

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE
MATERIAIS



Dissertação

**Análise da qualidade da madeira de híbridos de *Corymbia* para a produção de
celulose kraft**

Marco Antônio Muniz Fernandes

Pelotas, 2022

Marco Antônio Muniz Fernandes

**Análise da qualidade da madeira de híbridos de *Corymbia* para a produção de
celulose kraft**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais do Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador: Mário Lúcio Moreira

Coorientador: Gabriel Valim Cardoso

Pelotas, 2022

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

F364a Fernandes, Marco Antônio Muniz

Análise da qualidade da madeira de híbridos de *Corymbia* para a produção de celulose kraft / Marco Antônio Muniz Fernandes ; Mário Lúcio Moreira, orientador ; Gabriel Valim Cardoso, coorientador. — Pelotas, 2022.

66 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2022.

1. Qualidade da madeira. 2. Cozimento kraft. 3. Densidade. 4. Número kappa. 5. Rendimento de polpa. I. Moreira, Mário Lúcio, orient. II. Cardoso, Gabriel Valim, coorient. III. Título.

CDD : 620.11063

Marco Antônio Muniz Fernandes

Análise da qualidade da madeira de híbridos de *Corymbia* para a produção de celulose kraft

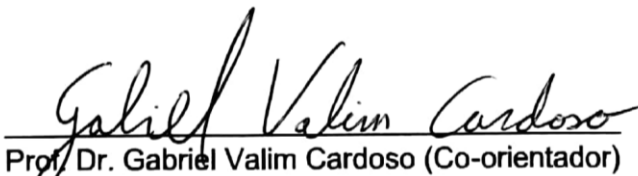
Dissertação aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 08 de dezembro de 2022

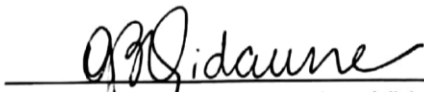
Banca examinadora:



Prof. Dr. Mário Lúcio Moreira (Orientador)
Doutor em Química pela Universidade Federal de São Carlos



Prof. Dr. Gabriel Valim Cardoso (Co-orientador)
Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Pelotas



Prof. Dr. Graziela Baptista Vidaurre
Doutora em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa



Prof. Dr. André Luiz Missio
Doutor em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria

Marco Antônio Muniz Fernandes

Análise da qualidade da madeira de híbridos de *Corymbia* para a produção de celulose kraft

Atestado de conclusão do estudo de ranqueamento de clones híbridos do gênero *Corymbia*, desenvolvida a partir desta dissertação e vinculada ao Projeto de Pesquisa, código 3303, da Universidade Federal de Pelotas, sob o título "Gestão da qualidade de madeiras de florestas plantadas para produção de celulose e papel", em parceria com a empresa CMPC Celulose Riograndense.

Data da defesa: 08 de dezembro de 2022

Equipe de ação:



Prof. Dr. Gabriel Valim Cardoso (UFPel)

Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Pelotas



Prof. Dr. Mário Lúcio Moreira (UFPel)

Doutor em Química pela Universidade Federal de São Carlos



Msc. Osmarino Pires dos Santos (CMPC)

Mestre em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas e pesquisador de melhoramento genético pela CMPC Celulose Riograndense

Aos meus pais e ao meu irmão, dedico este
trabalho.

Agradecimentos

Aos meus pais, Pedro de Souza Fernandes e Maria Elizete Borba Muniz, por todo o amor, confiança e apoio que sempre me deram em todas as etapas da minha vida.

Ao meu irmão Maicom Muniz Fernandes, por toda parceria e amizade de sempre.

Aos meus orientadores Gabriel Valim Cardoso e Mário Lúcio Moreira, pelos ensinamentos, pela amizade e por toda confiança que garantiram a elaboração deste e de outros projetos.

À Universidade Federal de Pelotas, em especial ao Programa de pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais e ao curso de Engenharia Industrial Madeireira, por toda estrutura disponibilizada para realização das análises, mesmo que estivesse em meio ao enfrentamento de uma longa pandemia de covid e os diversos cortes de recursos na educação.

À empresa CMPC Celulose Riograndense pelo projeto de parceria e pela disponibilização de recursos, materiais e mão de obra para realização deste estudo.

Ao pesquisador de melhoramento genético Osmarino Pires dos Santos, da empresa CMPC Celulose Riograndense, pela parceria ao longo do projeto e por instigar no desenvolvimento de mais pesquisas sobre o gênero *Corymbia*.

À empresa RS Florestal e a todos os colaboradores que desempenharam um papel fundamental na coleta e beneficiamento das amostras, em especial aos colegas de trabalho Rodrigo Santos Didio e Adriano Rizzi.

Aos meus amigos Laíse Vergara Nornberg, Mateus Fiss Timm, Vinicius Nagatomo e José Acuña por todos os momentos de descontração, hospitalidade e apoio para que este trabalho pudesse ser realizado.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste estudo.

Resumo

FERNANDES, Marco Antônio Muniz. **Análise da qualidade da madeira de híbridos de *Corymbia* para a produção de celulose kraft**. Orientador: Mário Lúcio Moreira. Coorientador: Gabriel Valim Cardoso. 2022. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

O Brasil destaca-se como o maior produtor de celulose de fibra curta do mundo e, apesar dos resultados alcançados através do cultivo do eucalipto, outras culturas, como as espécies do gênero *Corymbia* estão sendo estudadas. O gênero *Corymbia* tem sido estudado em programas de melhoramento genético visando o aumento de produtividade, qualidade da madeira e resistência a fatores bióticos e abióticos. Neste contexto, o presente trabalho avaliou a qualidade da madeira de clones híbridos de *Corymbia torelliana* e *Corymbia citriodora* para a produção de celulose kraft. Foram analisados dez clones híbridos do gênero *Corymbia* e um clone de *Eucalyptus saligna* como tratamento testemunha, ambos com 6 anos de idade e pertencentes ao mesmo local de plantio. A qualidade da madeira foi avaliada quanto a composição química e densidade básica. A qualidade da madeira para polpação foi avaliada quanto ao rendimento depurado, número kappa, teor de rejeitos e consumo específico de madeira. Foi realizado um cozimento com blend de madeiras na proporção 50/50 m/m, utilizando *E. saligna* e o híbrido de *Corymbia* com melhores resultados de polpação. Todos os clones do gênero *Corymbia* apresentaram densidade básica superior ao tratamento testemunha, com resultados variando de 509,3 a 607,0 kg/m³. Para as características químicas, os híbridos de *Corymbia* variaram de 2,53 a 8,16% para extrativos totais, 25,84 a 28,42% para lignina total, 0,5 a 1,17% para cinzas e 65,35 a 70,84% para holocelulose. Na polpação, o híbrido de *Corymbia* com melhor desempenho obteve rendimento depurado de 53,24%, kappa de 22,2, rejeitos de 0,91% e consumo específico de 3,11 m³/tSA. O blend mostrou-se uma ótima alternativa como fonte de fibras e redução no consumo específico de madeira. O aumento do teor de extrativos influenciou negativamente na qualidade da polpa, ao passo que o aumento deste parâmetro resultou na queda de rendimento e aumento do número kappa para os híbridos de *Corymbia*. O estudo permitiu realizar o ranqueamento e indicar os clones com maior potencial para a produção comercial de celulose, de forma a atender a demanda da empresa CMPC Celulose Riograndense.

Palavras-chave: Qualidade da madeira. Cozimento kraft. Densidade. Número kappa. Rendimento de polpa.

Abstract

FERNANDES, Marco Antonio Muniz. **Quality analysis of *Corymbia* hybrid wood for kraft pulp production**. Advisor: Mário Lúcio Moreira. Co-advisor: Gabriel Valim Cardoso. 2022. 66 f. Dissertation (Master's in Materials Science and Engineering) – Center for Technological Development, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2015.

Brazil stands out as the largest producer of hardwood pulp in the world and, despite the results achieved through the cultivation of eucalyptus, other crops, such as species of the genus *Corymbia*, are being studied. The genus *Corymbia* has been studied in genetic improvement programs aimed at increasing productivity, wood quality and resistance to biotic and abiotic factors. In this context, the present work evaluated the wood quality of hybrid clones of *Corymbia torelliana* and *Corymbia citriodora* for the production of kraft pulp. Ten hybrid clones of the genus *Corymbia* and one clone of *Eucalyptus saligna* as a control treatment were analyzed, both 6 years old and belonging to the same planting site. The quality of the wood was evaluated in terms of chemical composition and basic density. The quality of wood for pulping was evaluated in terms of screened yield, kappa number, waste content and specific wood consumption. Cooking was carried out with a wood blend in the proportion 50/50 m/m, using *E. saligna* and the *Corymbia* hybrid with better pulping results. All clones of the genus *Corymbia* showed a higher basic density than the control treatment, with results ranging from 509.3 to 607.0 kg/m³. For chemical characteristics, the *Corymbia* hybrids ranged from 2.53 to 8.16% for total extractives, 25.84 to 28.42% for total lignin, 0.5 to 1.17% for ash and 65.35 to 70.84% for holocellulose. In pulping, the *Corymbia* hybrid with the best performance obtained a screened yield of 53.24%, kappa of 22.2, rejects of 0.91% and specific consumption of 3.11 m³/tSA. The blend proved to be a great alternative as a source of fiber and a reduction in the specific consumption of wood. The increase in the extractives content had a negative influence on the pulp quality, whereas the increase in this parameter resulted in a drop in yield and an increase in the kappa number for the *Corymbia* hybrids. The study made it possible to perform a ranking and indicate the clones with the greatest potential for commercial pulp production, in order to meet the demand of the company CMPC Celulose Riograndense.

Keywords: Wood quality. Kraft cooking. Density. kappa number. Pulp yield.

Lista de Figuras

Figura 1 - Área de ocorrência natural da espécie <i>Corymbia torelliana</i> na Austrália. .	16
Figura 2 - Área de ocorrência natural da espécie <i>Corymbia citriodora</i> na Austrália. .	17
Figura 3 - Delineamento experimental.	23
Figura 4 - Abate de árvores no local do experimento. A) Medição da altura comercial; B) Toretes retirados e descascados; C) Discos retirados para análise.	24
Figura 5 - Posição de coleta dos discos e toretes para as árvores estudadas.	24
Figura 6 - Processo de picagem. A) Picador de cavacos; B) Secagem de cavacos. .	25
Figura 7 – Classificação dos cavacos. A) Aceitos para cozimento; B) <i>Oversize</i> ; C) Nós.	26
Figura 8 – Esquema de confecção das cunhas e saturação das fibras em vaso de pressão.	27
Figura 9 - Digestor rotativo para polpação kraft convencional. A) Carregamento das células de cozimento; B) Célula de cozimento; C) Digestor.	31
Figura 10 - Depurador laboratorial Somerville. A) Depurador e caixa de lavagem; B) Peneira do depurador.	32
Figura 11 - Densidade básica da madeira.	34
Figura 12 - Teor de cinzas.	42
Figura 13 - Rendimento depurado.	44
Figura 14 - Relação entre rendimento depurado e número kappa.	45
Figura 15 - Consumo específico de madeira.	47
Figura 16 - Correlação linear de Pearson para densidade básica e consumo específico de madeira.	48
Figura 17 - Teor de rejeitos.	49

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Identificação dos clones utilizados no estudo.	22
Tabela 2 - Condições de cozimento.	32
Tabela 3 - Parâmetros de polpação e metodologia utilizada.....	33
Tabela 4 - Composição química da madeira.	36
Tabela 5 - Teores de extrativos em acetona e extrativos totais	38
Tabela 6 - Teores de lignina insolúvel, solúvel e total.	40
Tabela 7 - Resultados de polpação.....	43
Tabela 8 - Matriz de correlação de Pearson.....	51

