

ARTIGO RECEBIDO: 14/12/2023 – APROVADO: 22/03/2024 - PUBLICADO: 22/04/2024

LIGNINA COMO AGENTE DE REFORÇO EM PAINÉIS PRODUZIDOS COM *Eucalyptus* E CASCA DE *Caryocar brasiliense* (PEQUI)

*LIGNIN AS A REINFORCEMENT AGENT IN PANELS MADE WITH *Eucalyptus* AND *Caryocar brasiliense* (PEQUI) PEEL*

*LIGNINA COMO AGENTE DE REFUERZO EN PANELES FABRICADOS CON *Eucalyptus* Y CÁSCARA DE *Caryocar brasiliense* (PEQUI)*

*Guilherme Henrique Carvalho Vieira*¹; Thatiele Pereira Eufrazio de Moraes¹; Karolayne Ferreira Saraiva²; Raquel Marchesan^{1,2}*

¹ Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, Tocantins, Brasil.

² Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, Tocantins, Brasil.

*Correspondência: gcarvalhovieira@gmail.com

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a influência da casca do pequi em painéis aglomerados de *Eucalyptus*, usando acetato de polivinila (PVA) como adesivo, lignina e parafina como aditivos. O objetivo foi reforçar a resistência e higroscopicidade dos painéis, visando reaproveitar os resíduos da colheita do pequi. Os painéis foram produzidos com 50% de casca de pequi, 50% de madeira de *Eucalyptus* e 300g de adesivo PVA. Foram testados três tratamentos: sem aditivos, com lignina e com parafina. Testes para propriedades físicas e mecânicas foram realizados, incluindo densidade, inchamento, absorção, resistência mecânica e isolamento acústico. Os resultados indicaram que a lignina foi o aditivo mais eficaz, demonstrando um alto potencial na produção dos painéis aglomerados com casca de pequi.

Palavras-chave: Pequi. Painéis aglomerados. Lignina.

ABSTRACT

The overarching goal of this research was to assess the impact of adding *Caryocar brasiliense* fruit peel, known as pequi, to *Eucalyptus* particleboard using polyvinyl acetate (PVA) adhesive reinforced with lignin and paraffin. This aimed to enhance the strength and hygroscopicity of the panels, focusing on reusing waste generated during pequi harvesting. Panels comprised 50% pequi peel, 50% *Eucalyptus* wood particles, and 300g PVA adhesive. Three treatments were tested: without additives, with lignin, and with paraffin. Tests for physical and mechanical properties encompassed density, swelling, absorption, mechanical resistance, and sound insulation. Results highlighted lignin as the most effective additive, showcasing considerable potential in manufacturing particleboards with pequi peel.

Keywords: Pequi. Particleboards. Lignin.

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar el efecto de agregar la cáscara del fruto de *Caryocar brasiliense*, conocido como pequi, en tableros de partículas de *Eucalyptus* utilizando adhesivo de acetato de polivinilo (PVA) reforzado con lignina y parafina. El propósito era aumentar la resistencia y la higroscopicidad de los paneles, centrándose en el reutilizo de residuos generados en la cosecha del pequi. Los paneles se conformaron con 50% de cáscara de pequi, 50% de partículas de madera de *Eucalyptus* y 300 g de adhesivo PVA. Se probaron tres tratamientos: sin aditivos, con lignina y con parafina. Las pruebas para propiedades físicas y mecánicas incluyeron densidad, hinchamiento, absorción, resistencia mecánica y aislamiento acústico. Los resultados resaltaron que la lignina fue el aditivo más efectivo, mostrando un potencial considerable en la fabricación de tableros de partículas con cáscara de pequi.

Descriptor: Pequi. Tableros de partículas. Lignina.

INTRODUÇÃO

O pequi, árvore que floresce no vasto cerrado brasileiro, ostenta uma importância substancial na cultura e gastronomia regionais. Além de ser apreciado pelo seu valor culinário, seus frutos exibem cascas ricas em nutrientes e antioxidantes, apresentando um amplo leque de aplicações. O pequi prospera em climas quentes, comumente encontrado nas regiões norte e centro-oeste do composto por aproximadamente 76,7% de casca, 21,6% de semente e 1,7% de polpa (Monteiro et al., 2015).

Como as cascas e as sementes não são consumidas, acabam sendo descartadas em grandes quantidades nos centros urbanos ou rurais, causando um passivo ambiental, embora seja um material orgânico. A utilização destes resíduos na produção dos painéis aglomerados a base de *Eucalyptus*, é uma alternativa de grande relevância diante do baixo custo e da possibilidade de reaproveitamento destes resíduos, criando-se uma possibilidade de agregar valor econômico e sustentável ao produto final.

