

Influência da densidade e da composição química da madeira no rendimento e qualidade da polpa celulósica

DOI: 10.5281/zenodo.14010583

André L. X. S. Soares a*

This review article aims to address the relationship between basic wood density and chemical composition with the quality of pulp. A total of 59 genetic materials, predominantly from the genera *Eucalyptus* and *Pinus*, were analyzed, comparing their characteristics for application in the pulp industry.

Este artigo de revisão visa abordar a relação entre a densidade básica e a composição química da madeira com a qualidade da polpa celulósica. Foram analisados 59 materiais genéticos, predominantemente dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, comparando suas características para aplicação na indústria de polpa.

^aUniversidade de Brasília (UnB). Campus Darcy Ribeiro. Instituto de Química (IQ/UnB).

*E-mail: andreluidxavier@gmail.com

Palavras-chave: Qualidade da madeira; eucalyptus; pinus; celulose; indústria de papel.

Aceito em 07 de setembro de 2024,

Aprovado em 15 de outubro de 2024,

Publicado em 31 de outubro de 2024.

Introdução

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores mundiais de celulose, ocupando uma posição de destaque no cenário global devido às suas condições climáticas favoráveis e à vasta área dedicada ao cultivo de árvores comerciais, especialmente dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*. Segundo dados da Indústria Brasileira de Árvores IBÁ, o país conta com 9,94 milhões de hectares de plantios comerciais, sendo 75,8% dessa área dedicada ao *Eucalyptus*, com produtividade anual de 7,6 milhões de hectares, e 19,4% ao *Pinus*, totalizando 1,9 milhões de hectares por ano. Esse cenário faz do Brasil uma referência mundial em eficiência florestal e práticas sustentáveis de manejo.¹

Ademais, a madeira é uma matéria-prima heterogênea, cujas propriedades tecnológicas, como densidade básica e composição química, podem variar significativamente entre diferentes árvores e até mesmo dentro da mesma árvore. Essas variações impactam diretamente a eficiência do processo de polpação e a qualidade da polpa resultante. Estudos, como o trabalho de Ramos et al intitulado “Influência da densidade básica e da composição química da madeira para a indústria de polpa celulósica: um estudo de caso”, indicam que a densidade básica da madeira é uma das variáveis mais relevantes na determinação da qualidade da polpa.²

Além de ser de fácil mensuração, essa característica se correlaciona de maneira significativa com outras propriedades tecnológicas da madeira, influenciando o rendimento e a qualidade do produto. Por outro lado, a composição química do recurso florestal, especialmente os teores de celulose, hemiceluloses, lignina e extrativos,

desempenha um papel essencial no consumo de reagentes químicos e no teor de sólidos no licor negro durante o processo de polpação.³

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo revisar a literatura sobre a influência da densidade básica e da composição química da madeira nas principais variáveis do processo de polpação e nas características da polpa celulósica não branqueada. A análise busca identificar as correlações entre essas propriedades tecnológicas da madeira e o desempenho industrial, com foco nas espécies de *Eucalyptus* e *Pinus*, amplamente utilizadas pela indústria brasileira de celulose.

Metodologia

Este artigo foi desenvolvido com base na realização de uma pesquisa bibliográfica sobre a indústria brasileira de papel e no impacto da densidade e composição química da madeira no produto. Teve como base o artigo de referência,² e incluiu também artigos científicos, dissertações e teses.

A triagem do material seguiu três níveis de seleção. Primeiramente, foram selecionados os estudos que abordavam a relação entre a densidade básica e a composição química da madeira com as variáveis do processo de polpação e as características da polpa celulósica não branqueada. Em um segundo nível, foi dada preferência a trabalhos que especificavam as espécies ou clones de *Eucalyptus* e *Pinus*, com detalhes sobre o espaçamento, a idade e o local dos plantios. No terceiro nível, foram considerados os estudos que apresentavam claramente as principais variáveis do processo de polpação, como temperatura, álcali ativo e sulfidez, assim

como as características da polpa celulósica, incluindo rendimento, número kappa e viscosidade.⁴

