

Influência da secagem dos resíduos de eucalipto nas propriedades físico-mecânicas de painéis reconstituídos

Fernanda C. Leal¹; Lucas Lima Costa²; Filipe L. D. L. Santos²; Heloise F. Santos²;
Rita D. A. Cunha²; Sandro F. César²

¹ Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador/BA, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPEC), Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador/BA, Brasil – lucaslcst@gmail.com

Resumo: Este estudo investigou a influência da secagem da matéria prima no reconstituído de resíduos de eucalipto e resina de mamona. Para isto, foram produzidos painéis sob duas condições de secagem: umidade ambiente (Tipo A) e anidra (Tipo B), e analisadas as suas propriedades físico-mecânicas. O tipo A resultou em chapas de média densidade (650 kg/m³), enquanto o tipo B, em baixa densidade (470 kg/m³). Para umidade, o tipo B apresentou teor de 10,50% comparado à 11,39% do outro tipo. Na absorção e inchamento, o tipo B resultou em médias inferiores aos do tipo A. Ambos os tipos resultaram em resistência à tração inferior às referências. Na compressão paralela, o tipo A obteve o resultado de 0,07 MPa e o tipo B, 0,09 MPa. Por fim, o tipo A obteve módulo de ruptura superior (5,06 MPa) ao tipo B (4,59 MPa).

Palavras-chave: Painel reconstituído, Eucalipto Clonal 1404, Resina de Mamona.

Influence of Drying Eucalyptus Residues on the Physical-Mechanical Properties of Reconstituted Panels

Abstract: This study investigated the influence of drying the raw material on reconstituted eucalyptus waste and castor resin. Panels were produced under two drying conditions: ambient humidity (Type A) and anhydrous (Type B), and their physical-mechanical properties were analyzed. Type A resulted in medium-density boards (650 kg/m³), while Type B resulted in low-density boards (470 kg/m³). In terms of moisture content, Type B had 10.50% compared to 11.39% for Type A. For water absorption and swelling, Type B showed lower averages than Type A. Both types had tensile strength below the references. In parallel compression, Type A achieved a result of 0.07 MPa, while Type B reached 0.09 MPa. Finally, Type A obtained a higher modulus of rupture (5.06 MPa) compared to Type B (4.59 MPa).

Keywords: Reconstituted panel, Eucalyptus Clonal 1404, Castor oil resin.

1. INTRODUÇÃO

Conforme o relatório anual da Associação Baiana de Empresas de Base Florestal (ABAF, 2023), em 2022, com uma área plantada de 667 mil hectares, a Bahia se posicionou como o quarto estado brasileiro com maior extensão de plantio florestal

de Eucalipto. Este manejo florestal é direcionado prioritariamente à produção de papel, celulose e geração de energia, revelando um potencial significativo para a ampliar o uso da madeira plantada também no setor da construção civil, como destacado por Santos (2020).

No entanto, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) aponta que, durante o processo de industrialização da madeira, 65% do volume de cada tora é convertido em resíduo. Nesse cenário, o relatório anual da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2023) revela que apenas 5% desses resíduos são reciclados ou reutilizados, uma vez que, atualmente, sua grande maioria é destinado à geração de energia.

Na produção de painéis reconstituídos, Costa (2022) propõe a resina poliuretana à base de mamona como uma alternativa sustentável à resinas à base de ureia formaldeído (UF) e tanino-formaldeído (TN), amplamente utilizadas para esse fim. A resina de mamona apresenta as vantagens de ser de origem vegetal, não tóxico, com capacidade de cura a frio e desempenho satisfatório.

De acordo com Silva (2022), os clones de eucalipto são resultados do melhoramento genético da espécie, como é o caso do *Eucalyptus urophylla*, clonal COP 1404, caracterizado por ser oriunda de floresta plantada brasileira, possuir rápido crescimento e por estar disponível no estado da Bahia. Entretanto, na literatura, ainda são incipientes os estudos desenvolvidos sobre a espécie.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades físicas e mecânicas de painéis reconstituídos de eucalipto e resina de mamona em duas diferentes condições de secagem: umidade ambiente (tipo A) e condição anidra (tipo B).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Ensaios físicos no resíduo de Eucalipto

O resíduo empregado neste estudo é da espécie *Eucalyptus urophylla* COP 1404, proveniente de descartes gerados durante o processo de plaina, realizado do Laboratório de Madeiras da Universidade Federal da Bahia (LABMAD).