O mercado de painéis de madeira aglomerada tem experimentado um crescimento notável, em grande parte impulsionado pela crescente demanda por materiais de construção e decoração mais ecologicamente sustentáveis. Diante dos desafios contemporâneos ligados à sustentabilidade, a indústria tem constantemente buscado inovações e tecnologias que permitam a utilização de resíduos de madeira e outros materiais alternativos como fontes de matéria-prima. Ademais, busca-se desenvolver processos mais eficientes e menos prejudiciais ao meio ambiente. Tais esforços não apenas atendem às necessidades do mercado, mas também contribuem para a preservação ambiental e a sustentabilidade de longo prazo da indústria.

Uma das estratégias de reaproveitamento da casca de pequi reside na sua utilização como matéria-prima na fabricação de painéis de madeira. Essa abordagem visa a valorização desse resíduo, simultaneamente reduzindo a quantidade de resíduos descartados na natureza e impactando positivamente as comunidades ligadas ao cultivo do pequi.

Ao se buscar tecnologias acessíveis para que as pessoas e comunidades de baixa renda possam produzir painéis aglomerados, uma alternativa viável é a utilização de resíduos agroflorestais, juntamente com um adesivo termoplástico, o PVA, por ter um menor custo, além de ser menos poluente ao meio ambiente (Ferreira, 2011). A acessibilidade a este tipo de produção pode ainda ser maior, se for utilizada uma prensa a frio, que pode ser encontrada a preços acessíveis ou pode ser confeccionada pelo próprio produtor de painéis.

A análise das propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos com a adição da casca de pequi assume uma importância crucial na pesquisa, pois pode elucidar os benefícios e desafios dessa prática. Os painéis aglomerados resultantes da combinação de casca de pequi com madeira de eucalipto podem apresentar propriedades mecânicas e físicas distintas em relação aos painéis de madeira tradicionais, adicionando valor ao produto final e aproveitando o que, geralmente, é tratado como resíduo.

A utilização da madeira de *Eucalyptus* na fabricação de painéis aglomerados enfrenta desafios relacionados à colagem deficiente e absorção excessiva de água (Haselein, 1989, Moraes et al., 2024). Além disso, Naumann et al. (2008) destacam a baixa compactação do colchão devido à sua densidade, o que afeta as propriedades tecnológicas finais dos painéis. Entretanto, pesquisas recentes têm demonstrado que é viável produzir painéis aglomerados combinando madeira de *Eucalyptus* com outros biomateriais.

No que concerne à lignina, Deus et al. (2022), em seu trabalho intitulado "Lignina: uma tecnologia química significativa da madeira", realizaram uma revisão abrangente da literatura abordando os trabalhos existentes e os potenciais usos da lignina em uma variedade de processos industriais. O potencial intrínseco da lignina em diversos setores já é objeto de estudo extensivo, uma vez que sua utilidade, alinhada com a atual demanda por produtos e tecnologias renováveis, é bem reconhecida.

Ainda sobre a lignina, foi constatado em pesquisa que o aproveitamento de resíduos e de produtos agroindustriais, a geração de uma nova cadeia de valor além do elevado potencial econômico são as principais destinações que especialistas veem na lignina para agregar valor a esse resíduo da indústria de papel e celulose (Braga et al., 2023).

As propriedades da madeira, tais como densidade, módulo de elasticidade, resistência, teor de umidade, entre outras, estão intrinsecamente associadas à presença da lignina. Em consonância com o potencial deste material e os desafios contemporâneos relacionados à sustentabilidade, que instigam a busca por novas soluções, a aplicação da lignina como reforço em painéis aglomerados emerge como uma via promissora para a utilização sustentável desse recurso, combinando-o com resíduos agroindustriais, a fim de criar produtos de maior valor agregado.

Portanto, é fundamental examinar o aproveitamento da casca de pequi na indústria madeireira, avaliando seu impacto na produção de painéis e seu potencial para gerar benefícios socioeconômicos para as comunidades locais. Este estudo se propõe a analisar os efeitos da incorporação da casca do fruto da *Caryocar brasiliense* (pequi), visando a compreender as propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos com esta adição e reforçados com lignina como matéria-prima na fabricação de painéis de madeira de eucalipto.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na Universidade Federal do Tocantins, Campus Gurupi, no Laboratório de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais I. Para a produção das partículas de madeira foram colhidas árvores de *Eucalyptus* com 13 anos de idade na fazenda experimental localizada no Campus de Gurupi da Universidade Federal do Tocantins. As árvores foram processadas e transformadas em maravalhas que após secas em temperatura ambiente por período de um mês foram moídas para a obtenção das partículas por meio do peneiramento e separadas em três categorias de granulometria. Sendo as maiores retidas na malha de 16 mesh após o processo de moagem e as outras retidas nas malhas de 40 mesh e 60 mesh.

Para a produção das partículas das cascas do fruto da espécie *Caryocar brasiliense* (pequi), as cascas foram coletadas na feira do agricultor no município de Gurupi, estado do Tocantins na época da colheita do fruto. As cascas do pequi, passaram por um processo de seleção e limpeza onde todos os caroços foram retirados para evitar contaminação com os espinhos. Após, as cascas foram para a estufa solar para a secagem por um mês e por fim moídas, peneiradas e selecionadas em três categorias de granulometria da mesma maneira que as partículas de madeira.