O número kappa é uma medida utilizada na indústria de polpa celulósica para indicar a quantidade residual de lignina na polpa após o processo de cozimento. Ele é calculado com base na quantidade de permanganato de potássio consumida em uma amostra de polpa, e quanto maior o número kappa, maior o teor de lignina restante. Esse valor é crucial para determinar a eficiência do cozimento e a necessidade de etapas posteriores, como o branqueamento, para remover a lignina residual e produzir uma polpa de alta qualidade.⁵

A carga álcali refere-se à quantidade de substâncias alcalinas, como hidróxido de sódio (NaOH), utilizadas no processo de polpação para remover lignina e outras impurezas de árvores comerciais. Essa quantidade é cuidadosamente controlada para garantir que a reação seja eficiente, sem resultar em excesso de degradação das fibras de celulose, a carga de álcali tem um impacto direto na qualidade da polpa, no rendimento e na economia do processo.⁶

Após a coleta das informações, foi feita a categorização conforme: características do plantio (espécies, idade, espaçamento, localização), características da madeira (densidade básica e composição química), variáveis do processo de polpação (tempo de cozimento, álcali ativo, sulfidez) e características da polpa celulósica não branqueada (rendimento, número kappa e viscosidade). A partir dessas informações, foi possível estabelecer correlações matemáticas entre as variáveis, com o objetivo de identificar a influência da densidade básica e da composição química da madeira sobre as variáveis de processo e o desempenho da polpa celulósica não branqueada. No artigo “Avaliação da madeira e da polpação Kraft em clones de Eucaliptos” de Gouvêa *et al*³, foi realizado uma série de análises estatísticas, utilizando os softwares SPSS e R, que permitiram a obtenção de coeficientes de correlação significativos, indicando os principais fatores que impactam a eficiência da polpação.³

A partir deste material, uma análise comparativa foi realizada para explorar a influência de diferentes tempos de cozimento sobre a qualidade da polpa celulósica. Foram utilizados três tempos de cozimento (140, 150 e 253 minutos) e ajustada a carga alcalina em função da variação da densidade básica e da composição química dos recursos florestais. Essa comparação, focada apenas nas madeiras do gênero *Eucalyptus*, devido à limitada quantidade de informações sobre *Pinus*, permitiu identificar como essas variáveis afetam a

qualidade da polpa celulósica. Os dados foram representados graficamente, facilitando a visualização das interações entre as variáveis estudadas e fornecendo um panorama claro sobre os melhores parâmetros para otimização do processo de polpação.

Por fim, a metodologia adotada neste estudo de revisão permitiu uma análise detalhada das variáveis investigadas no artigo base, que investigou como a densidade básica e a composição química da madeira influenciam o rendimento e a qualidade da polpa celulósica não branqueada. Através da análise de dados comparativos entre clones de *Eucalyptus* e *Pinus*, foram identificadas correlações significativas entre a densidade básica da madeira, o consumo de reagentes químicos e o tempo de cozimento, destacando como essas variáveis afetam diretamente a eficiência do processo de polpação.

Além disso, a revisão aprofundou as análises relacionadas ao impacto da composição química da madeira, incluindo teor de lignina e extrativos, sobre a qualidade da polpa. Essa abordagem forneceu uma compreensão clara das interações entre as propriedades da madeira e as variáveis do processo de polpação, revelando áreas para possíveis otimizações da produção.

Resultados e discussão

Avaliação das Informações sobre Caracterização Tecnológica dos Diferentes Tipos de Madeira

A pesquisa realizada revelou uma diversidade significativa na qualidade e na disponibilidade das informações sobre a madeira utilizada na produção de polpa celulósica, dentre os 59 materiais genéticos analisados, 79,7% eram de *Eucalyptus* e 20,3% de *Pinus*, mas faltavam informações importantes sobre os plantios, como idade, espaçamento e procedência. No caso do *Eucalyptus*, 28% dos estudos não informaram a idade, 57% não informaram o espaçamento, e 28% não mencionaram a procedência. Para o *Pinus*, 17% não informaram a idade, 83% o espaçamento, e nenhum estudo mencionou a procedência. Apenas 45% dos estudos sobre *Eucalyptus* e nenhum sobre *Pinus* apresentaram todas essas informações essenciais.

