

Secagem da madeira como estratégia de otimização e redução de custos de transporte em Rondônia

Márcia Cristiane Alves¹; Amanda dos Santos Ferreira¹; Afonso Henrique Rodrigues de Oliveira Barros¹; Thiago Cardoso Silva¹; Emmanoella Costa Guaraná Araujo*¹; Adriano Reis Prazeres Mascarenhas²

¹ Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Departamento Acadêmico de Engenharia Florestal, Grupo de Pesquisa em Engenharia de Materiais Lignocelulósicos, Rolim de Moura/RO, Brasil – emmanoella.araujo@unir.br

Resumo: A secagem industrial promove melhorias na qualidade da madeira, além de importante para redução dos custos de transporte. Objetivou-se estimar a redução de custos com frete proporcionada pela secagem da madeira em diferentes cenários no estado de Rondônia. Foram coletadas amostras de madeira das espécies angelim-amargoso, paricá e orelha-de-macaco. Foram obtidas a densidade básica, umidade na base seca, umidade em base úmida, massas de água em condição de umidade acima do ponto de saturação das fibras até a umidade de equilíbrio da madeira e estimativas de custos de transporte de madeira. Constatou-se que a remoção da água livre e de impregnação reduziu os custos de transporte das espécies de ~53% para o paricá e ~42% para angelim-amargoso e orelha-de-macaco. O processo de secagem da madeira foi identificado como essencial para reduzir custos e melhorar a eficiência do transporte.

Palavras-chave: Amazônia, Água da madeira, Economia, Eficiência logística.

Drying wood as a strategy for optimizing and reducing transportation costs in Rondônia

Abstract: Industrial drying improves wood quality and is also important for reducing transportation costs. The aim was to estimate the reduction in freight costs provided by drying wood in different scenarios in the state of Rondônia. Wood samples were collected from the species angelim-amargoso, paricá and orelha-de-macaco. The basic density, moisture content on a dry basis, moisture content on a wet basis, masses of water in humidity conditions above the fiber saturation point up to the wood's equilibrium moisture content and estimates of wood transportation costs were obtained. It was found that the removal of free water and impregnation reduced the transportation costs of the species, reducing ~53% for paricá and ~42% for angelim-amargoso and orelha-de-macaco. The wood drying process was identified as essential for reducing costs and improving transportation efficiency.

Keywords: Amazon, Wood Water, Economy, Logistical Efficiency.

1. **INTRODUÇÃO**
- 

O estado de Rondônia tem grande relevância no mercado de madeiras

tropicais da Amazônia, ocupando o terceiro lugar no ranking brasileiro, sendo uma atividade economicamente significativa que representa geração de renda e empregos da região (Rondônia, 2021). No entanto, em Rondônia a exploração ilegal de madeira é recorrente e provoca problemas ambientais, sociais e econômicos, incluindo o desmatamento, a degradação do solo e a perda de biodiversidade (Rondônia, 2021 e Santos *et al.*, 2021). Além disso, no setor de industrialização da madeira serrada, além dos baixos rendimentos (< 35%) no desdobro, tem-se dificuldades a respeito da secagem que acarreta defeitos e aumento dos custos de transporte, devido à elevada umidade (Mascarenhas *et al.*, 2020).

O transporte rodoviário de madeira é comumente baseado na massa total da carga, ou seja, cargas úmidas de madeira impactam nos custos do frete, visto que o mesmo volume de madeira seca seria mais leve e, portanto, mais barato para transportar (Oliveira *et al.*, 2024). Assim, a secagem da madeira se constitui como uma alternativa para otimizar a eficiência energética dos caminhões de transporte e, conseqüentemente, redução do consumo de combustível e emissões de gases de efeito estufa (Bartholomeu *et al.*, 2016).

