de 16,63 a 26,98% a 22,46 a 31,12%. Todos os valores aumentaram significativamente com a adição da casca de pistache para todas as propriedades avaliadas.

Para o ensaio de inchamento após 24 horas a NBR 14810-2 (ABNT, 2018) especifica 22% como sendo o inchamento máximo para painéis do Tipo P2, sendo assim todos dos painéis com inclusão de resíduos de cigarro atenderam a especificidade da norma.

Propriedades mecânicas e isolamento térmico dos painéis aglomerados

Na Figura 6 verifica-se a análise de regressão entre os dados do Módulo de Ruptura (MOR) em relação a inserção de quantidades percentuais de resíduos de cigarro na composição dos painéis. A regressão linear evidencia que aproximadamente 90% da variação do módulo de ruptura pode ser explicado pela inserção de resíduos de cigarro na composição dos painéis e foi significativa, ou seja, a inserção do material afetou o módulo de ruptura dos painéis. Para cada unidade (%) de resíduos de cigarro inserida na composição dos painéis, houve uma redução equivalente a 0,90% no MOR dos painéis.

Na Figura 7 verifica-se a análise de regressão entre o módulo de elasticidade e a inserção percentual de resíduos de cigarro na composição dos painéis. A regressão linear demonstra que aproximadamente 80% do módulo de elasticidade pode ser explicada pela inserção de resíduos de cigarro na composição dos painéis. A regressão entre MOE e a porcentagem de resíduos de cigarro teve um coeficiente de determinação de 0,9936 e a correlação foi significativa ao nível de 5% de probabilidade. Para cada unidade (%) de resíduos inseridos na composição dos painéis, houve uma redução equivalente a 0,3796 MPa no MOE dos painéis.

Analisando as Figuras 6 e 7 observa-se que o comportamento do MOR e do MOE foi semelhante, ou seja, houve uma redução destas propriedades com a inserção dos resíduos de cigarro. Uma hipótese que pode explicar a situação é o teor de adesivo utilizado que talvez não tenha sido suficiente para cobrir os resíduos de cigarro (maiores proporções de partículas menos densas), que resultou em pontos de fragilidade na estrutura do painel no momento da aplicação da força, comprovado pelos baixos valores de MOR e MOE.

Souza *et al.* (2023) produziram painéis com madeira de Eucalyptus e fibra de coco em diferentes proporções (0, 10, 20, 30 ou 40%). A densidade nominal estabelecida para os painéis foi 0,70g/cm³. Foi utilizada resina a base de uréia-formaldeído com teor de 9% em relação a massa seca das partículas. A adição das fibras de coco aumentou significativamente os valores do MOR e MOE que variaram entre 11,65 e 19,65 MPa e 1.154 e 2.157 MPa, respectivamente.

Faria *et al.* (2020) produziram painéis aglomerados com casca de soja (vagem) e madeira de eucalipto. Os painéis foram produzidos com densidade nominal de 0,70 g/cm³. Foram utilizadas diferentes proporções de material (0, 25, 50, 75 e 100%). O adesivo utilizado foi uréia-formaldeído com teor de 10% em relação a massa seca das partículas. Os autores obtiveram valores que variaram entre 10,20 e 20,84 MPa e 1.110 e 1.646 MPa com a inclusão dos resíduos, para o MOR e MOE, respectivamente.

A NBR 14810-2 (ABNT, 2018) estipula como requisito mínimo para o MOR o valor de 11,00 MPa e 1.800 MPa para o MOE de painéis do tipo P2. Nenhum dos tratamentos atingiu o valor mínimo do módulo de ruptura e apenas o tratamento T2 com 10% de inclusão de resíduos de cigarro atingiu o valor (2.033 MPa) acima do estipulado pela norma.

Figura 6 - Análise de regressão linear para módulo de ruptura, em função da porcentagem de resíduo de cigarro inserido na composição dos painéis