A caracterização física das partículas de eucalipto foi realizada a partir da determinação da granulometria, umidade e curva de secagem. Para o ensaio de granulometria, foram utilizadas as peneiras com malha variando entre 16,00 mm a 2,00 mm, agitadas por 20 minutos, na potência 10 e balança digital marca BEL modelo L3102iH. Os resultados mostraram que 60% do material ficou retido nas

peneiras 4,00 mm, 2,00 mm e fundo, sendo estas selecionadas para a reconstituição.

Para a determinação da umidade e curva de secagem, utilizou-se a balança determinadora de umidade da marca Marte modelo ID-50. Nesse procedimento, as partículas selecionadas, foram extraídas, de forma randômica, e levadas para o equipamento na função normal, a uma temperatura de 100°C. Para determinação da umidade utilizou-se um ciclo de 5 minutos, já para a curva de secagem, os ciclos tiveram duração de uma hora.

2.2 *Produção dos painéis reconstituídos*

Os painéis foram classificados em dois tipos (A e B), de acordo com a condição de secagem da matéria prima. Os painéis tipo A foram produzidos com as partículas na sua umidade ambiente, em torno de 13%. Já os painéis tipo B, foram manufaturados com a matéria prima sob condição anidra, próxima a 0% de umidade.

A manufatura dos painéis foi realizada seguindo os critérios estabelecidos por Costa (2022), adotando 60 g de resíduos de eucalipto e teor de 10% de resina poliuretana à base de mamona (6 g). A produção dos painéis obedeceu as seguintes etapas: secagem (a) - para o tipo B, homogeneização da resina (b) - na proporção de 2:1(poliol:isocianato), adição da resina termofixa às partículas (c), formação do colchão (d), prensagem (e) e painel pós prensagem (f), ilustradas na Figura 1.

Figura 1. Etapas de produção dos painéis reconstituídos.



Fonte: Os autores

A cura e estabilização dos painéis foram realizadas em temperatura e ambiente climatizado, sem exposição direta à luz solar ou umidade. Em seguida, os painéis foram aparelhados e cortados para atender às dimensões necessárias aos ensaios.

2.3 *Caracterização física e mecânica dos painéis reconstituídos*

Os ensaios de umidade e densidade dos painéis foram realizados conforme diretrizes adaptadas da NBR 14.810-2:2018, além de requisitos de Lacombe (2015) e Costa (2022). A massa das amostras foi determinada com uma balança de precisão de 0,01g, e as dimensões foram medidas com um paquímetro. As amostras foram colocadas em uma bandeja metálica e levadas à estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ até a estabilização da massa. Os ensaios de inchamento e absorção também seguiram a NBR 14810-2:2018, com corpos de prova de 25 mm x 25 mm dos painéis tipo A e B. A espessura e a massa foram medidas após 2 e 24 horas de ensaio.

Para a caracterização mecânica dos painéis, foram realizados ensaios de tração perpendicular, compressão paralela e flexão estática, conforme a NBR 14810-2:2018. Utilizou-se uma prensa eletromecânica operando a 4 mm/min para tração, 5 mm/min para compressão paralela (embora a norma sugira um incremento de 0,12 mm/min para cada 25 mm na espessura do painel, devido à espessura adotada, a configuração de prensagem foi ajustada conforme a literatura), e 6 mm/min para flexão estática.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 *Propriedades físico-mecânicas dos painéis*

Foi realizado o ensaio de secagem dos resíduos de eucalipto utilizados neste trabalho. Observou-se que todas as curvas apresentaram o comportamento tendendo a estabilização nos primeiros 20 minutos de ensaio, a partir desse período as partículas de eucalipto clonal 1404 passam a apresentar um comportamento sem variação de massa, portanto, sem perda de água para a temperatura e o tempo adotados. Os resultados referentes à caracterização físico-mecânicas dos painéis estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios das propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

Propriedades	Unidade	Média tipo A	Média tipo B
Densidade	(g/cm ³)	0,65	0,47
Umidade	(%)	11,39	10,50

Absorção	(%)	2h 20,50	24h 37,89	2h 7,26	24h 12,12
Inchamento	(%)	2h 13,46	24h 29,34	2h 8,35	24h 18,57
Tração perpendicular	(Mpa)	0,08		0,10	
Compressão paralela	(Mpa)	0,07		0,09	
Módulo de ruptura	(Mpa)	5,06		4,59	