Por último, o adesivo PVA da marca TEK BOND Saint-Gobain (Figura 1) foi adquirido em um estabelecimento comercial local. A escolha desse adesivo PVA foi motivada pelo seu uso na indústria moveleira e de painéis, além da sua composição à base de água, que apresenta diversas vantagens, tais como facilidade e segurança no manuseio, também é inodoro e não inflamável. Adicionalmente, esses adesivos possuem um custo reduzido em comparação com outras resinas comerciais, secam rapidamente em condições apropriadas, são de fácil limpeza e mantêm uma boa estabilidade durante o armazenamento (Ferreira, 2012).

Figura 1 - Adesivo PVA utilizado na produção dos painéis.



Fonte: o autor (2023).

Para o reforço do adesivo, foi proposta a adição de lignina para posterior análise e verificação do potencial desse material na resistência dos painéis produzidos e diminuição da higroscopicidade. A lignina possui um grande potencial para uso industrial que não é aproveitado adequadamente, pois quase toda a lignina gerada no processo de produção da celulose é queimada para a geração de energia (Kleinert; Barth, 2008).

Foram produzidos também painéis reforçados com parafina, um aditivo amplamente conhecido na indústria de painéis a fim de testar se a sua adição poderia melhorar as propriedades dos painéis produzidos neste estudo. A escolha da parafina se deu pois ela é reconhecida por possuir propriedade hidrofóbica. A parafina tem o potencial de melhoria nas propriedades físicas como teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura dos painéis (Ferreira, 2020).

Mendes e Marchesan (2022) em trabalho desenvolvido no Laboratório de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais I do Campus de Gurupi da Universidade Federal do Tocantins testaram diversas proporções para a produção de painéis com a casca de pequi e a proporção utilizada neste trabalho foi escolhida de acordo com os resultados encontrados. A proporção de 50% de madeira de *Eucalyptus spp.*, mais 50% da casca de pequi processada foi a que obteve os melhores resultados. Dessa forma, todos os painéis produzidos respeitaram a quantidade de 600g de partículas adicionadas a 300g de adesivo PVA mais os aditivos testados. Desse modo, o delineamento experimental para a produção dos painéis é apresentado no quadro 1.

Quadro 1 - Delineamento experimental do estudo.

Qtd. Painéis	Madeira (g)	Pequi (g)	PVA (g)	Lignina	Parafina
T1 - 6	300	300	300		
T2 - 6	300	300	300	x	
T3 - 6	300	300	300		x

Fonte: o autor (2023).

Em resumo, foram produzidos 18 painéis divididos em 3 grupos. O denominado T1 que foi confeccionado com 300g de madeira em 16 mesh, 300g de casca de pequi processada em 16 mesh e 300g de adesivo PVA. O grupo denominado T2 produzido com 300g de madeira em 16 mesh, 300g de casca de pequi processada em 16 mesh e 300g de adesivo reforçados com 2% (6g) de lignina. E por último o grupo T3 que foi produzido com 300g de madeira em 16 mesh, 300g de casca de pequi processada em 16 mesh, 300g de adesivo mais 2% da massa total do painel (12g) de parafina como aditivo. Na figura 2 é possível observar o processo produtivo dos painéis de madeira e casca de pequi.

Figura 2 – Processo de produção dos painéis. Da esquerda para direita, de cima para baixo: obtenção da madeira, maravalhas secas a temperatura ambiente, processamento das maravalhas, secagem das cascas de pequi em estufa solar, cascas de pequi secas, materiais utilizados para produção dos painéis aglomerados, mistura dos materiais para a produção dos painéis, prensagem dos painéis em prensa hidráulica, painéis produzidos



Fonte: o autor (2023).

Com as proporções dos materiais para a confecção dos painéis devidamente separadas, a fabricação foi iniciada misturando as proporções em um recipiente até se constatar que o adesivo de PVA foi totalmente disperso pelas partículas. Após a mistura os materiais foram colocados no molde de madeira de tamanho 35 x 30 x 15 cm e acomodados na prensa sob pressão de 6 Kgf/cm² por dez minutos para a pré-prensagem. Após, foram retirados da forma e retornaram para a prensa sob pressão de 6 Kgf/cm² por 24 horas. Essa pressão exercida nos painéis os define como painéis de baixa densidade.

Todos os painéis foram produzidos respeitando os procedimentos e proporções descritas, com o auxílio de uma balança semi-analítica para a determinação dos pesos dos materiais a serem usados na produção de cada painel. Após finalizar a produção dos painéis, foram produzidos corpos de prova para a determinação das propriedades físicas (Teor de umidade, densidade aparente, inchamento, absorção e

isolamento acústico) (Figura 3) e das propriedades mecânicas (resistência à tração) (Figura 4) de acordo com a norma NBR 14810-2 (ABNT, 2018).