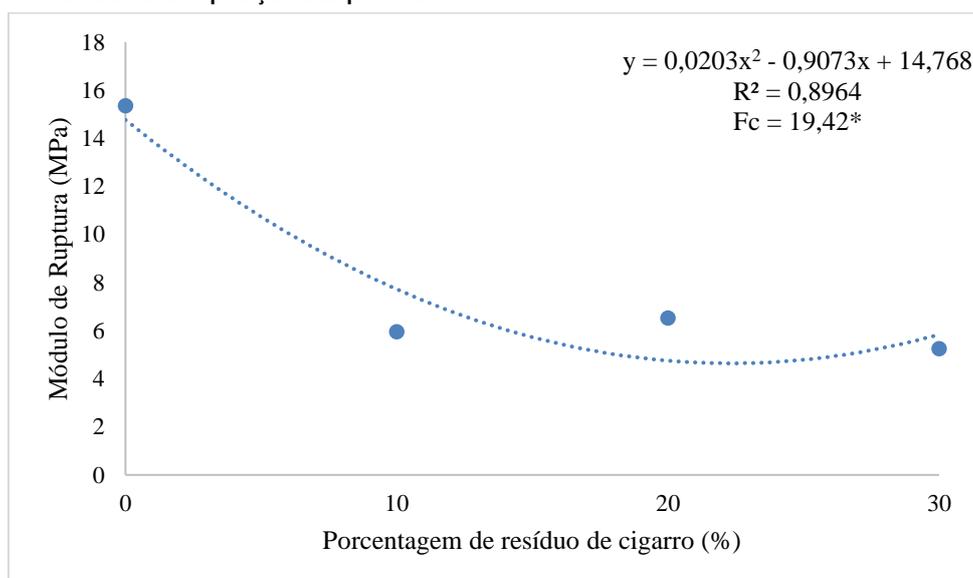
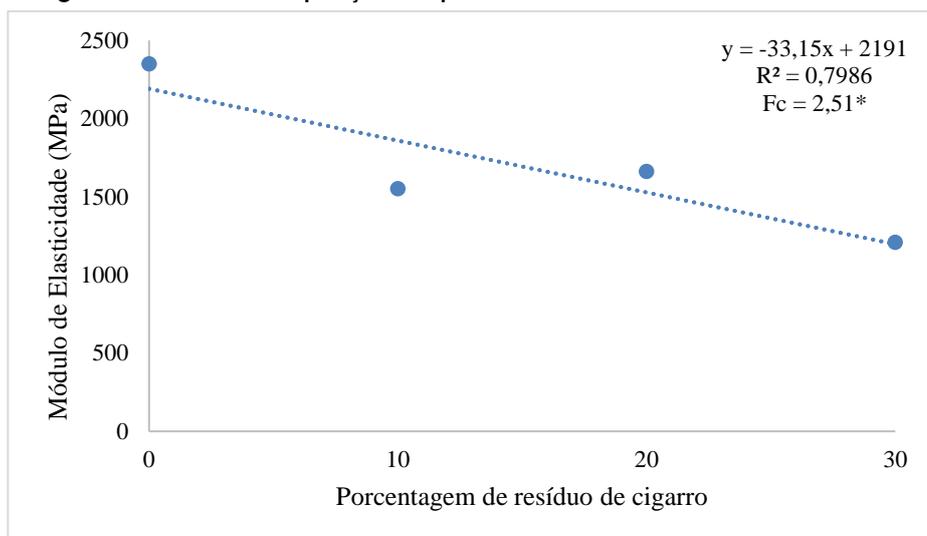


Figura 7 - Análise de regressão linear para módulo de elasticidade, em função da porcentagem de resíduo de cigarro inserido na composição dos painéis



Na Figura 8 verifica-se a análise de regressão entre a ligação interna e a inserção percentual de resíduos de cigarro na composição dos painéis. A regressão linear demonstra que 91% da Ligação Interna (LI) pode ser explicada pela inserção de resíduos. A regressão entre LI e a porcentagem de resíduos de cigarro teve um coeficiente de determinação de 0,9144 e a correlação foi significativa ao nível de 5% de probabilidade. Para cada unidade (%) de resíduos inseridos na composição dos painéis, houve uma redução equivalente a 0,0262 MPa na LI dos painéis.

Uma possível explicação para a redução da ligação interna pode estar relacionada com a composição química do cigarro que possui mais de sete mil substâncias tóxicas, que possivelmente podem inibir ou reduzir os sítios reativos para adesão, resultando nos baixos valores de ligação interna. Faria *et al.* (2020) observaram uma redução nos valores a medida em que acrescentava partículas de casca de soja (vagem) nos painéis. Os autores reportaram valores médios de 0,23 a 0,40 MPa. Souza *et al.* (2023) obtiveram valores médios de 0,12 a 0,20 MPa.

De acordo com a NBR 14810-2 (ABNT, 2018), painéis aglomerados de média densidade devem ter um mínimo valor de ligação interna tração perpendicular de 0,40 MPa, dessa forma os tratamentos T3 e T4 atenderam a especificidade da norma.