SUMÁRIO

1. Introdução	13
2. Objetivo.....	14
2.1. Objetivo geral	14
2.2. Objetivos específicos	14
3. Revisão de literatura.....	15
3.1. Gênero <i>Corymbia</i>	15
3.2. Características da madeira de <i>Corymbia</i>	18
3.3. Densidade básica da madeira.....	18
3.4. Polpação kraft	20
3.5. Qualidade da polpa celulósica	21
4. Material e métodos	22
4.1. Material	22
4.2. Amostragem.....	23
4.3. Picagem	25
4.4. Classificação dos cavacos	25
4.5. Densidade básica da madeira.....	26
4.6. Composição química.....	28
4.6.1. Preparação das amostras.....	28
4.6.2. Extrativos totais	28
4.6.3. Cinzas.....	29
4.6.4. Lignina total	29
4.6.5. Holocelulose	30
4.7. Polpação kraft	30
4.7.1. Análise da polpação	33
4.8. Análise dos dados.....	33
5. Resultados e discussão	34

5.1. Densidade básica.....	34
5.2. Composição química.....	35
5.2.1. Extrativos.....	37
5.2.2. Lignina total	39
5.2.3. Holocelulose	41
5.2.4. Cinzas.....	42
5.3. Polpação e número Kappa.....	43
5.4. Consumo específico de madeira.....	47
5.5. Rejeitos	49
5.6. Análise de correlações	50
6. Conclusões.....	52
Referências.....	54
Anexos	62
Anexo A – Manual do Laboratório de Qualidade da Madeira CMPC	63
Anexo B – Metodologia de determinação da concentração de NaOH	64
Anexo C – Metodologia de determinação da concentração de Na ₂ S.....	65

1. Introdução

No ano de 2020 o setor de florestas plantadas totalizou uma área de 9,55 milhões de hectares para fins industriais, onde, aproximadamente 78% (7,47 milhões de hectares) desta área é composta pelo cultivo de eucalipto (IBÁ, 2021).

O predomínio das florestas plantadas está diretamente relacionado com a alta produtividade do deste gênero, o que se deve a diversos fatores, como as condições climáticas do país, as técnicas avançadas de manejo silvicultural e, principalmente, os programas e melhoramento genético especializados neste gênero (ASSIS, 2014).

Entre os principais segmentos do setor de árvores plantadas, destaca-se a produção industrial de celulose. No ano de 2020 o Brasil manteve-se como o segundo maior produtor de celulose do mundo, com uma produção de 21,0 milhões de toneladas, sendo que deste total, 18,2 milhões de toneladas foram produzidas a partir da fibra curta de eucalipto (IBÁ, 2021).

Apesar dos amplos estudos sobre o *Eucalyptus*, houve uma expansão do cultivo de espécies não usuais em programas de melhoramento genético, visando a obtenção de materiais produtivos e com resistência a fatores bióticos e abióticos. Neste contexto, diversos estudos vêm sendo realizados com espécies do gênero *Corymbia*, tais como *Corymbia citriodora*, *Corymbia torelliana*, *Corymbia maculata* e seus híbridos (ASSIS, 2014; VALENTE, 2015).

Os estudos de uso do *Corymbia* para produção de celulose remontam aos anos 1970 e 1990, quando as espécies do gênero ainda eram classificadas como *Eucalyptus*. A madeira de *Corymbia* apresenta alta densidade básica, o que lhe conferem vantagens na produção de celulose como redução no consumo específico de madeira e consequentemente redução nos custos de produção, em contrapartida essa característica tem como desvantagem o desgaste de picadores, maior teor de rejeitos, dificuldade de impregnação do licor e maior consumo de reagente (SEGURA, 2015).

Apesar do potencial tecnológico, a ausência de programas de melhoramento genético e a menor produtividade florestal em relação ao eucalipto, reduziram o interesse do setor pelo uso de espécies de *Corymbia* para produção de celulose (REIS *et al.*, 2013; SEGURA, 2015).

Neste contexto, com base na evolução dos programas de melhoramento genético e a baixa quantidade de pesquisas sobre o gênero *Corymbia* para a produção de celulose, o presente estudo tem como objetivo caracterizar a qualidade das madeiras de clones de híbridos de *Corymbia* e avaliar o desempenho destes materiais quando empregados no processo kraft de polpação.

2. Objetivo

2.1. Objetivo geral

Este estudo tem como objetivo avaliar a qualidade da madeira de diferentes clones de híbridos do gênero *Corymbia* para a produção de celulose kraft quando comparadas com a madeira comercial de *Eucalyptus saligna*.

2.2. Objetivos específicos

O estudo tem como objetivo específico:

- Determinar a densidade básica das madeiras estudadas;
- Determinar a composição química das madeiras estudadas quanto aos seus teores de lignina, extrativos, cinzas e holocelulose;
- Realizar a polpação kraft das madeiras estudadas e avaliar os parâmetros de qualidade do cozimento e das polpas produzidas.
- Estabelecer correlações entre os parâmetros estudados para os híbridos de *Corymbia*;
- Realizar o ranqueamento dos clones de *Corymbia* com base nos resultados encontrados.

3. Revisão de literatura

3.1. Gênero *Corymbia*

O gênero *Corymbia*, classificado como gênero *Eucalyptus* até os anos 1990, é um gênero nativo da Austrália, pertencente à família Myrtaceae e compreende aproximadamente 113 espécies (SEGURA, 2015). De acordo com Moura e Franzener (2014) é difícil determinar com precisão a data exata de introdução do *Corymbia* no Brasil, uma vez que estes materiais ingressaram no país como *Eucalyptus*.

Após diversas controvérsias relacionadas à taxonomia das espécies serem registradas ao decorrer dos anos, o gênero *Corymbia* foi formalmente considerado um gênero no ano de 1995, reclassificando algumas espécies até então conhecidas como *Eucalyptus* (HILL e JOHNSON, 1995). Desta forma, as espécies de *Corymbia* mais difundidas no Brasil passam a ser renomeadas como *Corymbia citriodora*, *Corymbia torelliana* e *Corymbia maculata* (VIEIRA, 2004).

A espécie *C. torelliana* hoje é reconhecida como nativa da Austrália, mais especificamente da região norte de Queensland (Figura 1) e se distribuem em altitudes que variam de 30 a 750 metros, com temperaturas nos meses mais quentes variando entre 29 a 31°C e nos meses mais frios de 12 a 15°C, a precipitação pluviométrica média anual é na ordem de 2000mm. Ocorre com pouca frequência em área de geada, entretanto pode tolerar frios extremos de -10°C (REIS, *et al.*, 2014). As árvores desta espécie, quando adultas, podem atingir de 20 a 30 metros de altura, e diâmetro de mais de 1 metro no tronco (SEGURA, 2015). A casca é caracterizada pela cor cinza a pardo-escura, lisa e verde na região do tronco (REIS, *et al.*, 2013).

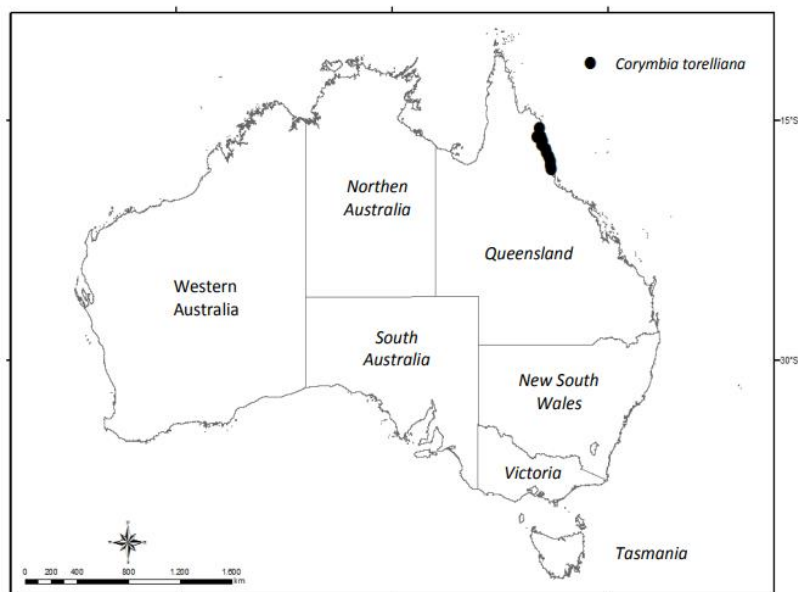


Figura 1 - Área de ocorrência natural da espécie *Corymbia torelliana* na Austrália.
Fonte: REIS, *et al.*, 2013.

A espécie *C. citriodora* possui ocorrência natural na faixa leste da Austrália, em especial no estado de Queensland e estende-se até o norte do estado de New South Wales (Figura 2), ocorrendo em altitudes que variam de 30 a 1100 metros. As temperaturas médias nos locais variam de 29 a 30°C nos meses mais quentes e de 8 a 9°C nos meses mais frios, eventualmente, em temperaturas mais extremas pode suportar até 39°C em períodos de seca (5 a 7 meses) e em áreas de geadas leves pode suportar temperaturas de -3°C. Com relação a precipitação, a espécie necessita de precipitação pluviométrica anual mínima de 600mm. Desta forma, há possibilitando de seleção de indivíduos geneticamente superiores para tolerância à geada e seca. As árvores de *C. citriodora* apresentam altura de 25 a 40 metros quando adultas e possuem folhas com aroma cítrico característico. O tronco das árvores desta espécie apresenta casca lisa, com coloração em tom creme, rósea ou cinza (FERREIRA, 1979; REIS, *et al.*, 2013; SEGURA, 2015).

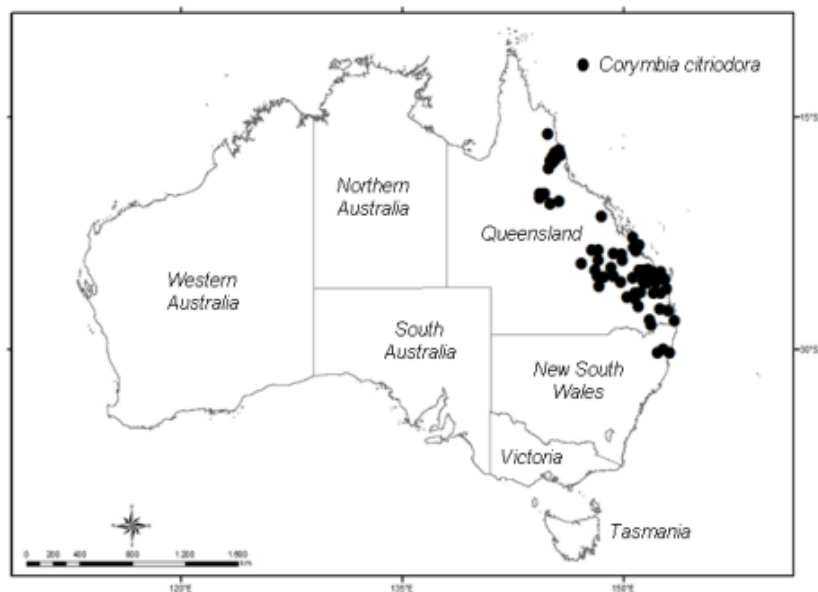


Figura 2 - Área de ocorrência natural da espécie *Corymbia citriodora* na Austrália.
Fonte: REIS, *et al.*, 2013.

Portanto, devido as características climáticas de ocorrência das espécies de *C. citriodora* e *C. torelliana*, as espécies, neste aspecto adequam-se perfeitamente ao território brasileiro. De acordo com Reis *et al.*, (2013), as espécies do gênero *Corymbia* são consideradas de difícil propagação, com a exceção da espécie *C. torelliana* que apresenta enraizamento viável quando comparado com outras espécies do gênero. Segundo os mesmos autores, a dificuldade de enraizamento é a razão pelas quais as plantações comerciais das espécies de *Corymbia* tem sido estabelecida por meio de semente.