Os painéis do tipo A apresentaram maior estabilidade dimensional do que os painéis tipo B. Foi observado que, durante o período de estabilização do painel e cura da resina, o painel do tipo B sofreu processo de inchamento após a sua retirada da prensa. Essa variação está relacionada ao tipo de resina utilizada, uma vez que o grupo hidroxila presente na resina poliuretana à base de mamona, é capaz de reagir com a água presente no interior das partículas, auxiliando no processo de cura a frio (Yangbao Ma et al., 2024). Com a etapa de secagem da matéria prima, toda a água foi removida das partículas de eucalipto, permitindo que o painel absorvesse a água do ambiente para alcançar equilíbrio com a umidade relativa.

Em relação a densidade, de acordo com a NBR 14810-2:2018, os painéis do tipo A, são classificados como chapas aglomeradas de média densidade (650 kg/m^3), enquanto os painéis do tipo B, como de baixa densidade (470 kg/m^3). Os painéis OSB (*Oriented Strand Board*) produzidos com a madeira de clones de *Eucalyptus urophylla* por Guimarães Júnior et al. (2016) apresentaram valor médio de densidade entre 650 e 690 kg/m^3 , compatível com o painel do tipo A. Já Carvalho et al. (2015), ao verificar o desempenho de painéis OSB com adesivos comerciais e tânico de barbatimão, obtiveram valores variando entre 540 e 570 kg/m^3 . Costa (2020) ao produzir reconstituídos de sisal e resina de mamona obteve densidade média de 122 kg/m^3 , encontrando-se na mesma classificação do tipo B.

Para umidade, os valores médios obtidos foram de 11,39% para o tipo A e 10,50% para o tipo B. Observa-se que o tipo B está dentro do limite estabelecido pela NBR 14810-2:2018, com teor de umidade entre 5% e 11%, enquanto o tipo A apresentou uma pequena variação acima de 11%. Além disso, ambos os valores são inferiores a umidade média de 12,16%, encontrada por Costa (2020) para painéis de sisal de baixa densidade e superiores ao teor de umidade médio dos painéis OSB de Guimarães Júnior et al. (2016) com 8,27%.

A absorção de água para os intervalos de 2 horas e 24 horas foi de 20,50% e 37,89%, respectivamente, para o tipo A e 7,26% e 12,12%, para o tipo B. A NBR 14810-2 (ABNT, 2018) não especifica valores máximos para esta propriedade em reconstituídos. Entretanto, os valores ensaiados foram menores do que os verificados por Costa (2020), que utilizou o mesmo processo de produção com material de menor densidade (120 kg/m^3).

Os resultados de inchamento em espessura para ambos os tipos não atenderam aos requisitos da NBR 14810-2 (ABNT, 2018), sendo superiores a 8% para duas horas de imersão em água. O tipo A registrou um inchamento médio de 13,46% em 2 horas e 29,34% em 24 horas, essa média diminuiu para o tipo B, que obteve 8,35% e 18,57%, em 2 horas e 24 horas, respectivamente. De Barros Filho et al. (2011) obtiverem o inchamento médio de 15,59% após 2 horas e 36,20%, em 24 horas de ensaio para painéis com bagaço da cana. Já, para o estudo sobre painéis OSB de *Eucalyptus grandis* com 8% de fenol-formaldeído.

Quanto à compressão paralela, a norma brasileira não especifica valores mínimos de resistência para painéis reconstituídos. O painel tipo A apresentou valor de resistência médio de 0,07 MPa, enquanto o tipo B, 0,09 MPa. Ambos os tipos tiveram um desempenho inferior aos painéis analisados por Costa (2020), que obteve uma média de 1,14 MPa, adotando metodologia similar a desenvolvida neste estudo.

Protásio et al. (2012) observaram que em painéis de eucalipto, há um acréscimo do módulo de ruptura (MOR) com o aumento da densidade, o que se confirmou para os painéis do tipo A e B, uma vez que os painéis produzidos sem a etapa de secagem, classificados como média densidade, apresentou valor médio de MOR superior (5,06 MPa) ao painel de baixa densidade (4,59 MPa). Já Costa (2020) obteve um valor médio de MOR de 5,24 MPa, para reconstituídos de Sisal, enquanto De Barros Filho et al. (2011) encontraram 4,59 MPa, usando bagaço de cana. Para esta propriedade, os painéis desenvolvidos encontram-se com valores próximos à literatura.