Figura 3 - Testes de absorção e inchamento dos painéis.



Fonte: o autor (2023).

Figura 4 - Teste de resistência a tração.



Fonte: o autor. (2023)

A fim de produzir dados mais precisos aos usos desses materiais também foi realizado um teste de isolamento acústico. Pequenas caixas foram produzidas com os painéis nas dimensões 15cm x 10cm x 7cm sendo que a espessura desses painéis são de 1cm. Nessas caixas foi colocado um celular Samsung S20 FE emitindo ruído rosa. Utilizando um dosímetro de ruído modelo DOS-600 foi medido o efeito sonoro em decibéis que o celular emitia dentro da caixa fechada e aberta (Figura 5). Vale ressaltar que uma caixa de isopor com as mesmas dimensões foi produzida para fins comparativos do potencial de isolamento acústico dos painéis produzidos.

Figura 5 - Imagens do processo do teste de isolamento acústico.



Fonte: o autor (2023).

A análise estatística dos dados foi realizada em DIC simples para os parâmetros analisados entre os tratamentos dos painéis a base de madeira e casca de pequi e em DIC fatorial para o parâmetro isolamento acústicos dos painéis a base de madeira e pequi em comparação com o isopor e em simulação de ambiente fechado e aberto, sendo um fatorial 4 x 2 (quatro tipos de painéis e dois tipos de ambientes). Primeiramente foi analisada a normalidades dos dados e, após constatar a normalidade, foi realizada a análise de variância (ANOVA). Comprovada a existência de diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, foi realizado o teste de média de Tukey. Para correlacionar os parâmetros analisados foi aplicado o teste de correlação de Pearson e para elencar os componentes principais dos tratamentos foi aplicada a Análise dos Componentes Principais (PCA). Os programas utilizados para a realização das análises foram o Excel versão 2010, Sisvar e PAST 4.13.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os dados pertinentes ao adesivo de acetato de polivinila (PVA). Dentre as características do adesivo, destaca-se a concentração média do teor de sólidos, que registra um valor de 28,36 %. Esta concentração é considerada abaixo dos padrões à faixa de 55% a 65% identificada por Ferreira et al. (2012) em seu estudo sobre o adesivo PVA. A relevância desta característica reside na sua capacidade de influenciar a quantidade de adesivo que efetivamente permanece no processo de colagem

Tabela 1 - Propriedades do adesivo PVA utilizado na confecção dos painéis.

Propriedades do adesivo	
Teor de sólidos (%)	28,36
Viscosidade (segundos)	> 300
pH	6,68

Fonte: o autor (2023).

O pH do adesivo PVA é medido em 6,68, o que se situa dentro da faixa de pH esperada de 2,5 a 11. Quanto à viscosidade, Bianche et al. (2017) argumentam que uma baixa viscosidade proporciona

uma maior facilidade de dispersão sobre a superfície da madeira, indicando maior fluidez que favorece a penetração e a absorção do adesivo pelas partículas. Conforme a norma NBR 9223 (ABNT, 2016) para o ensaio de viscosidade, o intervalo aceitável para o tempo de escoamento do líquido é de 30 a 60 segundos.

No contexto deste estudo, é relevante notar que o valor obtido para o tempo de escoamento do adesivo PVA excede significativamente o limite superior estabelecido, com um valor superior a 300 segundos. Esse resultado indica claramente que o adesivo em questão exibe uma alta viscosidade, caracterizada por uma baixa fluidez. Essa alta viscosidade contribui para uma maior dificuldade no processo de espalhamento, resultando em um tempo prolongado para a aplicação do adesivo.

Na tabela 2 são apresentados os valores médios de absorção em 2 horas, absorção em 24 horas, inchamento em 2 horas, inchamento em 24 horas, teor de umidade, densidade aparente, resistência à tração e isolamento acústico dos painéis de baixa densidade. Esses dados demonstram de forma abrangentes uma visão completa das propriedades dos painéis aglomerados produzidos neste estudo.

Tabela 2 - Médias das propriedades físicas e de resistência dos painéis de baixa densidade a base de Eucalyptus e casca do fruto de pequi.