Devido a melhor capacidade de enraizamento, a espécie *C. torelliana* vem sendo utilizada como genitor feminino em híbridos nos programas de melhoramento genético, gerando maior quantidade de clones com níveis de enraizamento comercial (REIS *et al.*, 2014; ASSIS, 2000).

De acordo com Reis *et al.* (2014), os híbridos de *C. torelliana* x *C. citriodora* possuem outras características positivas além do enraizamento, tais como crescimento, densidade e resistência a pragas comumente encontradas em plantios danificados de eucalipto.

3.2. Características da madeira de *Corymbia*

A madeira da espécie *C. torelliana* é composta por cerne de cor marrom escuro e alburno branco, grã direita ou revessa e ocasionalmente ondulada. A madeira da espécie *C. citriodora* é caracterizada por apresentar cerne com coloração variando de castanho claro a marrom e alburno com coloração mais clara em relação ao cerne (REIS *et al.*, 2014).

Com relação às propriedades físicas da madeira e polpação, Gardner *et al.* (2007) em estudo com a utilização de madeira de *C. citriodora* com densidade básica de 637kg/m³, apresentaram resultados de rendimento depurado de 54,3% e número kappa 29,4. Segura (2015) ao estudar o gênero *Corymbia* e seus híbridos para produção de celulose, encontrou rendimento depurado variando de 46,5 a 51,7% para madeira híbridos, 50,5% para madeira de *C. torelliana* e 49,5 a 54,1% para madeira de *C. citriodora*.

Quanto à composição química da madeira, Mezzomo (1996) obteve teor de lignina de 22,3%, 17,9% de pentosanas e 0,47% de cinzas. Em estudo realizado por Barrichelo e Brito (1976), os autores obtiveram teor de lignina de 22%, pentosanas de 23% e 1% de cinzas, para a madeira de *C. citriodora* com densidade de 465kg/m³. Segura (2015) obteve valores de lignina total variando de 20,35 a 24,68%, extrativos totais de 2,54 a 9,81% e cinzas de 0,28 a 0,75%, para a madeiras da espécie *Corymbia* e sus híbridos. Sendo assim, os resultados da literatura convergem para um padrão de referência para o presente estudo.

3.3. Densidade básica da madeira

De acordo com Foelkel, Brasil e Barrichelo (1971), a densidade da madeira é uma combinação resultante de diversos fatores, tais como as dimensões das fibras (espessura da parede celular), volume dos vasos e parênquimas, proporção entre madeira outonal e primaveril e arranjo dos elementos anatômicos.

A densidade é considerada um dos principais parâmetros de avaliação da qualidade da madeira, uma vez que este parâmetro apresenta relação com outras características da madeira, influenciando assim no seu uso (BURGER E RICHER, 1991).

A da densidade básica da madeira é determinada pela relação entre a massa seca e seu volume é obtido através do deslocamento de um fluido (água) quando uma peça de madeira é imersa acima do ponto de saturação das fibras (KOLLMANN e CÔTÈ, 1968). A densidade, por estar relacionada com diversos fatores da madeira, varia entre espécies e dentro da própria árvore (MILAGRES, 2009).

Este parâmetro é fortemente influenciado pela base genética, pelo ambiente e pela interação entre estes, também pode sofrer variações de acordo com a idade, taxa de crescimento das árvores, clima ao longo dos anos, tratamentos silviculturais e sítio (RUY, 1998; ALZATE, 2004).

Dentre os métodos existentes para a determinação da densidade básica da madeira, o que mais se destaca é o método de imersão, baseado no princípio de Arquimedes, devido a sua praticidade. Este método baseia-se na relação entre a massa da amostra seca em estufa e o seu volume. Para determinação do volume da é realizada a saturação das fibras do corpo de prova em água e posteriormente é verificado o deslocamento de água em balança hidrostática ao imergir a amostra, onde é considerado a massa deslocada de igual ao volume ocupado pelo corpo de prova (FOELKEL, BRASIL e BARRICHELO, 1971).

A maioria das espécies de *Corymbia* e seus híbrido apresentam madeira com densidade básica acima de 600kg/m³ aos 7 anos de idade, enquanto que algumas espécies de *Eucalyptus* são reportados na literatura com valores médios de 460, 472 e 490 kg/m³ para madeiras de *E. grandis*, *E. saligna* e *E. grandis x urophylla*, respectivamente. Por esta razão as espécies do gênero *Corymbia* tem sido muito valorizada como uma matéria prima potencial para a produção de celulose, energia, madeira serrada, entre outros (ALZATE, TOMAZELLO FILHO, PIEDADE, 2005; ASSIS, 2011).

Diversos autores citam a importância de conhecimento da densidade básica da madeira para a indústria de celulose e papel, uma vez que este parâmetro se relaciona com alguns aspectos como rendimento, velocidade de impregnação da madeira pelo licor, refino e propriedade da polpa celulósica (FOELKEL, BRASIL e BARRICHELO, 1971; JACOB e BALLONI, 1978; QUEIROZ *et al.*, 2004).

3.4. Polpação kraft

Entre os métodos de polpação da madeira, o processo químico caracteriza-se pelo uso de soluções químicas para remoção da lignina e individualização das fibras, onde os mais comuns são denominados processos soda e kraft (CASSEY, 1984).

O método kraft é o processo de polpação mais utilizado no mundo e foi criado em 1879 pelo químico alemão Carl Dahl, através da introdução do sulfeto de sódio no licor de cozimento (licor branco), o que resultou na aceleração da reação de deslignificação e na produção de polpas mais resistentes (ASSUMPÇÃO *et al.*, 1988; SMOOK, 1994).

O licor branco tem como principais agentes ativos (álcali ativo) os ânions hidroxilas OH^- e o hidrossulfeto HS^- , que efetivamente reagem com a lignina. Entretanto, devido a remoção da lignina não ser completamente seletiva, parte dos carboidratos podem ser degradados durante o processo de polpação, desta forma, o teor de álcali ativo deve ser otimizado no processo de polpação (FERREIRA, 2000).

O teor de sulfeto de sódio no licor branco é denominado como sulfidez, e tem como função evitar que uma alta concentração de NaOH na fase de impregnação inicial do cozimento degrade a polpa e diminua o rendimento, ou seja, a maior sulfidez causa uma menor degradação da celulose e hemicelulose (ALMEIDA, 2003; MORAES, 2011).

De acordo com Ferreira (2000) e Carvalho (1999), a temperatura de cozimento no processo de polpação kraft depende do grau de deslignificação que se quer atingir, variando geralmente entre 140 a 180°C, o número kappa varia de 14 a 20 e a relação licor madeira é de 3,5:1 para a madeira de eucalipto.

De acordo com Gomide (1979) a remoção da lignina ocorre quando as estruturas de lignina reagem com sulfeto durante o cozimento kraft, formando tioligninas, as quais são solúveis no licor de cozimento. Bassa (2002) cita que durante a polpação kraft, ao se remover parte de hemiceluloses e lignina, a difusão dos reagentes no interior da parede das fibras é facilitada.

As principais vantagens do processo kraft estão relacionadas a adaptação a praticamente todos tipos de materiais lignocelulósicos (madeira ou não), produção de polpas com qualidade superior, em especial nas propriedades de resistência, possibilidade de branqueamento da polpa com altos níveis de alvura, recuperação de

reagentes químicos e geração de energia através da queima de licor negro (GOMIDE, 1980; ASSUMPÇÃO *et al.*, 1988).

Como desvantagens do processo kraft se tem o forte odor nas plantas industriais e altos custos de investimento na construção da fábrica e no processo de branqueamento (GOMIDE, 1979; ASSUMPÇÃO *et al.*, 1988).

3.5. Qualidade da polpa celulósica

Entre os diversos parâmetros de qualidade da polpa, uma das características mais relevantes é o número kappa. De acordo com Correia *et al.* (2019) o número kappa é um índice importante e é utilizado rotineiramente como forma de monitorar o processo de digestão e deslignificação, bem como para estimar a carga de reagentes utilizados no branqueamento. O número kappa é um método indireto de determinação do teor de lignina residual ou capacidade de branqueamento da polpa celulósica. (TAPPI, 2006; ABNT, 2018).

De acordo com Patrick (2005), diversas pesquisas foram realizadas com objetivo de encontrar alternativas para o aumento do rendimento global na produção de celulose, entre elas a otimização do número kappa da polpa.

Atualmente as indústrias brasileiras de celulose kraft estão produzindo polpas com número kappa variando entre 14,5 e 18,5 na saída do digestor, para processos que utilizam madeira de *Eucalyptus* spp (CORREIA *et al.*, 2019).

O consumo específico de madeira – CEM, é um parâmetro que expressa a quantidade de madeira em m³ necessário para a produção de 1 tonelada de polpa celulósica branqueada e leva em consideração a densidade da madeira e o rendimento depurado de polpa celulósica (QUEIROZ, *et al.*, 2004).

De acordo com Segura (2015) o CEM é um indicador mais apropriado para verificação do resultado do cozimento em fábricas de celulose, uma vez que esse indicador reflete a quantidade de polpa em massa produzida por unidade de volume de madeira.

4. Material e métodos

4.1. Material

Os materiais utilizados neste estudo foram obtidos a partir de um plantio experimental pertencente a empresa CMPC Celulose Riograndense, localizado nas coordenadas geográficas 30°07'52.6"S, 51°41'39.6"W, na cidade de Eldorado do Sul, no estado do Rio Grande do Sul. A implantação do experimento foi realizada no ano de 2014, com espaçamento de 3,20 x 2,37m e tipo de solo argissolo vermelho-amarelo (PVA2). A amostragem dos clones foi realizada no ano de 2020 aos 6 anos de idade. O local do experimento apresentou precipitação média anual de 1609mm, temperatura média de 18,9°C e baixa ocorrência de geada.

Avaliaram-se 10 clones de híbridos de *Corymbia* spp. e 1 clone de *Eucalyptus saligna* como material de referência, bem como um blend composto por ambos gêneros na etapa de polpação. A identificação dos materiais utilizados neste estudo está apresentada na Tabela 1 e o delineamento experimental pode ser observado na Figura 3.

Tabela 1 - Identificação dos clones utilizados no estudo.