Assim, existe uma lacuna de conhecimento no estado de Rondônia entre os gestores das empresas madeireiras no que diz respeito ao impacto das práticas de secagem nos custos de transporte. Diante disso, a hipótese do trabalho é que a secagem da madeira resulta em menores custos de transporte, além de promover uma operação mais eficiente e sustentável. Dessa maneira, o objetivo do estudo foi quantificar o custo de frete proporcionado pela secagem da madeira das espécies madeireiras, de modo a avaliar o potencial da secagem como meio de otimização dos custos de transporte no estado de Rondônia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Obtenção e preparo do material de estudo

O estudo foi conduzido com material coletado em serraria localizada no município de Rolim de Moura, Rondônia. A madeira estudada é oriunda de exploração conduzida por meio de manejo florestal sustentável, conforme a legislação vigente. Foram obtidas peças de madeira recém-desdobradas de três

diferentes espécies, a saber: angelim-amargoso (*Vatairea* spp.), paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) e orelha-de-macaco (*Enterolobium schomburgkii* (Benth.) Benth.).

Para conservar a umidade original, as peças foram armazenadas em sacos plásticos herméticos até serem levadas ao Laboratório de Engenharia de Materiais Lignocelulósicos da Universidade Federal de Rondônia. Posteriormente, cada peça foi seccionada em 20 amostras, nas dimensões de, aproximadamente, 3,0 cm x 3,0 cm x 10,0 cm.

2.2 Determinação da densidade básica, umidade, estimativa da massa de água até o ponto de saturação das fibras e massa de água de impregnação até a umidade de equilíbrio

A determinação da densidade básica (ρ_b) da madeira foi realizada conforme a NBR 11941 (ABNT, 3). Os valores de umidade na base seca (UBS) e umidade em base úmida (UBU) foram calculados seguindo os procedimentos da ASTM E871-82 (ASTM, 2019). Para estimar a massa de água livre perdida com a secagem da madeira, adotaram-se valores de ponto de saturação das fibras (PSF) de 26% para as madeiras de paricá e orelha de macaco e 23% para a de angelim-amargoso, conforme apresentado em ITTO (2017). Da mesma maneira, a umidade de equilíbrio da madeira (UEM) foi considerada 16%, calculada a partir da média aproximada entre os valores máximo e mínimo de UEM no estado de Rondônia (Mascarenhas *et al.*, 2020).

As massas da carga seca e de água na madeira foram estimadas, respectivamente, a partir da adaptação da equação de densidade e pelo produto entre a massa seca da carga e a variação da umidade da madeira, conforme as equações 1 e 2:

(Equação 1)

(Equação 2)

Em que, m_{cs} = massa da carga seca (t); ρ_b = densidade básica ($t \cdot m^{-3}$); V_{carga} = volume da carga (m^3); $m_{\text{água}}$ = massa de água (t); e U_i = variação no teor de umidade (%).



Dessa maneira, foram avaliadas três situações: a primeira considerando a massa da carga acima do PSF; a segunda avaliando a carga no PSF; e a terceira

na umidade de equilíbrio. Em todos os cenários, a massa total da carga foi calculada com a equação 3.

(Equação 3)

Em que, m_{tc} = massa total da carga (t); m_{cs} = massa da carga seca (t); e $m_{\text{água}}$ = massa de água (t).

2.3 Cálculo da economia de frete proporcionada pela secagem da madeira

O frete na região é calculado em função da massa da carga, sendo praticado a um preço médio de R\$ 550,00 por tonelada, conforme consulta em empreendimentos logísticos e indústrias madeireiras. Assim, os custos de frete para cada um dos cenários avaliados foram definidos a partir da equação 4.

(Equação 4)

Em que, CT = custo total do frete (R\$); m_{tc} = massa total da carga (t); e CF = custo relativo do frete (R\$.t⁻¹).

Assim, as respectivas reduções de custos com frete para cada cenário foram calculadas por meio da diferença entre o custo total do frete para a umidade acima do PSF e o custo total do frete no cenário avaliado. Para fins de cálculo, foi considerado um volume mensal de 1.320 m³ de madeira serrada comercializada por espécie, conforme informações obtidas em consultas realizadas em indústrias da região.

2.4 Análises estatísticas

Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva considerando média e desvio padrão.