Tratamentos	ABS 2h (%)	ABS 24h (%)	INCH 2h (%)	INCH 24h (%)	TU (%)	Da (g/cm ³)	fT (MPa)	Isol. acústico (dB)
<i>Eucalyptus</i> + Adesivo + Pequi	135,73 a (4,72)	154,85 a (7,12)	40,50 a (8,41)	84,48 a (4,93)	9,54 a (1,75)	0,23 c (1,17)	0,40 c (1,79)	73,72 a (0,09)
<i>Eucalyptus</i> + Adesivo + Pequi + Parafina	120,69 b (4,71)	148,49 b (5,82)	35,16 b (4,65)	80,51 b (7,61)	9,82 a (1,92)	0,29 b (1,05)	0,46 b (2,98)	69,56 b (0,15)
<i>Eucalyptus</i> + Adesivo + Pequi + lignina	106,81 c (9,82)	142,56 c (8,39)	33,58 b (9,17)	72,49 c (9,65)	9,59 a (0,83)	0,31 a (0,89)	0,53 a (17,02)	69,98 b (0,14)
Pr>Fc	*	*	*	*	ns	*	*	*

Nota: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente (Teste de Tukey – $P \geq 0,05$). Os valores entre parêntesis correspondem ao coeficiente de variação (%). *Houve diferença significativa na ANOVA. ns não houve diferença significativa na ANOVA. ABS: Absorção; INCH: inchamento; TU: teor de umidade; Da: densidade aparente; fT: Resistência à tração; Isol. acústico: Isolamento acústico. Fonte: o autor (2023).

Como demonstrado por Mendes e Marchesan (2022), a casca do fruto do pequi pode ocasionar um aumento nos valores aferidos nos testes de inchamento e absorção devido a grande quantidade de carboidratos presentes na sua composição, o que facilita a absorção da água e conseqüentemente o in-

chamento dos painéis. Nota-se que, com o uso dos aditivos lignina e parafina, essas propriedades apresentaram resultados positivos com diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos. Para esses dois parâmetros é possível verificar o potencial da lignina como aditivo na produção dos painéis aglomerados, apesar da parafina também proporcionar uma melhora dos painéis produzidos, a lignina demonstrou potencial nos testes de absorção e inchamento sendo um material renovável, diferentemente da parafina que é um subproduto do petróleo.

Quanto ao teor de umidade, Wu (1999) relata que quanto maior a taxa de umidade, menor a resistência mecânica do painel. Quando o adesivo é a base d'água, como o utilizado neste estudo, o alto teor de umidade pode afetar as ligações enfraquecendo a linha de cola. Não houve diferença estatística em nenhum dos três tratamentos, ou seja, a adição dos aditivos lignina e parafina não influenciaram no teor de umidade dos painéis produzidos.

Já, a densidade aparente dos painéis produzidos é considerada baixa, de acordo com Iwakiri (2005), pois os valores médios estão inferiores a $0,59 \text{ g/cm}^3$. Minini et al. (2017), em um estudo sobre a produção de painéis a partir de resíduos de madeira de eucalipto, também observaram valores de densidade aparente consideravelmente baixos. Uma das razões que podem ter impactado a taxa de compactação dos painéis é a ausência de uma pressão de 40 Kg/cm^2 , devido às limitações de carga da prensa, o que resultou diretamente na reduzida compactação dos painéis.

Apesar de todos os painéis estarem classificados como de baixa densidade nota-se que houve diferença estatística significativa ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos quanto a densidade aparente. Nota-se que a lignina apresenta potencial para aumentar a densidade aparente dos painéis, o que implica em melhorias visíveis nas demais propriedades, principalmente a de resistência à tração dos painéis, considerada a de maior importância quando se trata da utilização destes biocompósitos na produção de móveis e pisos.

Na tabela 3 é possível observar a análise fatorial do isolamento acústico para os diferentes tratamentos dos painéis a base de madeira e pequi, em comparação também com o isopor (material usualmente utilizado em isolamento), além de verificar a influência do ambiente aberto e fechado no isolamento e dispersão do som.

Tabela 3 - Análise fatorial do isolamento acústico dos painéis de baixa densidade a base de Eucalyptus e casca do fruto de pequi em comparação com o isopor em ambientes aberto e fechado.

Isolamento acústico da caixa	Isopor	<i>Eucalyptus</i> + Adesivo + Pequi	<i>Eucalyptus</i> + Adesivo + Pequi + Parafina	<i>Eucalyptus</i> + Adesivo + Pequi + lignina	Pr>Fc da interação
Aberta (dB)	81,30 aA (0,14)	76,22 bA (0,19)	76,05 bA (0,21)	74,92 cA (0,17)	*
Fechada (dB)	81,03 aA (0,21)	73,72 bB (0,09)	69,56 cB (0,15)	69,98 cB (0,14)	*

Nota: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente (Teste de Tukey – $P \geq 0,05$). Os valores entre parêntesis correspondem ao coeficiente de variação (%). *Houve diferença significativa na ANOVA. dB: decibéis. Fonte: o autor (2023).

No que concerne ao ensaio de isolamento acústico, verifica-se uma distinção significativa entre os tratamentos com o incremento de aditivos, notadamente a lignina. É possível observar que houve também interação entre os fatores, ou seja, o tipo de material influenciou no comportamento acústico do ambiente aberto ou fechado. Mesmo durante o ensaio com a caixa aberta, o painel contendo lignina demonstrou um desempenho superior em relação a todos os outros tratamentos. Ademais, é possível identificar uma correlação positiva entre o aumento da densidade aparente dos painéis fabricados e a melhora das médias de isolamento dos tratamentos. De acordo com Santos et al. (2011), a quantidade, o tipo e a densidade do material são fatores que exercem uma influência direta sobre o desempenho do isolamento acústico. A incorporação dos aditivos nos painéis aglomerados, em especial a lignina, resultou em um aumento da densidade aparente, contribuindo, portanto, de maneira significativa para a melhora da qualidade do isolamento acústico aferido.