Clone	Tratamento
<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	T1
<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	T2
<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	T3
<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	T4
<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	T5
<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>	T6
<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	T7
<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	T8
<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	T9
<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	T10
<i>Eucalyptus saligna</i>	T11
<i>Eucalyptus saligna</i> /Corymbia spp.	Blend

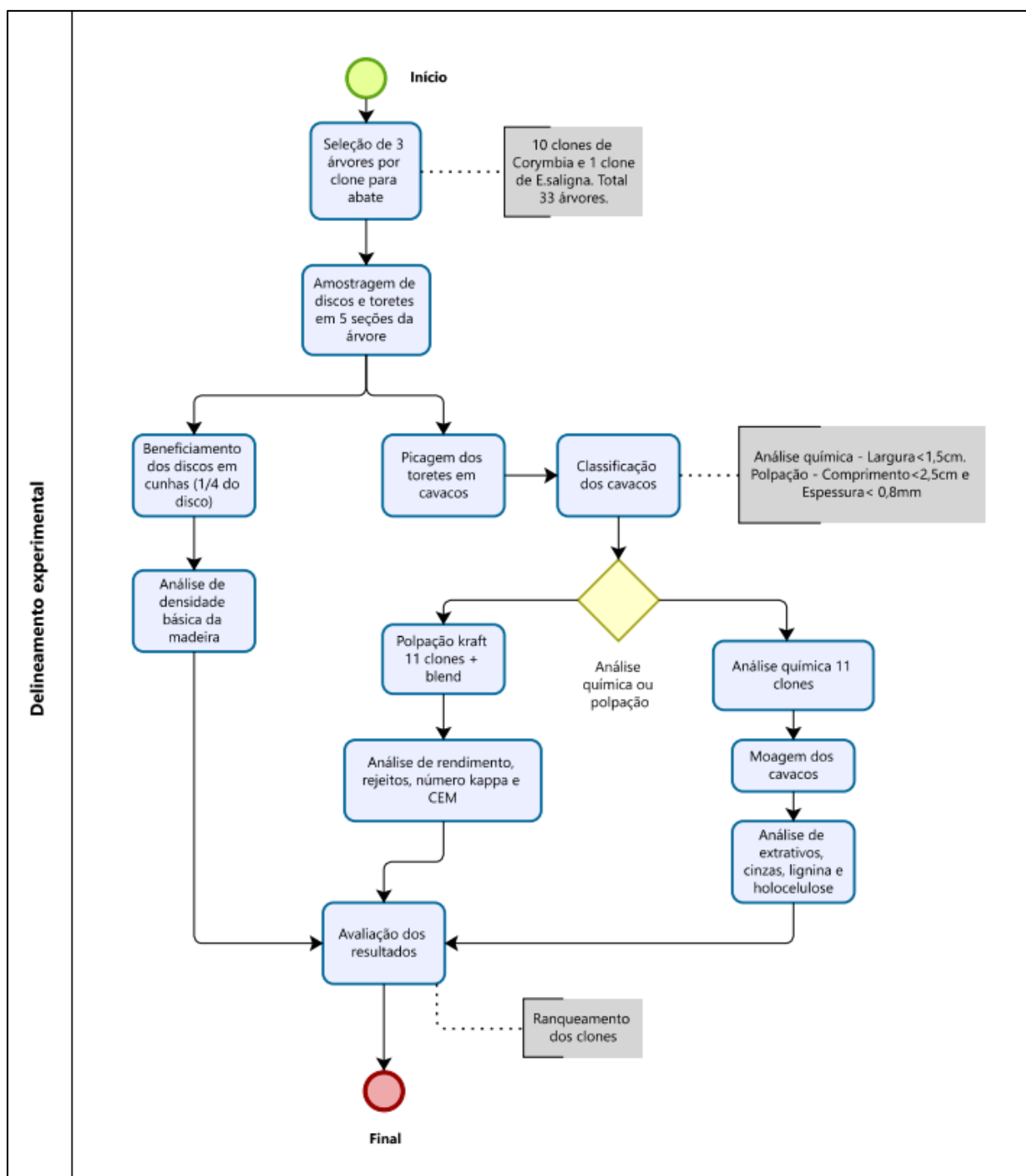


Figura 3 - Delineamento experimental.

4.2. Amostragem

A amostragem foi realizada de acordo com o procedimento P-PSM-0025 (CMPC, 2021) da empresa CMPC Celulose Riograndense (ANEXO A). Inicialmente as árvores foram abatidas e tiveram as suas alturas comerciais medidas, em seguida foram retirados os discos e os toretes, conforme Figura 4.

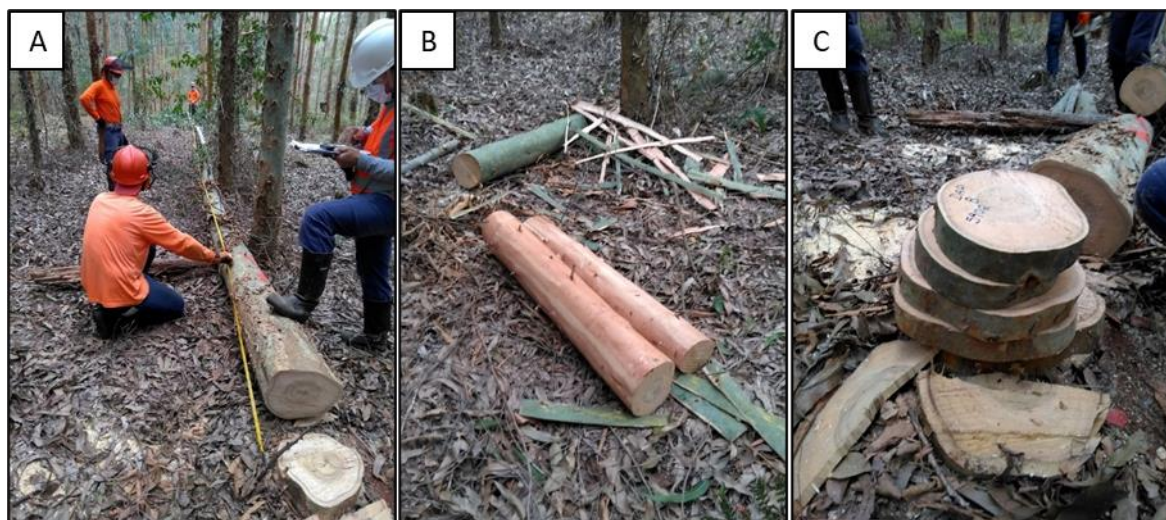


Figura 4 - Abate de árvores no local do experimento. A) Medição da altura comercial; B) Toretos retirados e descascados; C) Discos retirados para análise.

Foram amostradas 3 árvores de cada um dos 11 clones, totalizando 33 árvores. A altura comercial foi determinada a partir da distância da base da árvore até a região do tronco com 5cm de diâmetro. De cada árvore foram coletados 5 discos com espessura entre 3 a 4cm nas posições de 0, 33, 66 e 100% da altura comercial e do DAP (1,30 m de altura). Foram retirados 5 toretes de aproximadamente 1,20m respectivos às áreas de coleta dos discos, os toretes foram identificados e descascados manualmente. As posições de coleta dos discos e toretes estão representados na Figura 5.

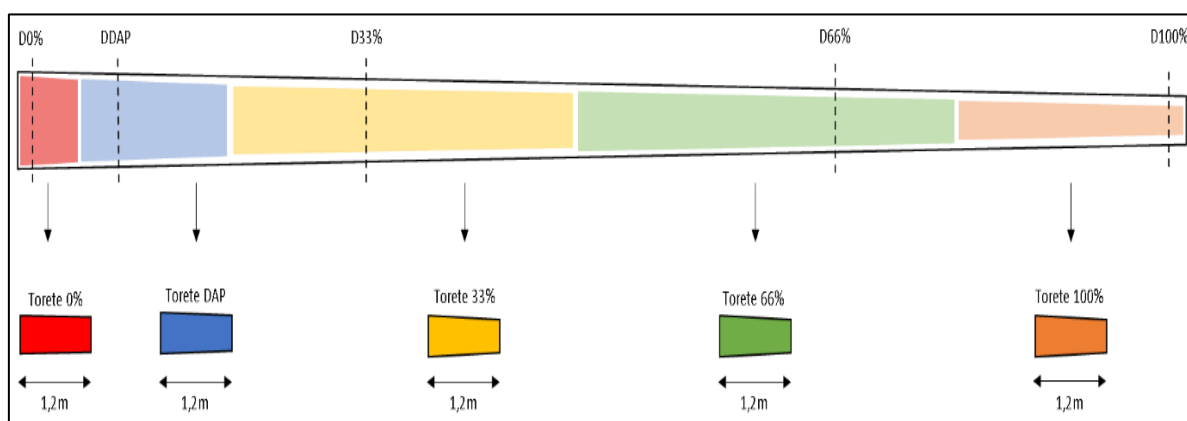


Figura 5 - Posição de coleta dos discos e toretes para as árvores estudadas.
Fonte: CMPC (2021).

As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Qualidade da Madeira da empresa CMPC Celulose Riograndense, de tal forma que os discos se destinaram à determinação da densidade básica e os toretes destinaram-se a picagem e posterior determinação das propriedades químicas e polpação.

4.3. Picagem

Os toretes foram beneficiados e transformados em cavacos a partir de um picador de disco marca Demuth modelo D3P. Os 5 toretes de cada árvore foram picados e homogeneizados em uma betoneira (Figura 6.A), em seguida os cavacos foram transferidos para bandejas metálicas e permaneceram em estufa solar por um período de 5 dias a $35 \pm 1^\circ\text{C}$ para secagem do material (Figura 6.B).



Figura 6 - Processo de picagem. A) Picador de cavacos; B) Secagem de cavacos.

Após o período de secagem, foram homogeneizados 2kg de cavacos de cada árvore, totalizando 11 amostras compostas para cada clone. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos hermeticamente fechados para posterior classificação.

4.4. Classificação dos cavacos

A classificação dos cavacos foi realizada de forma manual, removeram-se os nós e “oversize” (lascas e cavacos de maiores dimensões), sendo aceitos para

polpação aqueles que apresentaram comprimento de aproximadamente 2,5cm e espessura superior a 3mm e inferior a 8mm (Figura 7). Para análise química foram utilizados cavacos com largura inferior a 1,5cm.

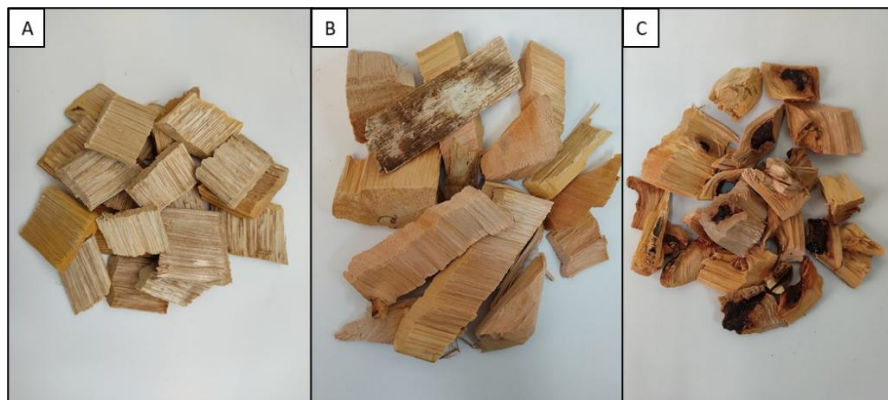


Figura 7 – Classificação dos cavacos. A) Aceitos para cozimento; B) Oversize; C) Nós.

4.5. Densidade básica da madeira

A densidade básica da madeira foi determinada através do método da balança hidrostática de acordo com a norma SCAN-CM 43:95 (1995) e o procedimento foi realizado no Laboratório de Qualidade da Madeira da empresa CMPC Celulose Riograndense.

Retiraram-se cunhas (livres de bolsas de resina e nós) referentes a $\frac{1}{4}$ do volume de cada disco nas alturas de 0%, DAP, 33%, 66% e 100% da altura comercial, e em seguida as cinco cunhas de cada árvore foram armazenadas em redes plásticas. Transferiu-se as amostras para um vaso de pressão e fez-se a imersão em água. Consequentemente, o vaso foi pressurizado com auxílio de nitrogênio a uma pressão de $4,5\text{kgf/cm}^3$ por um período de 24h para saturação das fibras. A sequência de confecção de cunhas e saturação das fibras está apresentada na Figura 8.