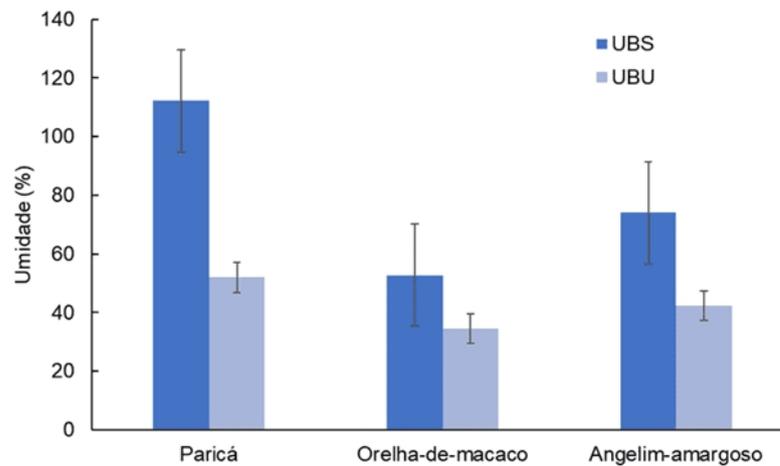
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Densidade básica, umidade na base seca e umidade na base úmida

As médias de ρ_b para a madeira de paricá, angelim-amargoso e orelha-de-macaco foram, respectivamente, de $359 \pm 75,72 \text{ kg.m}^{-3}$, $572 \pm 16,25 \text{ kg.m}^{-3}$ e $670 \pm$

11,31 kg.m⁻³ (Figura 1). Considerando a classificação proposta por Ruffinatto *et al.* (2015), a madeira de paricá foi classificada de baixa densidade ($\rho_b < 400$ kg.m⁻³). Já as madeiras de angelim-amargoso e orelha-de-macaco foram classificadas como de média densidade, situando-se entre 400 kg.m⁻³ a 750 kg.m⁻³.

Figura 1. Umidade na base seca (UBS) e umidade na base úmida (UBU) de madeiras de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby), orelha-de-macaco (*Enterolobium schomburgkii* (Benth.) Benth.) e angelim-amargoso (*Vatairea* spp.).

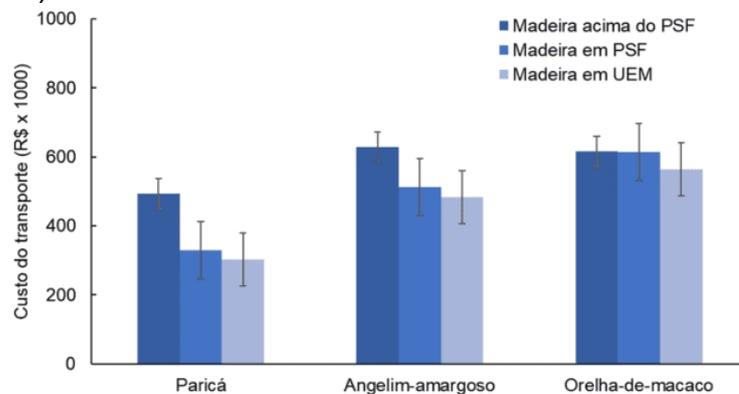


Para UBS, a madeira de paricá apresentou valores mais elevados (112,23 ± 30,99%), seguida pelo angelim-amargoso (74,01% ± 7,89%) e a orelha-de-macaco (52,73 ± 3,23%). Quanto aos resultados obtidos para UBU, foi observada mesma tendência de UBS em relação à madeira de paricá (51,97 ± 6,57%), angelim-amargoso (42,41 ± 2,81%) e orelha-de-macaco (34,50 ± 1,41%).

Os valores de UBS e UBU foram inversamente proporcionais às densidades de cada espécie. Os elevados valores de umidade, encontrados acima do PSF, estão relacionados com a condição das toras que eram recém-colhidas e recém-desdobradas no momento da coleta, indicando grandes quantidades de água livre (Medeiros *et al.*, 2023).