Na Figura 9 verifica-se a análise de regressão entre a condutividade térmica e a inserção percentual de resíduos de cigarro na composição dos painéis. Aproximadamente 65% da condutividade térmica podem ser explicadas pela inserção de resíduos de cigarro. A regressão teve um coeficiente de determinação de 0,6534 e a correlação foi significativa ao nível de 5% de probabilidade. Para cada unidade (%) de resíduos inseridos na composição houve a diminuição equivalente na condutividade térmica dos painéis correspondente a 0,0005 W/m.K.

A diminuição da condutividade térmica, provavelmente está relacionada com as substâncias presentes no cigarro, que tem por objetivo atrasar o seu processo de combustão. Analisando-se os resultados da Figura 9, é possível observar que os painéis possuem característica de material isolante térmico, uma vez que, apresentam condutividade térmica inferior a 2W/m.K, conforme indicado pela NBR 15220 (ABNT, 2005). Sendo assim, torna-se interessante a aplicação destes painéis como isolantes térmicos.

Conclusões

O acréscimo de partículas de cigarro nos painéis aumentou significativamente a taxa de absorção de água. Todos os painéis atenderam a exigência da norma, em relação ao Inchamento em Espessura em 24 horas. Os painéis produzidos e avaliados não atenderam ao valor mínimo especificado pela norma utilizada para o inchamento em espessura.

Figura 8 - Análise de regressão linear para ligação interna em função da porcentagem de resíduos de cigarro inserida na composição dos painéis

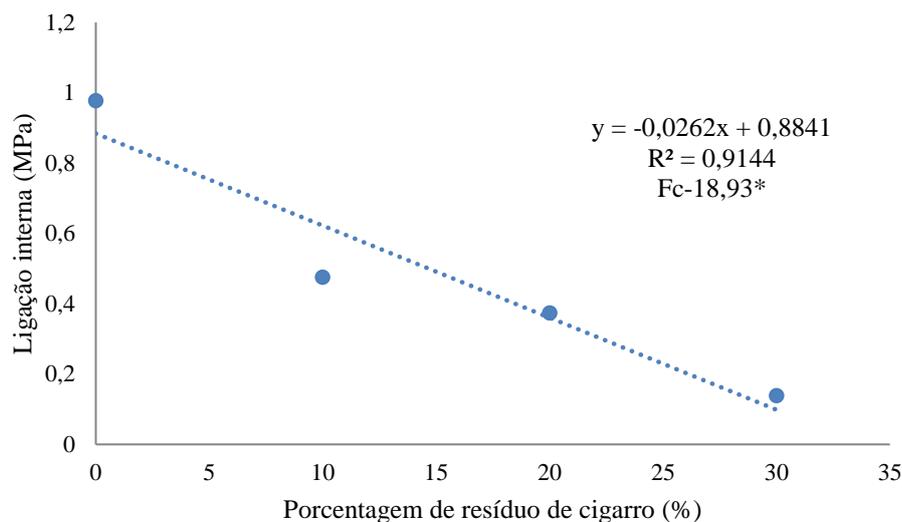
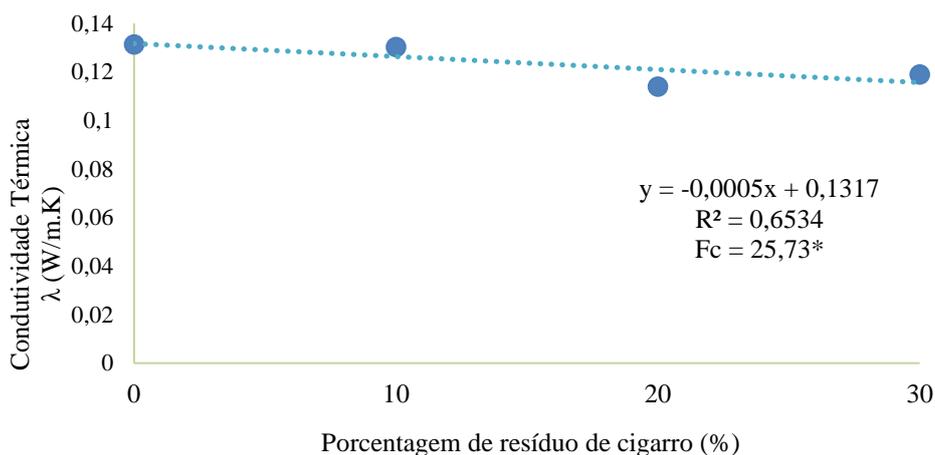


Figura 9 - Análise de regressão linear para condutividade térmica em função da porcentagem de resíduos de cigarro inserida na composição dos painéis



Todas as propriedades mecânicas avaliadas evidenciaram redução nos valores com a adição das partículas de resíduos de cigarro na composição dos painéis. Os valores obtidos para o módulo de ruptura e de elasticidade não foram suficientes para atender ao mínimo especificado pela norma utilizada. Em relação a ligação interna, os painéis dos tratamentos T3 e T4 apresentaram desempenho satisfatório em relação ao valor mínimo especificado pela norma.