Com relação às características da madeira, todos os trabalhos sobre *Eucalyptus* forneceram dados sobre densidade básica, teores de lignina total, holocelulose e extrativos, embora 64% não informassem os teores separados de celulose e hemicelulose e 36% não apresentassem a relação S/G da lignina. Para o *Pinus*, as informações sobre densidade básica,

lignina total, holocelulose e extrativos estavam completas, mas os teores de celulose e hemicelulose não foram separados em nenhum dos trabalhos analisados. Esses resultados indicam a necessidade urgente de mais rigor na coleta e apresentação de dados sobre a qualidade da madeira, especialmente para o *Pinus*, para uma melhor avaliação do processo de polpação e da qualidade da polpa celulósica.⁶

Influência da Densidade Básica da Madeira na Qualidade da Polpa Celulósica

Os dados revelam que o rendimento em polpa de *Eucalyptus* variou entre 47,3% e 57,6% com densidade básica variando de 276 a 668 kg/m³, enquanto o rendimento de *Pinus* variou entre 44,2% e 50,7% para densidade básica entre 373 e 436 kg/m³. A densidade básica dos clones de *Eucalyptus* que apresentaram os melhores rendimentos estava entre 400 e 550 kg/m³, superior à densidade observada para *Pinus*. A análise mostrou que, para *Eucalyptus*, o rendimento da polpa não branqueada se manteve constante com a variação da densidade básica, uma vez que o processo de polpação foi ajustado para atingir um número kappa objetivo (17-18). Em contraste, para *Pinus*, o rendimento diminuiu à medida que a densidade básica aumentou, sugerindo uma maior dificuldade de deslignificação com densidades mais altas.⁷

As madeiras de *Eucalyptus* com densidade básica média entre 450-550 kg/m³ são recomendadas para a indústria de celulose, pois proporcionam um bom rendimento de cozimento e menor consumo específico de madeira. O número kappa variou de 15,2 a 18,8 para *Eucalyptus* e de 30,9 a 31,5 para *Pinus*, refletindo a necessidade de ajustar as condições de cozimento conforme o tipo de madeira e a produção desejada.⁸

Influência da Composição Química da Madeira na Qualidade da Polpa Celulósica

A composição química da madeira tem um impacto significativo na qualidade da polpa celulósica não branqueada. Para *Eucalyptus*, o rendimento em polpa variou de 47,3% a 57,6%, sendo que teores mais altos de holocelulose (acima de 55%) correlacionaram-se com melhores rendimentos. Em contraste, o aumento no teor de lignina reduziu o rendimento de 56,7% para 54,7%. O teor de extrativos não apresentou uma tendência clara em *Eucalyptus*, refletindo sua baixa quantidade de extrativos.⁹

Para *Pinus*, o rendimento em polpa variou de 44,2% a 50,7%, aumentando com o teor de holocelulose e com o teor de lignina, em parte devido à menor densidade básica facilitando a deslignificação. O rendimento também foi afetado

negativamente pelo aumento do teor de extrativos, que variou de 2,8% a 6,4%.⁹ A relação entre composição química e número kappa foi estável, independentemente da madeira, com valores variando entre 17,0-18,0 para *Eucalyptus* e 30,0-32,0 para *Pinus*.¹⁰

Influências dos Parâmetros do Processo de Polpação na Qualidade da Polpa Celulósica

Os parâmetros do processo de polpação, como tempo e carga de álcali, foram ajustados para otimizar a qualidade da polpa não branqueada. Para *Eucalyptus*, o rendimento foi maior com condições extremas de cozimento (tempo e carga de álcali) e menor com combinações intermediárias. O número kappa variou pouco entre os diferentes parâmetros, indicando que a intensidade do processo de polpação foi ajustada para garantir a qualidade desejada da polpa não branqueada.