Quando consideradas as práticas atualmente adotadas pelo empreendimento avaliado, o custo mensal de frete para cada espécie seria de, aproximadamente, R\$ 493 mil, R\$ 628 mil e R\$ 617 mil, para as madeiras de paricá, angelim-amargoso e orelha-de-macaco, respectivamente (Figura 2).

Figura 2. Custo estimado para transportar as madeiras de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby), orelha-de-macaco (*Enterolobium schomburgkii* (Benth.) Benth.) e angelim-amargoso (*Vatairea* spp.), com umidades acima do ponto de saturação das fibras (PSF), no PSF e na umidade de equilíbrio (UEM).



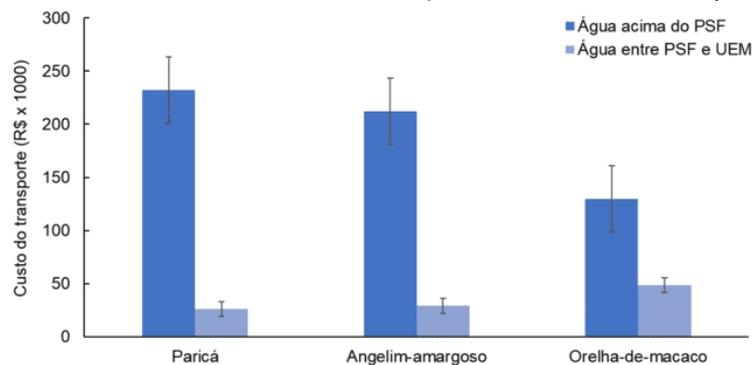
Ao considerar a realização de um processo de pré-secagem visando a remoção da água livre (secagem ao ar), o cenário se tornou mais favorável, com valores de R\$ 329 mil (paricá), R\$ 512 mil (angelim-amargoso) e R\$ 613 mil (orelha-de-macaco), respectivamente. No último cenário, com a remoção da água de impregnação até a umidade de equilíbrio (~16%), os custos passaram a ser de R\$ 303 mil, R\$ 483 mil e R\$ 564 mil, conforme a sequência apresentada anteriormente. A redução de custos também pode ser observada em outras espécies de exploração madeireira na região de Rondônia, como apontado por estudo de Oliveira *et al.* (2024).

Ao transportar a madeira com umidade acima da UEM, também está sendo transportada a água, o que aumenta o custo de frete e diminui a quantidade de madeira que pode ser transportada por carga (Oliveira; Rach, 2021). Na indústria avaliada, o armazenamento da madeira desdobrada é realizado ao ar livre, assim, o

material é comercializado tende a apresentar o mínimo de beneficiamento e elevadas umidades. Isso afeta significativamente os valores pagos pelo frete e pode gerar problemas de dimensionamento durante a aplicação, pois, com a dessorção de água de impregnação, ocorrerá a contração das peças (Sargent, 2019).

Transportar madeira úmida equivale a transportar água, pois a umidade adiciona peso extra, aumentando custos do transporte em relação à madeira seca. Logo, o custo para transporte de água acima do PSF para as madeiras de paricá, angelim-amargoso e orelha-de-macaco seria cerca de R\$ 232 mil, R\$ 212 mil e R\$ 130 mil, respectivamente. Da mesma forma, o custo aproximado para o transporte de água entre o PSF e a UEM, seria de R\$ 26 mil, 29 mil e R\$ 49 mil (Figura 3).

Figura 3. Custo estimado para transporte de água livre e impregnação das madeiras de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby), orelha-de-macaco (*Enterolobium schomburgkii* (Benth.) Benth.) e angelim-amargoso (*Vatairea* spp.), com umidades acima do ponto de saturação das fibras (PSF) e entre o PSF e a umidade de equilíbrio da madeira (UEM).