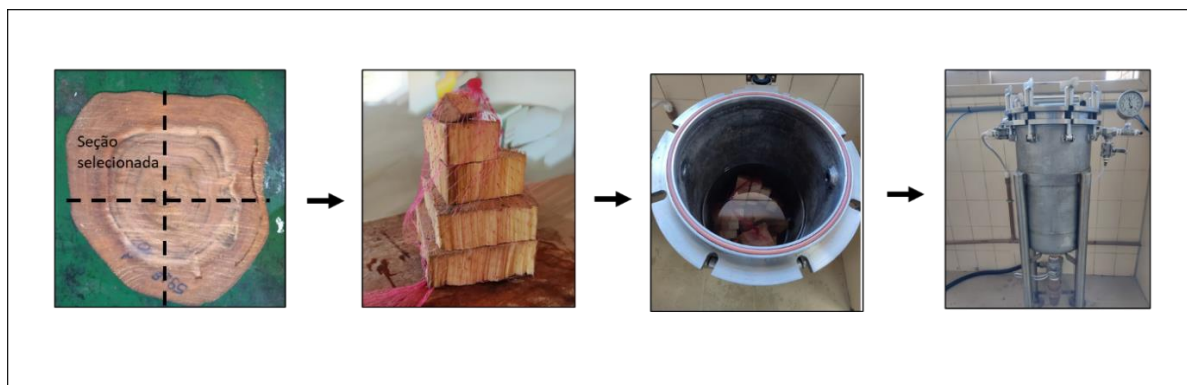


Figura 8 – Esquema de confecção das cunhas e saturação das fibras em vaso de pressão.

Após o período de saturação, as amostras foram pesadas em balança hidrostática, onde determinou-se o volume das cunhas pelo método de empuxo, ou seja, o volume da cunha foi igual a massa de água deslocada quando imersas em água, considerando-se a densidade da água igual a 1,00g/cm³.

A amostra foi fixada em um gancho que estava acoplado a uma balança com 0,001g de precisão e em seguida imergiu-se o corpo de prova em um recipiente contendo água, a massa obtida foi definida como massa da amostra imersa em água. Posteriormente a amostra foi retirada do gancho, removeu-se o excesso de água e pesou-se a massa da cunha úmida ao ar. Com isto, determinou-se o volume de água deslocada (expresso em cm³) subtraindo-se a massa da amostra úmida ao ar da massa da amostra imersa em água.

A massa seca foi determinada a partir da pesagem das cunhas após secagem em estufa com circulação forçada de ar a 105±3°C por um período de 120 horas. A densidade foi calculada de acordo com a equação 1.

$$DB = \frac{m_1}{(V)} \times 1000 = \frac{m_1}{(m_2 - m_3)} \times 1000 \quad (1)$$

Em que:

DB: densidade básica da madeira, em kg/m³;

V: volume de água deslocada, em cm³;

m1: massa seca da amostra, em g;

m2: massa da amostra imersa em água, em g e;

m3: massa da amostra úmida ao ar, em g;

1000: multiplicador de conversão de g/cm³ para kg/m³.

4.6. Composição química

A preparação das amostras, bem como as análises de caracterização química da madeira foram realizadas no Laboratório de Qualidade da Madeira da empresa CMPC Celulose Riograndense.

4.6.1. Preparação das amostras

A preparação das amostras para análises químicas foi realizada de acordo com a norma TAPPI T 257 (2012). Foram moídas 140g de cavacos de cada amostra em um moinho de facas tipo Willey dotado de uma peneira de retenção com abertura de 20 mesh. Em seguida as amostras foram classificadas em peneiras sobrepostas e armazenadas em sacos plásticos hermeticamente fechados, sendo utilizada nas análises a fração que passou pela peneira com abertura de 40 mesh e ficou retida na peneira de 60 mesh.

4.6.2. Extrativos totais

O teor de extrativos totais foi determinado através de uma sequência de extração em acetona e extração em água quente, onde os procedimentos foram realizados de acordo com a norma TAPPI T 264 (2007), TAPPI T 204 (2007) e TAPPI T 207 (2008).

Para a extração em acetona utilizou-se acetona P.A. marca Merck. Adicionaram-se 4g de serragem absolutamente seca em um cartucho de celulose e transferiu-se para um sistema soxhlet, a amostra permaneceu em extração por um período de 4 a 5 horas com a utilização de 150mL de acetona. O teor de extrativos em acetona foi determinado pela relação entre a massa de extrativos removidos e a massa de serragem inicial.

A amostra livre de extrativos em acetona foi transferida para um béquer e adicionou-se 500mL de água destilada quente, o béquer contendo a amostra foi tampado com um vidro relógio e mantido por 1h em banho termostático a 100°C. As amostras foram filtradas, secas em estufa a 60°C e armazenadas em saco plástico

hermeticamente fechado para posterior análise de lignina. O teor de extrativos em água quente foi determinado a partir da massa de extrativos removidos no processo e a massa de serragem inicial.

O teor de extrativos totais foi determinado a partir do somatório do teor de extrativos em acetona e o teor de extrativos em água quente.

4.6.3. Cinzas

A análise de cinzas na madeira foi realizada de acordo com a norma TAPPI T 211 (2011), onde 2g de amostra absolutamente seca foram calcinadas em uma mufla a $525\pm 25^{\circ}\text{C}$ por um período de 5 horas. O teor de cinzas foi determinado através da relação entre massa de cinzas e a massa de serragem inicial.

4.6.4. Lignina total

O teor de lignina total foi determinado a partir do somatório dos teores de lignina insolúvel e lignina solúvel.

Para determinação do teor de lignina insolúvel seguiu-se os procedimentos descritos pela norma TAPPI T 222 (2006) com a utilização de ácido sulfúrico marca Merck. Em um béquer foi adicionado 1g de amostra absolutamente seca e livre de extrativos, e acrescentou-se 15mL de ácido sulfúrico 72% para hidrólise dos polissacarídeos, a amostra permaneceu sob agitação constante por duas horas em banho termostático a 20°C .

Em seguida a amostra foi transferida a um Erlenmeyer e adicionou-se 560mL de água quente, onde foi mantida em ponto de ebulição por 4h. Após o período a amostra foi filtrada em papel filtro de porosidade média e coletou-se parte do filtrado para determinação do teor de lignina solúvel. O teor de lignina insolúvel foi dado pela relação entre a massa de lignina retida no papel filtro e a massa de serragem inicial.

Para determinação do teor de lignina solúvel seguiu-se o método descrito por Goldschmid (1971), através da realização de varreduras em um espectrofotômetro no UV-Vis marca Kasuaki que opera na faixa de comprimento de onda de 190nm a 1100nm. O filtrado obtido na filtração da lignina insolúvel foi diluído com ácido sulfúrico 3% e realizou-se a leitura em cubetas de quartzo com caminho óptico de 10mm nos

comprimentos de onda de 215nm e 280nm. Como referência utilizou-se ácido sulfúrico 3%. O teor de lignina solúvel foi calculado a partir das equações 2 e 3.

$$CLS = \frac{(4,53 \times A_{215}) - A_{280}}{300} \quad (2)$$

$$\%LS = \frac{CLS \times V \times D \times 100}{W} \quad (3)$$

Em que:

CLS: Concentração de lignina solúvel no filtrado, em g/L;

A215: Absorbância do filtrado ácido no comprimento de onda de 215 nm;

A280: Absorbância do filtrado ácido no comprimento de onda de 280 nm;

D: Fator de diluição do filtrado;

V: Volume do filtrado, 0,575L;

W: Peso da amostra seca de madeira, em g e;

%LS: Porcentagem de lignina solúvel.

4.6.5. Holocelulose

O teor de holocelulose foi determinado descontando-se os valores obtidos para extrativos e lignina total, conforme equação 4.

$$\%H = 100 - (\%ET + \%LT) \quad (4)$$

Em que:

%H: teor de holocelulose, em %;

%ET: teor de extrativos totais, em % e;

%LT: teor de lignina total, em %.

4.7. Polpação kraft

A polpação kraft foi realizada no Laboratório de Celulose e Papel da Universidade Federal de Pelotas em um digestor convencional marca Regmed, modelo AUE/20 com capacidade para cozimento de quatro amostras simultaneamente, conforme Figura 9. Os cozimentos foram realizados em duplicata

para cada amostra e utilizou-se 100g de cavacos absolutamente secos. As condições de cozimento foram definidas com base nos valores necessários para obtenção do número kappa 18 ± 1 nas polpas produzidas a partir do tratamento testemunha (*Eucalyptus saligna*). Para o Blend de *Eucalyptus saligna* e *Corymbia* spp. utilizou-se 100g de amostra absolutamente seca na proporção de 50/50 m/m.

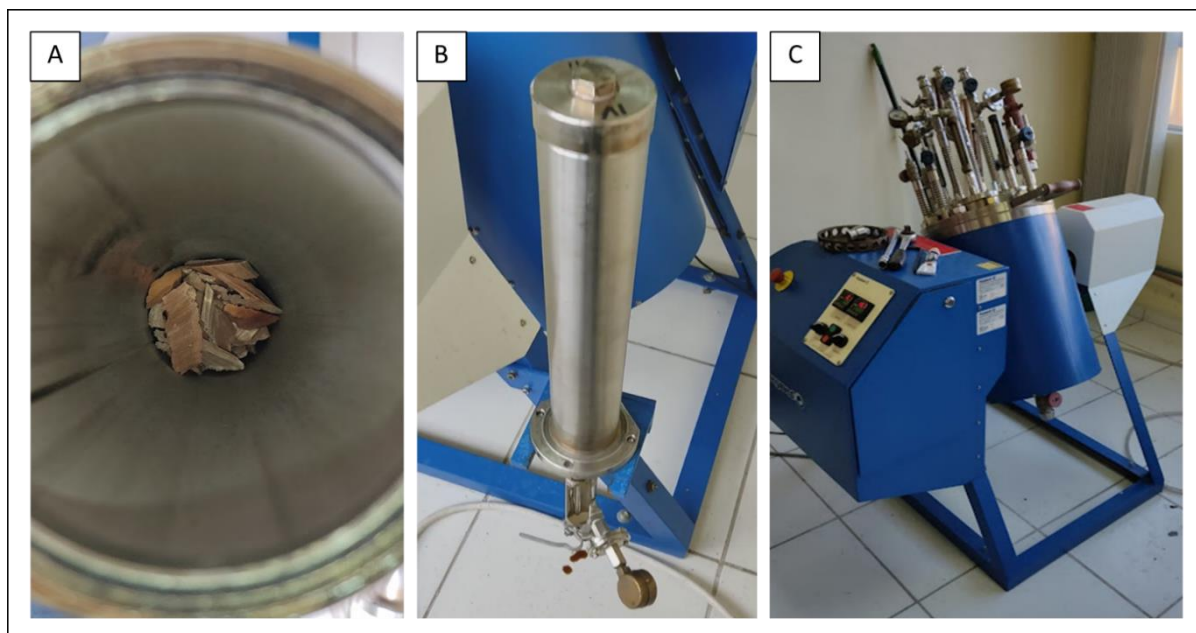


Figura 9 - Digestor rotativo para polpação kraft convencional. A) Carregamento das células de cozimento; B) Célula de cozimento; C) Digestor.

O licor branco utilizado na polpação foi preparado com a utilização de hidróxido de sódio (NaOH) à 98% e sulfeto de sódio (Na₂S) tetra-hidratado em escamas à 50%. Os reagentes foram preparados separadamente a partir da diluição em água destilada. As concentrações dos reagentes foram determinadas por meio de titulação para cada solução, conforme os Anexos B e C. As concentrações obtidas foram de 128g/L e 46,8g/L em base NaOH, para o hidróxido de sódio e sulfeto de sódio, respectivamente.

A partir da realização de testes prévios, obteve-se as condições de cozimento utilizadas no estudo para ambos materiais genéticos, conforme apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Condições de cozimento.

Condições

Álcali ativo – 22%

Sulfidez – 30%

Relação licor:madeira – 4:1

Temperatura máxima – 158°C

Tempo até a temperatura máxima – 60 minutos

Tempo à temperatura máxima – 120 minutos

As polpas celulósicas foram retiradas das células de cozimento e lavados em uma caixa de lavagem com fundo confeccionado com tela de abertura de 100 mesh para remoção do licor negro residual. A individualização das fibras foi realizada em um desagregador laboratorial marca Regmed com 20 mil revoluções.