Na tabela 4 pode-se observar a análise de correlação de Pearson para todos os testes realizados nos três tratamentos em questão. Nesta tabela são apresentados os coeficientes que determinam o grau de correlação entre os parâmetros analisados e se esses se correlacionam de forma diretamente proporcional ou inversamente proporcional.

Tabela 4 - Correlação de Pearson entre as propriedades físicas e de resistência dos painéis de baixa densidade a base de Eucalyptus e casca do fruto de pequi.

Parâmetros	ABS 24h (%)	INCH 24h (%)	Da (g/cm ³)	f _c (MPa)	Isolamento acústico (dB)
ABS 24h (%)	1				
INCH 24h (%)	0,34	1			
Da (g/cm ³)	0,27	0,65	1		
f _t (MPa)	0,23	0,48	0,21	1	
Isolamento Acústico (dB)	0,40	0,50	0,57	0,004	1

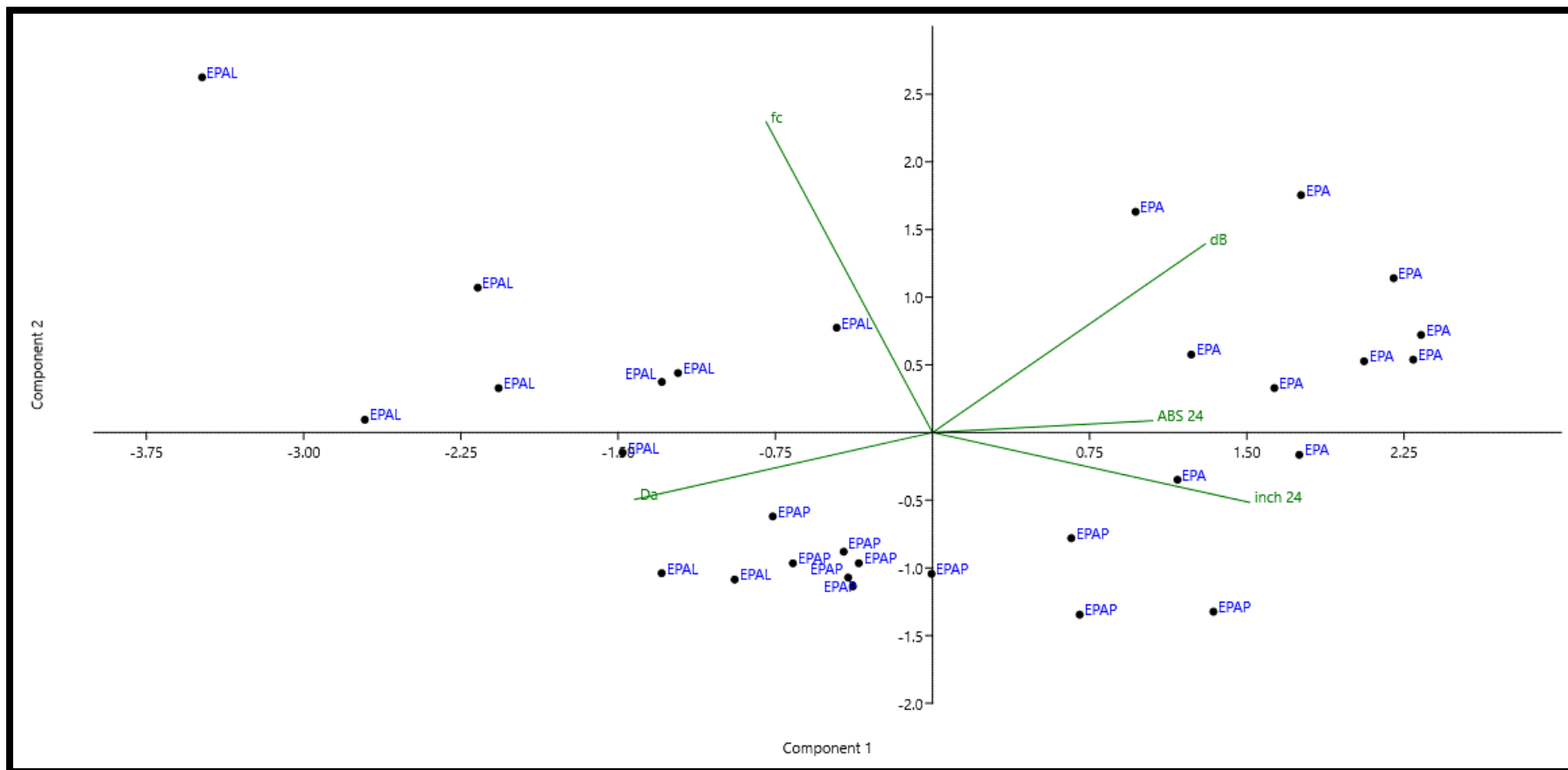
Fonte: o autor (2023).

