

Avaliação do potencial da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus kirtoniana* para produção de celulose

Wesley Munhoz Ribeiro¹; Vinícius Cury Berni¹; Osmarino Pires dos Santos²; Vanessa Vieira Trindade de Oliveira²; Franco Freitas Quevedo²; Gabriel Valim Cardoso¹

¹ Centro de Engenharias (CEng), Universidade Federal de Pelotas (UFPeI), Pelotas/RS, Brasil; ² Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), CMPC Celulose Riograndense, Guaíba/RS, Brasil – wesleymunhozribeiro@gmail.com

Resumo: Em função da diversidade de áreas disponíveis para o plantio de florestas de eucalipto para produção de celulose, com variações de solos, climas, topografia e outros fatores edafoclimáticos, as empresas do setor buscam espécies e materiais genéticos que melhor se adaptam a cada local de plantio, aliando a isto a seleção com base na qualidade da madeira visando a maior produtividade do processo. Neste sentido foram avaliadas madeiras de cinco clones de híbridos de *E. grandis* x *E. kirtoniana* de plantios da empresa CMPC quanto a composição química, densidade básica e deslignificação kraft. Os resultados de química da madeira, deslignificação kraft e consumo específico de madeira demonstraram que as madeiras dos clones de híbridos de *E. grandis* x *E. kirtoniana* apresentam potencial para produção de celulose.

Palavras-chave: Química da madeira, Deslignificação kraft, Consumo específico de madeira.

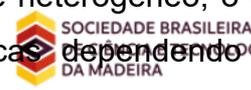
Assessment of the Potential of *Eucalyptus grandis* x *kirtoniana* Wood for Pulp Production

Abstract: Due to the diversity of areas available for planting eucalyptus forests for cellulose production, with variations in soil, climate, topography and other edaphoclimatic factors, companies in the sector look for species and genetic materials that best adapt to each planting location., combining this with selection based on the quality of the wood, aiming for greater productivity in the process. In this sense, wood from five hybrid clones of *E. grandis* x *E. kirtoniana* from CMPC plantations were evaluated for chemical composition, basic density and kraft delignification. The results of wood chemistry, kraft delignification and specific wood consumption demonstrated that wood from *E. grandis* x *E. kirtoniana* hybrid clones have potential for cellulose production.

Keywords: Wood chemistry, Kraft delignification, Specific wood consumption.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material orgânico e heterogêneo, o qual pode ter variações em suas propriedades físicas ou químicas dependendo da maneira, clima ou características do local em que foi cultivado, varia com relação a localização do lenho ao longo do tronco e entre os gêneros e as espécies da madeira Trugilho et



al. (2014).

O gênero *Eucalyptus* possui muitas espécies e, geralmente, os eucaliptos se desenvolvem com grande rapidez no Brasil, sendo uma espécie de rápido crescimento e, por consequência, a principal espécie cultivada no país. A madeira de reflorestamento do gênero *Eucalyptus* é destinada principalmente para as indústrias de polpa celulósicas ou carvão vegetal (Lima *et al.*, 2007). O Brasil tem se tornado um dos principais produtores de celulose de fibra curta branqueada de eucalipto, inclusive há forte participação nacional na evolução dos conhecimentos sobre as propriedades desta celulose e de sua utilização para fabricar papéis com propriedades distintas Campos e Foelkel (2016).

A composição química e a densidade da madeira têm grande impacto na produção de celulose, pois influenciam diretamente na polpação. Madeiras com densidades mais baixas facilitam a impregnação dos cavacos, agilizando a operação de polpação, porém densidades mais altas levarão a uma maior massa de madeira no digestor, melhorando a produção, por isso o equilíbrio desta propriedade deve ser encontrado. Em relação a composição química, ela vai impactar tanto no consumo de reagentes quanto nos resultados da polpação e na qualidade da celulose, portanto no setor de celulose busca-se constantemente madeiras com características químicas mais adequadas (Fantuzzi Neto, 2012; Gomide *et al.*, 2010).

O número kappa é um método utilizado para determinar a lignina remanescente da polpa de celulose após o cozimento, por isso é um índice importante para medir a qualidade da polpa na indústria (Correia *et al.*, 2019)

Plantios comerciais de *Eucalyptus kirtoniana* não são tradicionalmente realizados no Brasil, a espécie foi formalmente denominada desta forma em 1880 por Mueller, anteriormente era conhecido como *Eucalyptus resinífera*. Híbridos de *E. grandis* x *E. kirtoniana* apresentam características favoráveis para o seu desenvolvimento em áreas com solo encharcado, podendo ser uma alternativa para alguns plantios que possuem tal característica no Rio Grande do Sul (Santos *et al.*, 2013).