Após a individualização das fibras as polpas foram depuradas em um depurador laboratorial tipo Somerville, marca Regmed modelo SM-21, dotada de uma peneira com 756 fendas de 0,15mm x 45mm cada (Figura 10). As polpas marrons que passaram pelo depurador foram utilizadas na determinação do rendimento depurado, enquanto que a fração de feixes de fibras (shives) que ficaram retidas na peneira foram classificadas como rejeitos.

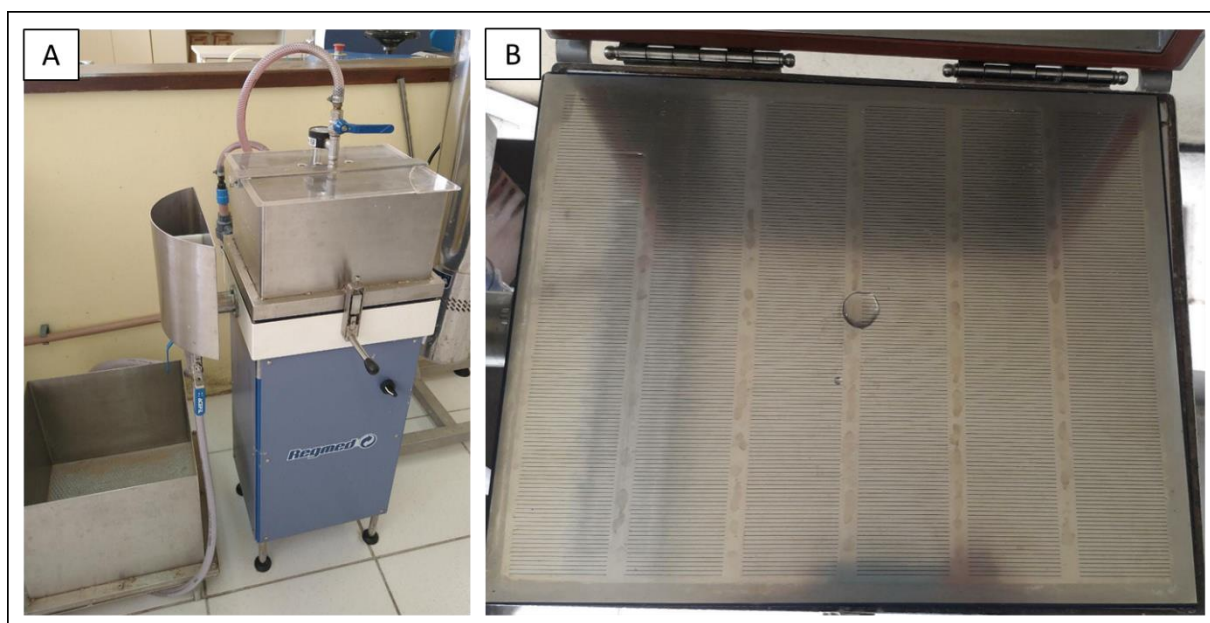


Figura 10 - Depurador laboratorial Somerville. A) Depurador e caixa de lavagem; B) Peneira do depurador.

4.7.1. Análise da polpação

A partir dos cozimentos realizados foram determinados os parâmetros referentes às polpas marrons produzidas. A metodologia utilizada para determinação de cada parâmetro está descrita na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros de polpação e metodologia utilizada.

Parâmetro	Procedimento/Norma
Rendimento depurado	Relação entre massa seca de polpa celulósica e a massa seca de cavacos
Rejeitos	Relação entre a massa seca de rejeitos e a massa seca cavacos
Número kappa	TAPPI T 236 (2006)

Para determinação do CEM para o tratamento Blend foi considerado a média entre as densidades básicas do *E. saligna* e do híbrido *Corymbia* selecionado. A determinação do CEM foi realizada a partir da equação 5.

$$CEM = \frac{(1000 \times 0,9)}{(DB \times RD \times 0,95)} \quad (5)$$

Em que:

CEM: consumo específico de madeira, em m³/tSA;

DB: densidade básica, em kg/m³ e;

RD: rendimento depurado, em %.

4.8. Análise dos dados

Os resultados dos parâmetros estudados foram submetidos a análise de variância – ANOVA e teste de Tukey a 5% de probabilidade. Utilizou-se uma matriz de coeficiente linear de Pearson para avaliar a correlação entre os resultados encontrados.

5. Resultados e discussão

5.1. Densidade básica

As densidades básicas médias para os clones avaliados neste estudo estão apresentadas na Figura 11.



Figura 11 - Densidade básica da madeira.

As médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com os resultados observados na Figura 11 é possível visualizar que, com exceção do tratamento T1, todos os clones de híbridos de *Corymbia* apresentaram densidade básica estatisticamente superior ao *Eucalyptus saligna*, conforme era esperado.

Para os clones de híbridos de *Corymbia torelliana* e *Corymbia citriodora* os resultados de densidade básica apresentados na Figura 11 variaram entre 509 e 605kg/m³. O tratamento T6 foi o único dos clones estudados a ter o *C. citriodora* como genitor materno nos híbridos de *Corymbia*. A madeira do tratamento T6, formada pelo híbrido de *C. citriodora* e *C. torelliana* apresentou densidade básica de 607kg/m³.

Segura (2015) em estudo realizado com híbridos de *Corymbia* obteve resultados de 599 e 637kg/m³ aos 7 anos de idade, enquanto Moutinho (2012) apresentou resultado médio de 610kg/m³ aos 5 anos de idade. Loureiro *et al.* (2019) encontraram valores variando de 545 a 641kg/m³ aos 3 anos e 9 meses de idade. Desta forma observa-se que o tratamento T1 foi o único que não se aproximou de valores da literatura.

Para o tratamento de referência (T11), a densidade básica é semelhante ao encontrado na literatura por Alzate, Tomazello Filho e Piedade (2005), onde os autores obtiveram resultados médios de 470kg/m³ para a espécie *E. saligna* aos 8 anos de idade, ao passo que Batista, Klitzke e Santos (2010) encontraram média de 460kg/m³ para a mesma espécie aos 11 anos de idade.

Entre as vantagens em se utilizar madeiras com maiores densidades, destaca-se o menor custo específico de madeira, desta forma é necessária uma menor quantidade de m³ de madeira para produção de uma tonelada de celulose (MOKFIENSKI, *et al.*, 2008; GOMIDE *et al.*, 2010).

Entretanto, a alta densidade da madeira (superior a 550kg/m³) pode ter um aspecto negativo na produção da celulose, ou seja, madeiras mais densas podem oferecer dificuldade na picagem e impregnação de cavacos, menor rendimento na polpação e maior consumo de reagentes para se atingir o grau de deslignificação desejado, quando comparados a madeiras com baixa densidade (FOELKEL, 2009a; QUEIROZ *et al.*, 2004).

De acordo com Gomide *et al.* (2005), apesar dos projetos industriais terem priorizado madeiras com densidades básicas em torno de 500kg/m³ como padrões adequados para o processo de polpação, outras características podem fornecer informações sobre a qualidade da madeira, como as características anatômicas e químicas.

5.2. Composição química

Os resultados médios de composição química para as madeiras dos clones estudados estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Composição química da madeira.

Parâmetro	Tratamento										
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
Extrativos em acetona (%)	1,64	1,62	3,04	1,16	1,12	1,05	1,05	0,98	0,91	1,80	0,84
Extrativos em água quente (%)	3,38	3,49	5,12	2,85	4,54	1,48	3,07	2,35	1,58	3,87	3,69
Extrativos totais (%)	5,03	5,11	8,16	4,01	5,66	2,53	4,12	3,33	2,49	5,67	4,53
Cinzas (%)	1,17	0,73	0,64	0,70	0,66	0,50	0,75	1,09	0,88	0,97	0,42
Lignina insolúvel (%)	22,79	23,64	22,34	23,66	23,30	23,08	23,90	21,34	22,90	23,38	24,87
Lignina solúvel (%)	4,01	4,78	4,15	4,24	3,14	3,55	3,85	4,50	4,09	3,84	3,37
Lignina total (%)	26,80	28,42	26,50	27,91	26,44	26,63	27,75	25,84	26,99	27,22	28,24
Holocelulose (%)	68,18	66,48	65,35	68,08	67,90	70,84	68,13	70,83	70,53	67,11	67,23

5.2.1. Extrativos

Os extrativos presentes na madeira referem-se a substâncias que podem ser solúveis em solventes orgânicos ou em água. Os extrativos em água quente são formados principalmente por sais ou minerais inorgânicos, açúcares, taninos e amidos, enquanto que na solubilização com solventes orgânicos são removidos alguns compostos solúveis em água, bem como ácidos e ésteres graxos, ceras e substâncias insaponificáveis (TAPPI, 2007; TAPPI 2008).

Observa-se na Tabela 4 que ambos materiais obtiveram maiores teores de extrativos em água quente em relação ao teor de extrativos em acetona, sendo que o tratamento T6 foi o que apresentou menor valor com 1,48% e o tratamento T3 o que apresentou maior valor com 5,12%. Os tratamentos T4, T6, T8 e T9 foram os que apresentaram melhores resultados em comparação com o tratamento de referência, enquanto que os tratamentos T1, T2, T7 e T10 obtiveram resultados semelhantes a referência e os tratamentos T3 e T5 apresentaram valores insatisfatórios, superiores ao tratamento referência.

Em geral, a maior parte dos extrativos em água quente é removida durante o processo de polpação e se deposita no licor negro (TAPPI, 2007). De acordo com Bajpai (2016) os extrativos representam aproximadamente 5% da massa total dos sólidos presentes no licor negro, desta forma, a alta presença desses componentes na madeira pode ser prejudicial no processo de polpação e gerar um aumento no teor de sólidos orgânicos no licor negro.

Além da presença nos sólidos do licor negro, os extrativos são fontes potenciais para formações de “*pitch*”, as quais são indesejadas no processo de produção da celulose devido ao aumento de gastos com manutenção, redução da produção e redução na qualidade do produto final. A formação do *pitch* ocorre a partir da aglomeração dos extrativos lipofílicos não solubilizados durante o cozimento da madeira, que acabam formando incrustações em etapas posteriores no processo de obtenção da celulose (SILVÉRIO *et al.*, 2006; SILVESTRE *et al.*, 1999).

Apesar do diclorometano e da mistura etanol:benzeno serem considerados solventes mais seletivos na solubilização de extrativos lipofílicos, ambos apresentam maiores riscos à saúde, desta forma o comitê técnico da norma TAPPI T 204 sugere a utilização de etanol:tolueno ou acetona como solventes. No presente estudo optou-

se pela utilização de acetona como solvente para determinação do material não-volátil (TAPPI, 2007). Os resultados de extrativos em acetona e de extrativos totais com as respectivas comparações de médias são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Teores de extrativos em acetona e extrativos totais

Tratamento	Extrativos em acetona (%)	Extrativos totais (%)
T1	1,644 b	5,025 c
T2	1,616 b	5,105 c
T3	3,038 a	8,155 a
T4	1,164 c	4,010 e
T5	1,116 cd	5,660 b
T6	1,049 cde	2,530 g
T7	1,048 cde	4,120 e
T8	0,979 cde	3,330 f
T9	0,908 de	2,485 g
T10	1,801 b	5,670 b
T11	0,840 e	4,530 d

As médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a avaliação dos extrativos em acetona, observa-se na Tabela 5 que os tratamentos T6, T7, T8 e T9 não apresentaram diferença estatística em comparação com o tratamento testemunha (T11) e podem ser considerados os melhores tratamentos por possuírem menores teores de extrativos em acetona. O tratamento T4 apresentou semelhança com os tratamentos T6, T7, T8 e T9, contudo diferenciou-se estatisticamente do tratamento de referência. Já os tratamentos T1, T2, T3 e T10 foram os que apresentaram maior diferença estatística para os demais materiais, com destaque negativo para o alto teor apresentado pelo tratamento T3 (3,038%).