O maior destaque de correlação encontra-se entre o isolamento acústico e a densidade aparente, neste caso sendo inversamente proporcional, ou seja, quanto maior a densidade aparente dos painéis,

melhor o seu isolamento acústico. Adicionalmente, são observadas as correlações negativas entre a densidade aparente e os parâmetros de inchamento e absorção. Na medida que a densidade do painel aumenta, diminui a absorção de água e o inchamento. É importante notar também que, à medida que as médias de absorção e inchamento aumentam, a resistência do painel aglomerado diminui, evidenciando uma relação inversamente proporcional. Esta relação também se manifesta na resistência mecânica, que diminui à medida que as médias de absorção e inchamento aumentam. Por último, os valores de resistência mecânica e densidade apresentam uma relação diretamente proporcional, indicando que um aumento na densidade dos painéis está associado a uma maior resistência mecânica.

Na figura 6 é possível observar a Análise dos Componentes Principais, onde se destacam os principais parâmetros que melhor representam cada tratamento. Nota-se que os tratamentos com lignina e parafina são melhor representados pelas maiores densidades aparentes e resistências à tração. Em contrapartida o painel sem aditivos apresentou os maiores valores de inchamento e absorção e menor isolamento acústico. Reforçando que a adição da lignina, auxiliou no aumento da qualidade do painel.

Figura 6 - Análise dos Componentes Principais (PCA).



Nota: EPAL (Painel de Eucalyptus , casca de pequi, adesivo e lignina), EPAP (Painel de Eucalyptus, casca de pequi, adesivo e parafina). EPA (Painel de Eucalyptus , casca de pequi e adesivo), inch 24 (teste de inchamento em 24 horas), ABS24 (teste de absorção em 24 horas), dB (teste acústico), Da (teste de densidade)

Ao analisar a figura 6 (Análise dos Componentes Principais) e a tabela 4 (Correlação de Pearson) é possível comprovar o potencial da lignina como aditivo na fabricação dos painéis aglomerados contendo a casca de pequi. A lignina vem sendo considerada de grande interesse industrial em virtude da procura por materiais com custos menores, cujas fontes sejam renováveis e que tenham potencial para melhorar características importantes nos produtos finais (Marchesan et al., 2022).

Em todas as análises nas quais a lignina está diretamente relacionada, observa-se uma melhora estatisticamente significativa em comparação com os demais tratamentos empregados. Esses resultados reforçam a viabilidade e o impacto positivo da incorporação da lignina no aprimoramento das características dos painéis produzidos, viabilizando ainda mais a utilização da casca de pequi na incorporação de painéis a base de madeira.

CONCLUSÃO

A aplicação da casca do pequi como aditivo na produção de painéis aglomerados apresenta um notável potencial, contribuindo para a valorização de um resíduo derivado de um fruto amplamente utilizado na região do Cerrado. No contexto específico da lignina como aditivo, ela demonstrou ser de grande relevância quando incorporada aos painéis aglomerados, conferindo uma notável melhoria na resistência mecânica e higroscopicidade, além de aumentar de forma significativa a densidade dos painéis e o isolamento acústico, viabilizando desta forma a utilização destes painéis para a produção de móveis, pisos e como painéis para isolamento.

Sugerem-se investigações adicionais a fim de avaliar a qualidade dos painéis aglomerados com pequi ao incorporar outros aditivos, como a nanocelulose e látex natural. Ademais, é fundamental promover estudos e iniciativas que estimulem a adaptação do mercado de produtores de pequi, com o propósito de fomentar a utilização eficiente da casca desse fruto como um recurso valioso e sustentável. Esses esforços contribuirão significativamente para a valorização de resíduos florestais madeireiros e não madeireiros e o desenvolvimento de materiais de construção mais eficazes e sustentáveis.

AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14810** - 2: Painéis de Partículas de média densidade: Requisitos e métodos de ensaios. 4ª ed., Rio de Janeiro, ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8877**: Adesivos - determinação de teor de sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9223**: Adesivos - determinação – determinação do tempo de escoamento através do copo DIN. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

BIANCHE, J. J. Cisalhamento na Linha de Cola de *Eucalyptus* spp. colado com diferentes adesivos e diferentes gramaturas. **Floresta e Ambiente**, p. 24, 2017.

BRAGA, M; SANTOS A. C.; DAMASO M. C. T; SCHULTZ, E. L. O potencial da lignina no contexto brasileiro: um diagnóstico de especialistas brasileiros sobre tecnologias e tendências para 2030. **O Papel**. v. 13, n. 7, p. 87-97, 2023.