O objetivo desse estudo foi analisar características químicas da madeira de clones de híbridos de *E. grandis* x *E. kirtoniana* e de sua polpa a fim de conhecer seu potencial como fonte de matéria prima para a produção de celulose.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Seleção e coleta do material

Árvores de clones de híbridos de *E. grandis* x *E. kirtoniana* localizados em plantios da empresa CMPC Ltda no estado do Rio Grande do Sul foram abatidas e tiveram seus toretes transformados em cavacos e estes selecionados manualmente para a realização das análises no laboratório de Celulose e Papel da Universidade Federal de Pelotas.

O material foi dividido em 5 grupos amostrais, cada um representando um clone, compostos de três árvores de cada clone.

2.2 Análises

Primeiramente foi determinada a densidade básica das amostras seguindo a Norma Brasileira - NBR - 11941, Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2003)

Para a análise química da madeira, primeiramente foi utilizada a norma TAPPI T 204 cm-07 *Solvent extractives of wood and Pulp* (2007) para encontrar o teor de extrativos em acetona e em água quente, o teor de extrativos total foi determinado pela soma dos teores de extrativos em acetona e em água quente. A lignina total foi determinada pela soma dos teores de lignina insolúvel e solúvel, as quais foram determinadas de acordo com a norma TAPPI 222 om-11 *Acid insoluble lignin in wood and Pulp* (2001). O teor de cinzas foi obtido seguindo a orientação da norma TAPPI T 211 om-12 *Ash in wood, pulp, paper and paperboard* (2002).

Os parâmetros da deslignificação kraft são apresentados na Tabela 1. O processo foi realizado em digestor laboratorial convencional em duplicata usando 100 gramas de cavacos e relação licor madeira de 4:1.

Tabela 1. Parâmetros da deslignificação kraft

Temperatura	Alcali ativo	Sulfidez	Tempo total
158°C	22%	30%	3 horas

O número kappa das polpas obtidas no cozimento foi determinado de acordo com a norma ABNT NBR ISO 302:2018

O rendimento total do cozimento foi determinado pela pesagem da polpa obtida após a individualização e depuração, as fibras que não foram deslignificadas

e que ficaram retidas na peneira foram classificadas como rejeitos para determinar o rendimento depurado que é obtido pela subtração do teor de rejeitos do rendimento total. A partir de todos os dados encontrados consumo específico de madeira também pode ser determinado.

Os resultados encontrados passaram por uma análise de variância – ANOVA e teste Tukey com 95% de confiança.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão descritos os valores de densidade básica encontrados para a madeira dos cinco clones estudados.

Tabela 2. Densidade da madeira de *E. grandis* x *E. kirtoniana*.

Clone	1	2	3	4	5	Média
Densidade básica (Kg/m ³)	452	456	439	451	455	451

Em média a densidade básica da madeira dos clones de *E. grandis* x *E. kirtoniana* foi 451 Kg/m³, com os valores variando entre 439 e 456 Kg/m³. A densidade básica tem correlação significativa com o consumo específico de madeira para a produção de celulose, onde densidades mais altas diminuem o consumo específico de madeira, entretanto madeiras de densidades muito altas podem precisar de maiores quantidades de álcali no cozimento, portanto a faixa de densidade ideal para a indústria de celulose e papel é cerca de 500 kg/m³ (Giesbrecht *et al.*, 2022; Gomide *et al.* 2010)

Na Tabela 3 estão os resultados da composição química da madeira dos teores de extrativos em acetona, em água quente e total da madeira de *E. grandis* x *E. kirtoniana*.

Tabela 3. Teores de extrativos do *E. grandis* x *E. kirtoniana*

Clone	Extrativos em acetona (%)	Extrativos em água quente (%)	Extrativos Totais (%)
1	1,75 a	1,46 a	3,20 ac
2	1,75 a	1,58 a	3,33 c

3	1,37 b	1,47 ab	2,84 b
4	1,59 ab	1,65 ab	3,23 c
5	1,35 b	1,62 ab	2,96 ab

Em que: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey, com $p < 0,05$.

O teor médio de extrativos totais para o *E. grandis* x *E. kirtoniana* foi de 3,11%, destacando-se os clones 3 e 5 que apresentam teor de extrativos menores que 3%. Os extrativos atrapalham a produção de celulose, pois alguns tipos de extrativos como os ácidos resinosos e polifenóis reagem com o hidróxido de sódio do licor negro durante a polpação, diminuindo a carga de álcali e complicando o processo de produção de celulose, além de se depositar em superfícies metálicas dos equipamentos formando incrustações chamadas de *pitch*, causando prejuízos para a fábrica e afetando a qualidade da celulose (Zanuncio *et al.*, 2013).