De acordo com Sarto e Sansigolo (2010) muitos extrativos reagem com os agentes químicos do licor de cozimento, aumentando o consumo de álcali no processo, enquanto que Gomide *et al.* (2005) cita que clones com maiores teores de extrativos totais podem apresentar menor rendimento de polpação. Desta forma,

foram avaliados os teores de extrativos totais para os clones estudados, os quais estão apresentados na Tabela 5.

Observa-se que os tratamentos T6 e T9 foram os que apresentaram melhores resultados e diferiram-se estatisticamente dos demais materiais. Destacam-se ainda os clones T4, T7 e T8 que se diferenciaram estatisticamente de forma positiva do clone de referência. Os demais tratamentos apresentaram altos teores de extrativos em relação ao tratamento T11, o que é indesejado para o processo de polpação.

Segura (2015) em estudo com híbridos de *C. torelliana* e *C. citriodora* aos 7 anos de idade, encontrou valores de extrativos totais variando entre 3,68 a 9,81%. Já Loureiro *et al.* (2019) obteve altos teores de extrativos para o mesmo híbrido aos 3 anos e 9 meses de idade, com teores variando de 8,69 a 10,35. Em estudo com clones híbridos de *Corymbia* aos 6 anos de idade para a produção de carvão vegetal, Valente (2017) encontrou resultados de extrativos totais variando entre 2,76 a 6,04% para o híbrido de *C. torelliana* e *C. citriodora*. Desta forma, verifica-se que os resultados apresentados na Tabela 5 encontram-se próximos aos valores da literatura.

O tratamento T6, clone híbrido de *C. citriodora* e *C. torelliana*, apresentou teor de extrativos totais médio de 2,53%, enquanto que Loureiro *et al.* (2019) encontrou valores variando entre 4,46 e 12,70% para clones do mesmo híbrido aos 3 anos e 9 meses de idade. Segura (2015) obteve valores variando de 2,38 a 2,54% para clones híbridos de *C. citriodora* e *C. torelliana* aos 7 anos de idade, semelhantes ao resultado obtido no presente estudo.

Tendo em vista que o elevado teor de extrativos é prejudicial para o processo de obtenção da celulose, observa-se que os materiais superiores para este quesito foram os tratamentos T6 e T9, com teores de extrativos totais de 2,53 e 2,49%, respectivamente.

5.2.2. Lignina total

Assim como os extrativos, o alto teor de lignina na madeira é indesejado na produção da celulose pois a presença elevada deste composto pode provocar o aumento do consumo de reagentes na polpação, diminuir as projeções de rendimento e influenciar negativamente na qualidade do produto final (ANTUNES, 2009;

FOELKEL, 1977). Na Tabela 6 estão apresentados os teores médios de lignina solúvel e insolúvel, bem como a lignina total e suas respectivas comparações de médias.

Tabela 6 - Teores de lignina insolúvel, solúvel e total.

Tratamento	Lignina insolúvel (%)	Lignina solúvel (%)	Lignina total (%)	
T1	22,79	4,01	26,80	abc
T2	23,64	4,78	28,42	a
T3	22,34	4,15	26,50	bc
T4	23,66	4,24	27,91	ab
T5	23,30	3,14	26,44	bc
T6	23,08	3,55	26,63	abc
T7	23,90	3,85	27,75	ab
T8	21,34	4,50	25,84	c
T9	22,90	4,09	26,99	abc
T10	23,38	3,84	27,22	abc
T11	24,87	3,37	28,24	ab

As médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para os resultados de lignina total presentes na Tabela 6, observa-se que apenas o tratamento T8 diferiu-se estatisticamente do tratamento de referência, sendo o material genético com menor teor de lignina. Com exceção do tratamento T2, todos os demais apresentaram teor de lignina total inferior ao tratamento de referência, que é desejado para aplicação dos materiais no processo de produção da celulose. Comparando-se apenas os clones do gênero *Corymbia*, verifica-se que os tratamentos T1, T3, T4, T5, T6, T7, T9 e T10 não apresentaram diferença estatística significativa entre si e que a maior diferença ocorre entre os tratamentos T2 e T8, com 2,58% de variação.

Os baixos resultados de lignina insolúvel observados na Tabela 6 para os clones de híbridos do gênero *Corymbia* foram reportados na literatura por outros autores. Brito e Barrichelo (1976) em estudo com *C. torelliana* aos 4 anos de idade obtiveram resultado médio de 22% de lignina. Barrichelo e Brito (1977), em outro estudo, caracterizaram a madeira de *C. citriodora* aos 8 anos de idade e encontraram

21,1% de lignina. Gonçalves (2014) obteve teor de lignina insolúvel de 23,71%, enquanto que Severo *et al.* (2006), encontrou valor médio de 23,71% para o lenho juvenil e 20,7% para o lenho adulto, ambos estudando a madeira de *C. citriodora*.

O teor médio de lignina insolúvel para o *E. saligna* foi semelhante ao encontrado por Guarienti *et al.* (2000), onde os autores obtiveram resultados variando de 25,3 a 26,21%, enquanto que Trugilho *et al.* (1996) apresentou em seu estudo resultado médio de 24,49% para madeira aos 4 anos de idade.

Em estudo com clones híbridos de *Corymbia* aos 3 anos e 9 meses, Loureiro *et al.* (2019) obteve valores variando entre 25,71 e 27,31% para lignina total. Segura (2015) obteve variação de 20,35 a 22,89% no teor de lignina para o híbrido de *C. citriodora* e *C. torelliana* aos 7 anos, e 20,95 a 22,37% para o híbrido de *C. torelliana* e *C. citriodora*. Valente (2017) encontrou lignina total de 28,54 a 29,36% para o híbrido *C. torelliana* e *C. citriodora* aos 6 anos de idade.

Gomide *et al.* (2005) estudou os clones de *Eucalyptus* de 10 empresas brasileiras do setor de celulose e papel, foram verificados teores de lignina total variando de 27,5 a 31,7%. Este dado, somado ao resultado do tratamento de referência, indicam o potencial do gênero *Corymbia* neste estudo para esta característica, uma vez que a maioria dos clones apresentaram resultados próximos ou inferiores ao gênero *Eucalyptus*.

5.2.3. Holocelulose

O termo holocelulose refere-se à porção de carboidratos presentes na madeira, ou seja, é a fração na madeira composta por polímeros de celulose e hemiceluloses (SANTOS, 2008). Madeiras com menores teores de lignina e extrativos, apresentarão maiores quantidades de celulose e hemicelulose, o que é desejado na produção de celulose e papel devido à maior disponibilidade de carboidratos. De acordo com Milanez *et al.* (1982) polpas com maiores teores de celulose são mais adequadas para fabricação de papéis tipo tissue, enquanto que polpas ricas em hemicelulose são mais desejáveis para produção de papais para imprimir e escrever.

Com base nos valores apresentados na Tabela 5, observa-se que, com exceção dos tratamentos T2, T3 e T10, todos os demais clones apresentaram teor de holocelulose superior ao material de referência, com destaque positivo para os

tratamentos T6, T8 e T9 que ficaram acima dos 70%. O tratamento T3 destacou-se negativamente, sendo o clone com menor teor de celulose, justificado pelo alto teor de extrativos totais.

5.2.4. Cinzas

De acordo com Costa *et al.* (1997), assim como os extrativos, as cinzas são constituintes estranhos presentes na madeira e são formados por íons Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Al^{3+} , K^+ , Na^+ , entre outros, encontrados na forma de silicatos, carbonatos, fosfatos e sulfatos. De acordo com MATA (2016), os altos teores de cinzas na madeira podem provocar uma série de problemas no processo de polpação, entre eles a incrustação e corrosão das paredes e tubulações na recuperação do licor residual. Os teores médios de cinzas para as madeiras estudadas estão apresentados na Figura 12.

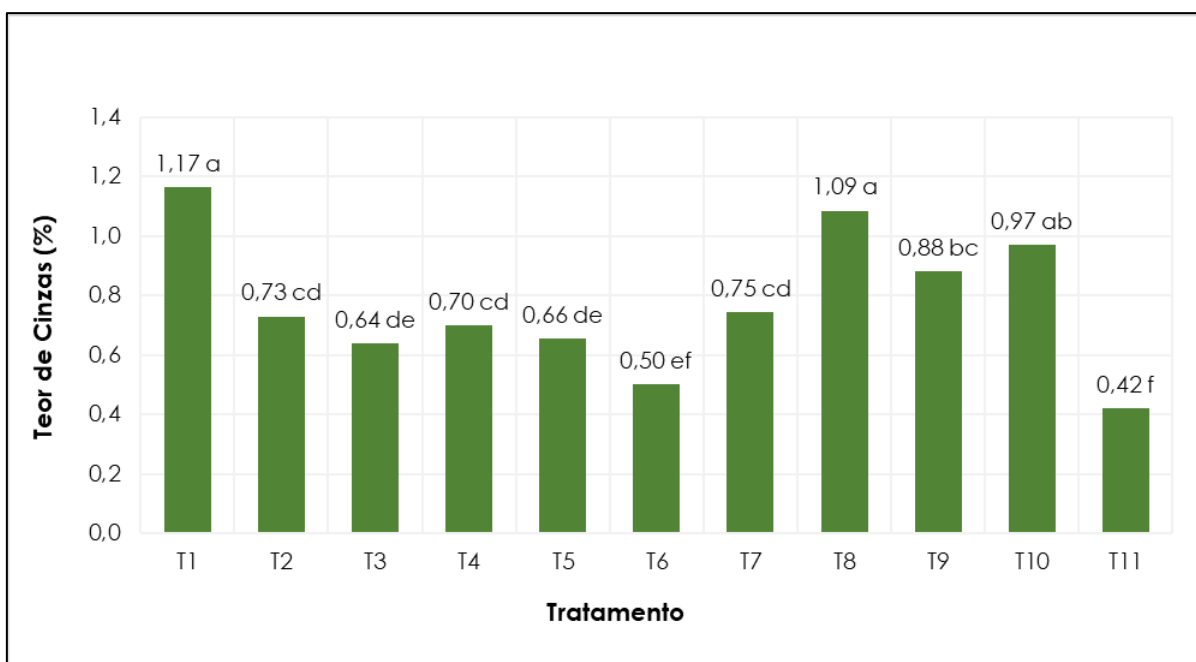


Figura 12 - Teor de cinzas.

As médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com a Figura 12 é possível observar que o tratamento de referência apresentou o menor teor de cinzas entre os materiais estudados com 0,42%, sendo o

tratamento T6 o único clone do gênero *Corymbia* a não se diferenciar estatisticamente. Os tratamentos T2, T3, T4, T5 e T7 apresentaram resultados semelhantes, em torno de 0,7% de teor de cinzas e não diferiram estatisticamente, enquanto que os tratamentos T1 e T8 obtiveram os piores resultados, com teor de cinzas superior a 1%.

Brito e Barrichelo (1976; 1977) obtiveram teor de cinzas de 1% para a madeira de *C. citriodora* e *C. torelliana*, aos 8 e 4 anos, respectivamente. Loureiro *et al.* (2019) apresentou teor de cinzas para híbridos de *Corymbia* variando de 0,29 a 0,97%, aos 3 anos e 9 meses. Segura (2015), para clones de *C. citriodora* e híbridos de *C. citriodora* e *C. torelliana*, observou teores de cinzas variando de 0,28 a 0,75%.