4. CONCLUSÃO

- A estabilização da secagem da matéria prima particulada ocorreu dentro do intervalo de 60 minutos investigados, sendo que, após 20 minutos a variação

de massa permaneceu constante até a conclusão do ensaio. Este comportamento pode estar relacionado à secagem ter sido aplicada no material particulado, com dimensões inferiores a 4,00 mm (#4 mm, #2 mm e fundo), facilitando a expulsão das partículas de água presentes no interior das paredes celulares e adsorvida ao material lignocelulósico.

- As propriedades físicas dos painéis indicaram que, de acordo com a NBR 14810-2 (ABNT, 2018), o painel tipo A é classificado como chapa aglomerada de média densidade, enquanto o tipo B, de baixa densidade.
- Os painéis do tipo A apresentaram maior estabilidade dimensional comparada aos painéis do tipo B, esta variação está relacionada com as diferentes condições de secagem adotadas.
- O teor de umidade do tipo B (10,50%) encontra-se dentro do limite estabelecido pela NBR 14810-2:2018, entre 5% e 11%, enquanto o tipo A ultrapassou com 11,39%.
- Os painéis do tipo B apresentaram valores médios de absorção menores que os painéis do tipo A. O mesmo é observado para o inchamento, cujo resultado médio do tipo B é inferior ao do tipo A.

5. REFERÊNCIAS

ABAF - Associação Baiana das Empresas de Base Florestal. **Bahia Florestal - Relatório ABAF 2023**. 2023. 16p.

ABNT NBR 14810-1 - Painéis de partículas de média densidade - Parte 1: **Terminologia**. ABNT: Rio de Janeiro, 2013.

ABNT NBR 14810-2 - Painéis de partículas de média densidade - Parte 2: **Requisitos e métodos de ensaio**. ABNT: Rio de Janeiro, 2018.

COSTA, LUCAS LIMA. PAINEL RECONSTITUÍDO A PARTIR DO SISAL (*Agave sisalana*) PARA ISOLAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES. 2022. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)** – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2022.

DE BARROS FILHO, R. M. MENDES, L. M. NOVACK, K. M. APRELINI, L. O. BOTARO, V. R. Hybrid chipboard panels based on sugarcane bagasse, urea formaldehyde and melamine formaldehyde resin. **Industrial Crops and Products**, V.33, N. 2, P. 369 – 373, 2011.

GUIMARÃES JÚNIOR, J. B., MENDES, R. F., GUIMARÃES, Í. L., LISBOA, F. N., PROTÁSIO, T. DE P., & MENDES, L. M. 2016. Qualidade de painéis OSB

(Oriented Strand Board) produzidos com a madeira de clones de *Eucalyptus urophylla*. **Brazilian Journal of Wood Science**, v.7, 163-169, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Novo índice de aproveitamento para transformação de tora em madeira serrada combate desmatamento ilegal**. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/noticias/422-2017/1092-novo-indice-de-aproveitamento-para-transformacao-de-tora-em-madeira-serrada-combate-desmatamento-ilegal>. Acesso em 05 de julho de 2024.

SANTOS, FILIPE LUIGI DANTAS LIMA. ESTUDO DE LIGAÇÕES PARA PAINEL WOOD FRAME PRODUZIDOS COM MADEIRA DE EUCALIPTO JOVEM. 2020. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)** – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2020.

SILVA, MELISSA LAGO DE JESUS SILVEIRA. ESTUDO DA ADERÊNCIA DA FIBRA DE CARBONO EM ELEMENTOS DE MADEIRA LAMELADA COLADA. 2022. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)** – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2022.

PROTÁSIO, T. DE P., GUIMARÃES JÚNIOR, J. B., MENDES, R. F., MENDES, L. M., & GUIMARÃES, B. M. R. 2012. Correlações entre as Propriedades Físicas e Mecânicas de Painéis Aglomerados de Diferentes Espécies de *Eucalyptus*. **Floresta e Ambiente**, v.19, p.123-132, 2012.

MA, YANGBAO; ZHU, XIAOJIE; ZHANG, YUEHONG; LI, XIAOBO; CHANG, XIAOHUI; SHI, LIN; LV, SHANSHAN; ZHANG, YANHUA. Castor oil-based adhesives: A comprehensive review. **Industrial Crops and Products**, v. 209, 2024.