Conclusões

O estudo de Ramos et al. revelou que a densidade básica e a composição química da madeira desempenham papéis cruciais na eficiência e qualidade do processo de polpação celulósica, as madeiras de *Eucalyptus* com densidade média entre 450-550 kg/m³ e teores elevados de holocelulose e baixos de lignina são preferidas para otimizar o rendimento e a qualidade da polpa. Para *Pinus*, a menor densidade básica facilita a deslignificação, mas a presença elevada de lignina e extrativos pode impactar negativamente o rendimento e a qualidade da polpa. Esses achados são valiosos para a indústria, pois a escolha adequada do material genético pode influenciar diretamente o consumo de químicos e a eficiência do processo de polpação, além de impactar o custo energético e ambiental.

A pesquisa também evidenciou lacunas significativas na coleta e no reporte de dados cruciais, como a idade dos clones, o espaçamento e o local de procedência dos plantios. Isso sugere que, além da seleção da madeira, é essencial padronizar e aprimorar as práticas de coleta de dados para possibilitar uma análise mais precisa e comparativa entre diferentes materiais genéticos e condições de cultivo.

Além disso, o estudo destaca a importância de um maior investimento em estudos que correlacionem a composição química da madeira com os parâmetros de processo e qualidade da polpa, especialmente para *Pinus*, onde o conhecimento ainda é limitado. Essa abordagem permitirá não apenas a otimização dos processos de polpação, mas também a redução de custos e a mitigação dos impactos

ambientais, promovendo uma produção mais eficiente e sustentável na indústria de papel e celulose.

Contribuições por Autor

A resenha sobre o artigo em referência e a inclusão de algumas observações são de André L. X. S. Soares.

Conflito de Interesse

Não há conflito de interesses.

Agradecimentos

Agradeço ao grupo PET-Química/IQ/UnB, à Secretaria de Educação Superior do Ministério da Educação (SeSU/MEC) e ao Decanato de Ensino de Graduação (DEG/UnB) pelo apoio ao Programa de Educação Tutorial pela bolsa concedida. Ao Instituto de Química (IQ/UnB) e à Universidade de Brasília pelo suporte e espaço fornecidos.

Notas e referências

- 1 Feffer, Daniel, et al. Ibá Relatório Anual. 2023, <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf>.
- 2 Ramos, R. D., Longue Junior, D., Gomes, F. J. B., & Medeiros, N. C. G. Influência da densidade básica e da composição química da madeira para a indústria de polpa celulósica: um estudo de caso. *Ciência Florestal*, **34**(3), 1-21. 2024.
- 3 A. F. G. Gouvêa, P. F. Trugilho, J. L. Colodette, J. T. Lima, J. R. M. da Silva, and J. L. Gomide, Avaliação da madeira e da polpação Kraft em clones de Eucaliptos, *R. Árvore*, **33**(6), 1175-1185. 2009.
- 4 KOLLMANN, F. F. P. Tecnologia de la mader y sus aplicaciones, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera, **11**, 1959.
- 5 C. J. Biermann, Handbook of Pulping and Papermaking, Academic Press, 1996.
G. A. Smook, Handbook for Pulp & Paper Technologists, *Angus Wilde Publications*, **3 edn.**, 2002.
- 6 H. F. Medeiros Neto, Qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft, Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa, 2012, **1**, 1-10.
- 7 D. R. S. Santos, Avaliação tecnológica de clones-elite de *Eucalyptus* spp., crescendo no Estado de Goiás: qualidade do lenho para produção de polpa celulósica Kraft, Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2018, **3**, 3-6.
- 8 E. S. S. Segura, Avaliação das madeiras de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Acacia mearnsii* para produção de celulose kraft pelos processos convencional e LoSolids, Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2012, **2**, 45-70.
- 9 F. A. S. Duarte, Avaliação da madeira de *Betula pendula*, *Eucalyptus globulus* e de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* destinadas à produção de polpa celulósica Kraft, Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2007, **7**, 15-50.
- 10 T. F. A. Wehr, Variações nas características da madeira de *E. grandis* Hill ex maiden e suas influências na qualidade de cavacos em cozimento Kraft, Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1991, **9**, 10-35.