Na Tabela 4 estão descritos os teores de lignina insolúvel, lignina solúvel, lignina total e cinzas do *E. grandis* x *E. kirtoniana*.

Tabela 4. Teores de lignina e cinzas do *E. grandis* x *E. kirtoniana*.

Clone	Teor de Lignina Insolúvel (%)	Teor de Lignina Solúvel (%)	Teor de Lignina Total (%)	Teor de cinzas (%)
1	25,25 a	2,94a	28,19a	0,32a
2	23,61c	3,11a	26,72b	0,36a
3	25,05ab	2,69a	27,74ac	0,37a
4	24,60ab	3,08a	27,68ac	0,37a
5	24,30bc	2,99a	27,29bc	0,35a

Em que: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey, com $p < 0,05$.

Observa-se na Tabela 4 que o teor de lignina total é em média 27,52%, com valores variando entre 26,72% e 28,19%, estes valores são ligeiramente menores que os encontrados para *E. grandis* x *E. urophylla* por Morais *et al.* (2017) que obteve valores entre 28,7% e 31,6%. Os valores de lignina total também foram menores que os encontrados por Gouvêa *et al.* (2015) que encontrou para 8 árvores de clones de híbridos *E. grandis* x *E. urophylla* com 3 anos de idade, resultados que variaram entre 28,08% e 31,11%, obtendo uma média de cerca de 29,92%. A lignina é um constituinte indesejável na produção de celulose, pois maiores teores

de lignina acarretam uma maior quantidade de álcali necessária no cozimento e diminui o rendimento depurado (Cardoso *et al.*, 2011).

O teor de cinzas variou entre 0,32% e 0,37%, em indústrias de celulose a presença de cinzas pode provocar incrustações e corrosões nas tubulações e equipamentos portanto, é benéfico escolher madeiras com baixo teor de cinzas (Pereira *et al.*, 2019).

Os resultados referentes ao rendimento dos cozimentos, número kappa das polpas e consumo específico da madeira podem ser encontrados na Tabela 5.

Tabela 5. Rendimentos, número kappa e consumo de madeira de *E. grandis* x *E. kirtoniana*.

Clone	Rendimento depurado (%)	Teor de rejeitos (%)	Rendimento total (%)	Número kappa	CEM (m ³ /t _{sa})
1	52,2 a	0,4 a	52,6 a	16,8 a	3,8
2	54,3 a	0,2 a	54,5 a	19,5 a	3,6
3	53,4 a	0,2 a	53,6 a	17,9 a	3,8
4	52,8 a	0,4 a	53,2 a	18,2 a	3,8
5	52,7 a	0,3 a	53,0 a	18,3 a	3,8

Em que: CEM = consumo específico de madeira. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey, com $p < 0,05$.

Os resultados encontrados para o número kappa variam de 16,8 a 19,5 apresentando média de 18,1. Os resultados obtidos para o número kappa do híbrido de *E. grandis* x *E. kirtoniana* no presente estudo são semelhantes ao encontrado para híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* na literatura, Palmeiras (2010) determinou o número kappa 17, enquanto Segura (2012) obteve números kappa, para cozimentos convencionais, valores entre 15,5 e 18. Em relação ao rendimento depurado Palmeiras (2010) e Segura (2012) encontraram em média 56,6% e 54,1% respectivamente, o rendimento depurado de *E. grandis* x *E. kirtoniana* não se distanciou, com valores variando entre 52,2 e 54,3%, obtendo em média 53%.

O consumo específico médio de madeira dos clones de híbridos de *E. grandis* x *E. kirtoniana* foi 3,8 m³/t_{sa}, valor abaixo do encontrado por Lengowski *et al.* (2018) para a madeira de *Eucalyptus* sp., com carga alcalina de 22%, encontrou cerca de 5,3 m³/t_{sa}.

4. CONCLUSÃO

As madeiras de clones de híbridos de *E. grandis* x *E. kirtoniana* apresentam potencial para produção de celulose, com valores de rendimento de polpa e consumo específico de madeira próximos ou até melhores aos relatados na literatura para o gênero *Eucalyptus*.

5. REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 302:2018**: Pastas celulósicas — Determinação do número Kappa. Rio de Janeiro, 2018.