Para a condutividade térmica, todos os painéis alcançaram o valor mínimo indicado na norma referenciada, tornando-se interessante a aplicação destes painéis como isolantes térmicos. Apesar dos painéis terem demonstrado boa estabilidade dimensional, recomendam-se ajustes no processo de produção em escala laboratorial visando melhorias nas propriedades mecânicas, como tratamento das partículas de cigarro, aumento no teor de adesivo e inclusão de uma nova espécie na composição dos painéis.

Referências

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **D-1037**: standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle materials. Philadelphia, 1982.

- ARANTES, L. D. S. *et al.* Avaliação de painéis sanduíche produzidos com núcleo de caixas de ovos e lâminas de paricá. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 23, n. 2, p. 121-130, abr./jun. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-1**: painéis de partículas de média densidade: parte 1: terminologia. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2**: painéis de partículas de média densidade: parte 2: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 13999**: papel, cartão, pastas celulósicas e madeira: determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525 °C. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 14853**: madeira: determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona. Rio de Janeiro, 2010b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7989**: pasta celulósica e madeira: determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro. 2010a.
- ASTARI, L. *et al.* Characteristics of particleboards made from agricultural wastes. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 359, 012014, 2019.
- BAIRD, C.; CANN, M. **Química ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2011.
- BAZZETTO, J. T. L. *et al.* Effect of particle size on bamboo particle board properties. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 2, e20172105, 2019.
- 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, e29511225762, 2022.
- BRASIL. Secretaria da Receita Federal. **Receita Federal registra recorde histórico na destruição de cigarros apreendidos**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/receitafederal/ptbr/assuntos/noticias/2022/janeiro/receita-federal-registra-recorde-historico-na-destruicao-de-cigarros-apreendidos>. Acesso em: 17 abr. 2023.
- BRITO, F. M. S. *et al.* Technological characterization of particleboards constituted with pistachio shell (*Pistacia vera*) and *Pinus oocarpa* wood. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 16, n. 2, e8902, 2021a.
- BRITO, F. M. S. *et al.* Properties of particleboards made from sugarcane bagasse particles. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 16, n. 1, e8783, 2021b.
- BRITO, F. M. S. *et al.* Technological characterization of particleboards made with sugarcane bagasse and bamboo culm particles. **Construction and Building Materials**, v. 262, 120501, 2020.
- BRITO, F. M. S. *et al.* Technological properties of medium density particleboards produced with peanut (*Arachis Hypogaea*) and *Pinus Oocarpa* hulls. **Floresta e Ambiente**, v. 29, n. 2, e20210101, 2022.
- CSANÁDY, E. *et al.* **Quality of machined wood surfaces**. Switzerland: Springer, 2015.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG: **DIN 52362**: testing of wood chipboards bending test, determination of bending strength. Berlin, 1982.
- FARIA, D. L. *et al.* Technological properties of medium density particleboard produced with soybean pod husk and Eucalyptus wood. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 126, e3070, 2020.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAOSTAT. **Forestry production and trade**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>. Acesso em: 15 maio 2023.
- FURTINI, A. C. A. *et al.* Substitution of urea-formaldehyde by renewable phenolic compound for environmentally appropriate production of particleboards. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, p. 66562-66577, 2022.
- FURTINI, A. C. A. *et al.* Using miriti petiole to produce particleboards. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 23, n. 2, p. 149-162, 2023.
- GUIMARÃES JUNIOR, J. B. *et al.* Inclusão de resíduo da cultura de sorgo em painéis aglomerados de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 435-442, 2016.