DEUS, D. A.; ZAU, A. S.; MUNIZ, G. I. B.; NISGOSKI, S.; ABREU, H. S; GAMA, D. C. Lignina: uma importante tecnologia química da madeira. **E-Acadêmica**, v. 3, p.3, 2022.

FERREIRA, K. B.; FERREIRA, J. C.; ANDRADE, C. R.; TEIXEIRA, D. E.; GARCIA. L. F. A.; GUIMARAES. I. L.; SILVA, T. E. MACHADO. D. K. Ferreira. Impacto da adição de poliestireno na composição de painéis de bagaço de cana-de-açúcar. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 126, p. 1-13, 2020.

FERREIRA, B. S. Produção e caracterização físico-mecânica de painel de compensado de *Eucalyptus* spp. e adesivo PVA. **Trabalho de Graduação do Curso Engenharia Industrial Madeireira** - Campus Experimental de Itapeva – UNESP, 2011.

FERREIRA, B. S.; CAMPOS, C. I.; SILVA, M. S; VALARELLI, I. D. Cisalhamento na Linha de Cola de Compensados de *Eucalyptus* spp. e Adesivo PVA. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 2, p. 141-146, 2012.

GONÇALVES, G. A. S., VILAS BOAS, E. V. DE B., RESENDE, J. V. DE, MACHADO, A. L. DE L.; VILAS BOAS, B. M. Qualidade dos frutos do pequizeiro submetidos a diferentes tempos de cozimento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 35, v. 2, p. 377-385, 2011.

HASELEIN, C. R. Análise de parâmetros para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas de madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden) e embaúva (*Cecropia* spp.). **Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)** - Universidade Federal de Viçosa, p. 75, 1989.

IWAKIRI, S. Painéis de madeira reconstituída. Curitiba, PR: **FUPEF**, p. 247, 2005.

KLEINERT, M.; BARTH, T. Phenol from lignin. **Chemical Engineering and Technology**, v. 31, n. 5, p. 736-745, 2008.

MARQUESAN, R.; SILVA, R. S.; SOARES, G. C. M.; SANTOS M. C.; SARAIVA. K. F.; CARDOSO, A. M.; AGUIAR, B. A. C.; ALMEIDA, V. C.; BARROS, A. O. R.; FORTES, R. A. Avaliação do efeito de diferentes técnicas de cura na resistências de compósitos de cimento e lignina. **Engenharia Florestal: contribuições, análises e práticas em pesquisa**. Editora Científica Digital. v.1, n. 1, p. 58-75, 2020.

MENDES, J. G. N.; MARCHESAN, R. Adição da casca do fruto do *Caryocar brasiliense* (pequi) na produção de painéis a base de *Eucalyptus* spp. E adesivo reforçado com tanino. **Seminário de Iniciação Científica da UFT**. Anais. Palmas (TO) Universidade Federal do Tocantins – Campus de Arraias, Gurupi e Palmas, 2022.

MININI, D.; GONÇALVES, F. G.; SEGUNDINHO, P. G. A.; FELBERG, M. J. S.; TINTI, V.P. Resíduo de madeira de eucalipto e adesivo tânico em painéis aglomerados. **Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 8, n. 2, p. 101-103, 2017.

MONTEIRO, S. S.; DA SILVA, R. R., MARTINS, DA S.; BARIN, J. S.; ROSA, DA, C. S. Phenolic compounds and antioxidant activity of extracts of pequi peel (*Caryocar brasiliense* Camb.). In **International Food Research Journal**, v. 22, n. 5, p. 1985-1992, 2015.

MORAES, W.; DIONISIO, L.F.S.; SCHWARTZ, G.; PEREIRA, J.A.; DAMASCENA, J.F.; RIZZO, F. A.; BRASIL NETO, A.B.; MILHOMEM, C.A.; ALVES, J.M.A.; ARAÚJO FILHO, R.N.; SARMENTO, R.A.; SILVA, A.; MORAES, C.B. Carbon and nitrogen, humic and labile fractions in soil under clonal *Eucalyptus* stands from *cerrado*. **European Journal of Forest Research**. 2024. <https://doi.org/10.1007/s10342-024-01669-x>

NAUMANN, R. B.; VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; LÚCIA, R. M. D.; SILVA, J. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; COLLI, A. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e de *Schizolobium amazonicum*. **Revista Árvore**, v. 32, n. 6, p. 1143-1150, 2008.

SANTOS, G. J; BATTISTELLE, R. A. G.; VARUM, H. S.A; FARIA, O. B. Avaliação acústica das chapas de partículas produzidas com bagaço de cana-de-açúcar e folha caulinar de bambu. CIMAD 11, **1º Congresso Ibero-LatinoAmericano da madeira na construção**, Coimbra, Portugal. 2011.

WU, Q. In-plane dimensional stability of oriented strand panel: effect of processing variables. **Wood and Fiber Science**. Madison, v. 31, n. 1, p. 28-40. 1999.