CAMPOS, Edison da Silva; FOELKEL, Celso. **A evolução tecnológica do setor de celulose e papel no Brasil**. São Paulo: ABTCP—Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 2016.

CARDOSO, Gabriel Valim; FOELKEL, C.E.B.; FRIZZO, Sonia Maria Bitencourt; DA ROSA, Cláudia Beltrão; DE ASSIS, Teotônio Francisco; OLIVEIRA, Patrícia Rossi. Efeito do teor de lignina da madeira de *Eucalyptus globulus* Labill. no desempenho da polpação kraft. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 133-147, 2011.

CORREIA, Flávio Marcelo; D'ANGELO, José Vicente Hallak; SILVA JUNIOR, F. G. Revisitando número Kappa: conceitos e aplicações na indústria de celulose. **O Papel**, São Paulo, v. 80, p. 77-89, 2019.

FANTUZZI NETO, Humberto. **Wood quality of Eucalyptus for kraft pulp production**. 2012. 119 f. Tese (Doutorado em Manejo Florestal; Meio Ambiente e Conservação da Natureza; Silvicultura; Tecnologia e Utilização de) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

GIESBRECHT, Bruna Mohr; COLDEBELLA, Rodrigo; GENTIL, Mariana Serenário; NUNES, Gabriel Raamon Santana; FINGER, Matheus Redel; JARDIM, Juliana; PEDRAZZI, Cristiane; CARDOSO, Gabriel Valim. Performance da madeira de *Acacia mearnsii* De Wild para polpação kraft. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 266-286, jan./mar. 2022.

GOUVÊA, A. F. G., TRUGILHO, P. F., OLÍMPIA, A. C., ASSIS, M. R., COLODETTE, J. L., & GOMES, C. M. Avaliação do efeito da relação siringila/guaiacila da lignina de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 6, n. 2, 2015.

LENGOWSKI, E. C.; GMACH, F.; ARRUDA, L. J.; ANTONIO, E.; JÚNIOR, B.; DE ANDRADE, A. S.; KLOCK, U. Desempenho de madeiras de *Pinus spp.* e *Eucalyptus spp.* frente ao processo de polpação kraft. In: SEMANA DE APERFEIÇOAMENTO

EM ENGENHARIA FLORESTAL DA UFPR, 2., 2018, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2018.

LIMA, C. K. P., MORI, F. A., MENDES, L. M., & CARNEIRO, A. D. C. O. Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**, v. 13, n. 2, p. 123-129, 2007.

MORAIS, P. H. D. D.; LONGUE, D.; COLODETTE, J. L.; MORAIS, E. H. D. C.; JARDIM, C. M. Influência da idade de corte de clones de *Eucalyptus grandis* e híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* na composição química da madeira e polpação kraft. **Ciência Florestal**, v. 27, p. 237-248, 2017.

PALMEIRAS, Livia Paula Silva. **Quantificação de metanol celulósico obtido a partir de licor negro de processos kraft de polpação**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

PEREIRA, A. K. S.; LONGUE JUNIOR, D.; MAFRA NETO, C. da S.; COLODETTE, J. L.; GOMES, F. J. B. Determinação da composição química e potencial de polpação da madeira *Pterogyne nitens* Tul. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 4, p. 1490–1500, 2019.

SANTOS, G.A.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, L. D.; HIGA, A.; ASSIS, T. F.; Adaptabilidade de híbridos multiespécies de *Eucalyptus* no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.4, p.759-769, 2013.

SEGURA, Tiago Edson Simkunas. **Avaliação das madeiras de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Acacia mearnsii* para a produção de celulose kraft pelos processos convencional e Lo-Solids®**. 2012. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Acid-insoluble lignin in wood and pulp, Test Method T 222 om-11. 2001.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C. T 211 om-02. 2002, 5 p.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Solvent extractives of wood and pulp. Atlanta, 2007. 4p. (T204 cm-07).

TRUGILHO, P. F., Goulart, S. L., Assis, C. O. D., Couto, F. B. S., Alves, I. C. N., Protásio, T. D. P., & Napoli, A. Características de crescimento, composição química, física e estimativa de massa seca de madeira em clones e espécies de *Eucalyptus* jovens. **Ciência Rural**, v. 45, n. 04, p. 661-666, 2014.

ZANUNCIO, A. J. V.; COLODETTE, J. L.; GOMES, F. J. B.; CARNEIRO, A. D. C. O.; VITAL, B. R. Composição química da madeira de eucalipto com diferentes níveis de desbaste. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 4, p. 755-760, 2013.