- GUIMARÃES, I. L. *et al.* Aproveitamento do casquilho de soja para a produção de painéis aglomerados convencionais de baixa densidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, p. 1-6, 2019.
- IWAKIRI, S. *et al.* Painéis aglomerados produzidos com seis espécies de madeira tropicais da Amazônia. **Maderas y Bosques**, v. 24, n. 3, e243371, 2018.
- IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira**. Curitiba: FUPEF, 2005.
- LEE, S. H. *et al.* Particleboard from agricultural biomass and recycled wood waste: a review. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 20, p. 4630-4658, 2022.
- MACHADO, N. A. F. *et al.* Painéis aglomerados fabricados com resíduos do coco babaçu. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 2, p. 202-209, 2017.
- MALONEY, T. M. *Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing*. Sao Francisco: Miller Freeman Publication, 1993.
- MARRA, A. A. **Technology of wood bonding: principles and practice**. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1992.
- MARTINS, E. H. *et al.* Soybean waste in particleboard production. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 2, p. 186-194, 2018.
- MENDES, R. F. *et al.* Study of new reinforcing materials for cementitious panel production. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 37217-37230, 2021.
- MORAIS, E. A. H. *et al.* Fatores individuais e contextuais associados ao tabagismo em adultos jovens brasileiros. **Revista Ciência & Saúde Coletiva**, v. 27, n. 6, 2022.
- MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. London: Southern Illinois University Press, 1974.
- MUÑIZ, G. I. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. E *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1993. 236 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.
- OLIVEIRA, M. R. R. *et al.* Physical-mechanical properties of panels produced with corn cob particles and different types and contents of adhesives. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, e541101119828, 2021.
- OWODUNNI, A. A. *et al.* Adhesive application on particleboard from natural fibers: a review. **Polymer Composites**, v. 41, p. 4448-4460, 2020.
- SANDRIN, C. F. **Drogas: imputabilidade e dependência**. São Paulo: Associação Paulista do Ministério Público, 1994.
- SANTOS, C. A. *et al.* Utilização da madeira de *Pinus oocarpa* e *Coffea arábica* para a produção de painéis de partículas orientadas (OSB). **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, e40611326795, 2022.
- SOUZA, M. J. C. *et al.* Eco-friendly particleboard production from coconut waste valorization. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, p. 15241-15252, 2023.
- SWEET, M. S.; WINANDY, J. E. Influence of degree of polymerization of cellulose and hemicellulose on strength loss in fire – retardant - treated southern pine. **Holzforschung**, v. 53, p. 311-317, 1999.
- TASCIOGLU, C. *et al.* Seventh-year-durability evaluation of zinc borate incorporated wood-plastic composites and particleboard. **Composites Part B: Engineering**, v. 137, p. 123-128, 2018.
- VELOSO, M. C. R. A. *et al.* Low-density particleboard properties produced with jupati particles and eucalyptus wood. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, p. 1-8, 2020.
- YE, X. P. *et al.* Properties of medium density fiberboards made from renewable biomass. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 5, p. 1077-1084, 2007.

Flávia Maria Silva Brito

Conceitualização, Análise de dados, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição.

Departamento de Ciências Florestais e da Madeira | Universidade Federal do Espírito Santo | Av. Governador Lindemberg, 316, Centro | Jerônimo Monteiro - ES - Brasil | CEP 29550-000 | Tel.: (77) 98101-7449 | E-mail: faengflorestal@gmail.com

Ana Carolina Corrêa Furtini

Conceitualização, Metodologia, Pesquisa.

Departamento de Ciências Florestais | Universidade Federal de Lavras | Trevo Rotatório Professor Edmir Sá Santos, s/n | Caixa Postal 3037 | Lavras -MG - Brasil | CEP 37203-202 | Tel.: (35) 99117-5440 | E-mail: carol.furtini@gmail.com

Carolina Aparecida dos Santos

Conceitualização, Metodologia, Pesquisa.

Departamento de Ciências Florestais | Universidade Federal de Lavras | Tel.: (35) 99982-2652 | E-mail: carolina.santos3@estudante.ufla.br

Maria Margarida Gonçalves

Conceitualização, Metodologia, Supervisão.

Faculdade de Ciências e Tecnologia | Universidade NOVA de Lisboa | Campus da Caparica | Caparica - Portugal | 2829-516 | Tel.: +(351) 212-948-300 | E-mail: mmpg@fct.unl.pt

Lourival Marin Mendes

Conceitualização, Metodologia, Análise de dados, Supervisão, Redação - revisão e edição.

Departamento de Ciências Florestais | Universidade Federal de Lavras | Tel.: (35) 99135-0200 | E-mail: lourival@ufla.br

José Benedito Guimarães Júnior

Conceitualização, Metodologia, Análise de dados, Supervisão, Redação - revisão e edição.

Departamento de Ciências Florestais | Universidade Federal de Lavras | Tel.: (35) 99209-4404 | E-mail: jose.guimaraes@ufla.br

Editores: **Marcelo Henrique Farias de Medeiros e Julio Molina**

Ambiente Construído

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.