Ao considerar o cenário de secagem efetiva da madeira, com um custo de cerca de R\$ 200,00.m⁻³ na região para secagem em estufa (Oliveira *et al.*, 2024), a secagem da madeira de paricá nas indústrias seria dispendido aproximadamente R\$ 264.026,00, resultando em uma redução de 53% em relação ao custo mensal praticado pela empresa para transportar a madeira úmida. Para as espécies angelim-amargoso e orelha-de-macaco, a redução de custo seria de aproximadamente 42%.

Apesar do alto custo para secagem, é preciso levar em conta que a madeira seca apresenta maior valor de comercialização. Além disso, é importante considerar outras informações, como os impostos e os valores da madeira após a secagem, dados que exigem estudos complementares. Assim, considerando os resultados obtidos, é notório que a adoção da secagem da madeira em estufa pode promover

economia significativa no custo total, permitindo o transporte de volumes maiores ao eliminar a massa de água.

4. CONCLUSÃO

Ao avaliar diferentes espécies, constatou-se que a remoção da água livre e de impregnação até a UEM resultou em reduções nos custos de transporte para a madeira de paricá, angelim-amargoso e orelha-de-macaco. A secagem em estufa poderia proporcionar reduções de custos de até 53% para o paricá e 42% para outras espécies. Dessa maneira, adotar processo de secagem se mostra com uma estratégia de otimização de custos de transporte, além de tornar as empresas madeireiras mais competitivas.

5. REFERÊNCIAS

AMERICAN STANDARD TEST METHODS. **ASTM E871-82**: standard test method for moisture analysis of particulate wood fuels. West Conshohocken: ASTM, 2019. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11941**: madeira – determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6 p.

BARTHOLOMEU, D. B.; PÉRA, T. G.; CAIXETA-FILHO, J. V. Logística sustentável: avaliação de estratégias de redução das emissões de CO₂ no transporte rodoviário de cargas. **Journal of Transport Literature**, v. 10, n. 3, p. 15–19, 2016.

INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION. **Tropical timber atlas: technological characteristics and uses**. 1 ed. Quae: ITTO, 2017.

MASCARENHAS, A. R. P.; GHILARDI, D. S.; MELO, R. R. Geotecnologias aplicadas ao zoneamento sazonal da umidade de equilíbrio da madeira em Rondônia, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, p. 119-127, 2020.

MEDEIROS, D. T.; RAMALHO, F. M. G.; BATISTA, F. G. *et al.* Water desorption monitoring of cellulose pulps by NIR spectroscopy. **Industrial Crops & Products**, v. 192, 115989, 2023.

OLIVEIRA, L. S.; RECH, M. **Importância da secagem da madeira**. Informes técnicos sobre a secagem de madeira. 2021. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/lasema/files/2021/10/Informe-02-Importancia-da-secagem-da-madeira.pdf>. Acesso em: 28 Jun, 2024.

OLIVEIRA, S.; OLIVEIRA, L. V. S.; MASCARENHAS, A. R. P. Redução de custos de transporte de madeiras tropicais comercializadas em Rondônia por meio da secagem. **Revista Conexão na Amazônia**, v. 5, n. 1, p. 23-36, 2024.



RONDÔNIA. Sumário-executivo 2021 - **Relatório de auditoria: Integridade socioambiental do setor florestal do estado de Rondônia**. 2021. Disponível em: [Relatório de auditoria do setor florestal do estado de Rondônia - 2021 \(transparenciainternacional.org.br\)](https://transparenciainternacional.org.br) Acesso em: 28 Jun. 2024.

RUFFINATTO, F; CRIVELLARO, A; WIEDENHOEFT, A. C. Review of macroscopic features for hardwood and softwood identification and a proposal for a new character list. **IAWA Journal**, v. 36, n. 2, p. 208-241, 2015.

SANTOS, A. M. F. P; BAMPI, A. C; DALFOVO, W. C. T. Problemáticas ambientais em Mato Grosso: desmatamento e exploração madeireira ilegal. **Ciência Geográfica**, v. XXV, n. 2, p. 718-736, 2021.

SARGENT, R. Evaluating dimensional stability in solid wood: a review of current practice. **Journal of Wood Science**, v. 65, n. 36, p. 1-11, 2019.