Desta forma, ressalta-se que nesta característica, o tratamento que apresentou melhor desempenho foi o T6 e os piores desempenhos foram os tratamentos T1 e T8.

5.3. Polpação e número Kappa

Os resultados médios das polpações para os 11 clones estudados, bem como para o Blend estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados de polpação.

Tratamento	Rendimento depurado (%)	Número Kappa	Teor de Rejeitos (%)	CEM (m ³ /ton)
T1	49,75	26,90	2,333	3,741
T2	49,18	26,40	1,263	3,491
T3	48,71	28,70	1,393	3,215
T4	53,24	22,20	0,909	3,108
T5	49,95	28,05	2,981	3,335
T6	51,71	23,75	0,543	3,021
T7	52,91	25,05	1,142	3,186
T8	52,44	28,60	2,315	3,307
T9	52,07	25,45	1,133	3,044
T10	50,97	29,05	1,412	3,143
T11	53,06	17,70	0,082	4,039
Blend	53,08	20,45	0,260	3,517

Com base nos parâmetros avaliados, optou-se pelo tratamento T4 para compor o blend em conjunto com tratamento de referência (T11), devido ao alto rendimento depurado obtido em seu cozimento individual e ao menor número Kappa quando comparado aos demais clones de *Corymbia*.

Os resultados médios de rendimento depurado e suas respectivas comparações de médias podem ser visualizados na Figura 13.

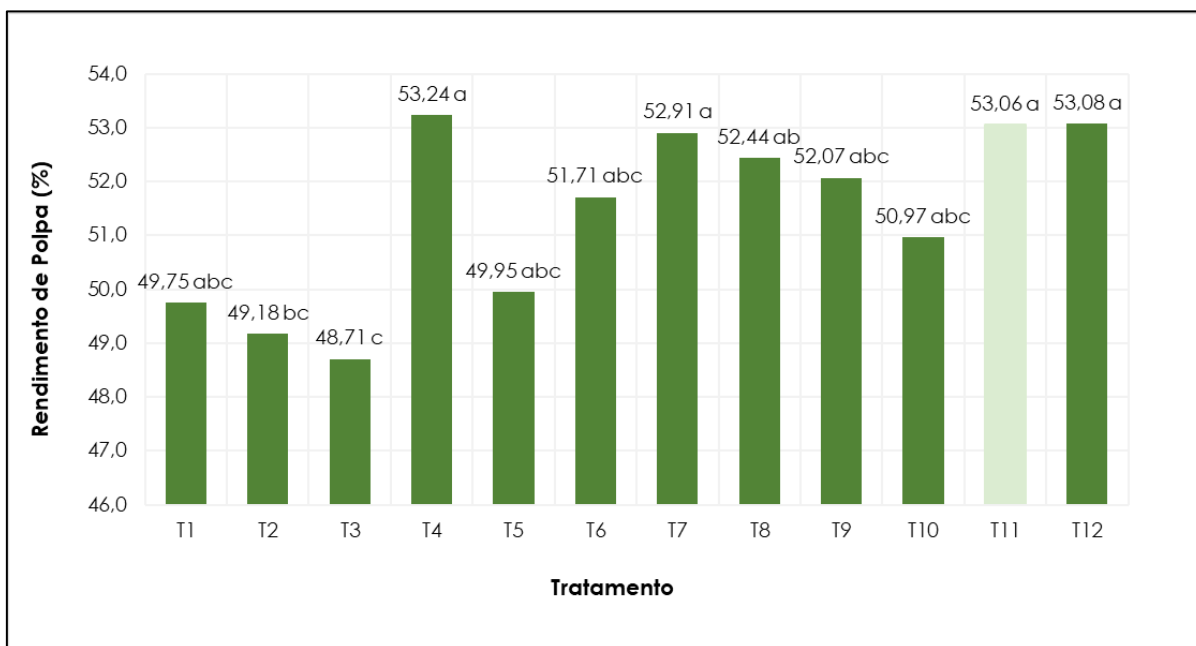


Figura 13 - Rendimento depurado.

As médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A partir dos resultados apresentados na Figura 13, é possível observar que apenas os tratamentos T2 e T3 se diferiram estatisticamente do tratamento T11. Entre os tratamentos do gênero *Corymbia* verifica-se valores de rendimento depurado variando entre 48,71 e 53,24%, sendo o menor valor encontrado para o tratamento T3 e o maior para o tratamento T4.

Em polpação com madeira de clones híbridos de *C. citriodora* e *C. torelliana* aos 7 anos, Segura (2015) obteve rendimentos semelhantes aos observados no presente estudo, onde o autor obteve valores variando de 46,5 a 51,7% e número kappa 18. O mesmo autor com a utilização de clones de *C. citriodora* de 8 e 18 anos, obteve rendimento depurado de 54,1 e 49,5%, respectivamente, já para clone de *C. torelliana* aos 15 anos o rendimento depurado apresentado foi de 50,5%.

Costa *et al.* (2022) em estudo com clones híbridos de *Corymbia* aos 6,5 anos obteve rendimento variando de 51,6 a 54,1% e kappa aproximado de 19. Foelkel (1974) obteve rendimentos depurados variando entre 42,9 a 49,9% e kappa de 17,7 a 28,6, respectivamente, para a madeira de *C. citriodora* com 7 anos de idade. Os resultados apresentados na Tabela 7 são semelhantes ao observado por Severo *et al.* (2013), onde o autor, ao estudar a madeira do gênero *Corymbia* obteve rendimento de 49,73% e kappa 22,43 para madeira juvenil, e rendimento de 51,93% e kappa 24,5 para a madeira adulta de *C. citriodora* com 32 anos de idade.

Devido a relação existente entre rendimento e número kappa, é essencial que ambos parâmetros sejam observados em uma discussão quanto à qualidade da madeira para polpação. Essa relação é explicada pelo fato de o processo de cozimento não ser totalmente seletivo, podendo ocorrer além da deslignificação, uma reação de degradação dos carboidratos da madeira, ou seja, a diminuição do número kappa pode reduzir o rendimento (ALMEIDA, 2003; SEGURA, 2010).

A Figura 14 relaciona o número kappa obtido para o rendimento de polpa de cada material produzido.

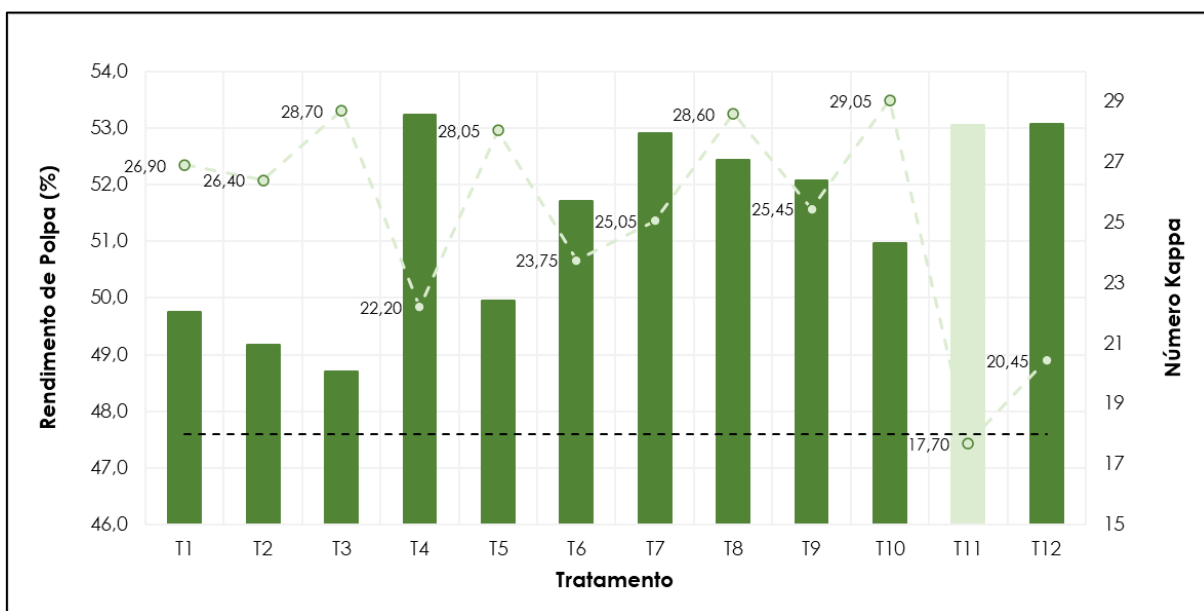


Figura 14 - Relação entre rendimento depurado e número kappa.

O tratamento de referência apresentou número Kappa de 17,7, próximo ao 18 almejado pelas condições de cozimento empregadas. Pelo fato dos cozimentos serem otimizados para o clone de *Eucalyptus saligna*, era esperado que houvesse um

número Kappa maior para os materiais do gênero *Corymbia*, devido à maior dificuldade de impregnação destes materiais. Os resultados de rendimento e kappa nestas condições de cozimento permitiram ranquear os tratamentos quanto a qualidade da polpa.

Os tratamentos T4, T6, T7 e T9 foram os materiais de melhor potencial de polpação. O tratamento T4 se destacou como o clone de maior rendimento depurado e o menor número kappa entre os clones de *Corymbia*. O tratamento T6 obteve o segundo número kappa mais baixo e rendimento médio de 51,71%, já os tratamentos T7 e T9 obtiveram rendimento de 52,91 e 52,07%, porém com kappas mais altos de 25,05 e 25,45, respectivamente.

Os tratamentos T1, T2, T3, T5 e T10 foram considerados os tratamentos com pior desempenho, uma vez que os mesmos apresentaram baixo rendimento depurado e número Kappa elevado, variando entre 26,4 a 29,05.

Devido aos diversos fatores envolvendo a produção da celulose, como as características da madeira e seu custo, o tipo de branqueamento e os custos de reagentes químicos de branqueamento, o número kappa ideal ainda é muito controverso. No ano de 2018 as indústrias de celulose no Brasil apresentaram número kappa de 14,5 a 18,5 na saída do digestor para a madeira de *Eucalyptus* spp (CORREIA, d'ANGELO e SILVA Jr., 2019).

De acordo com estudo realizado por Gomide (2011), ao comparar polpas com kappa 17 e kappa 22, observou-se que a polpa de kappa 22 apresentou maiores ganhos de R\$/tonelada de celulose, redução de carga alcalina e consequente menor carga à caldeira de recuperação, e melhores propriedades físicas e mecânicas, o qual compensou o aumento no custo de branqueamento. Assim, sugere-se que mais estudos sejam realizados visando a avaliação da qualidade da polpa, os custos de branqueamento e a viabilidade econômica da celulose a partir de *Corymbia* com diferentes kappas.

Para o tratamento blend, o rendimento depurado encontrado foi de 53,08%, semelhante ao tratamento de referência, enquanto que o número kappa ficou em 20,45, explicado pela presença das fibras de *Corymbia* do tratamento T4 na polpa composta.

De acordo com Moura (2021) a utilização de misturas é comum em fábricas de processo contínuo e a uniformidade entre os materiais é importante para garantir a

qualidade do produto final. Observa-se que o Blend, apesar de possuir uma diferença de densidade de aproximadamente 130kg/m³ entre as madeiras que a compõem, apresentou resultados positivos de polpação. Desta forma, sugere-se o tratamento T4 como uma boa fonte de fibras para utilização em misturas de cavacos na produção de celulose, e uma redução no consumo específico de madeira.

5.4. Consumo específico de madeira

A partir dos resultados de densidade básica das madeiras e seus respectivos rendimentos depurados, foi possível determinar o consumo específico de madeira para produção de uma tonelada de celulose branqueada. Os resultados de consumo específico de madeira estão apresentados na Figura 15.

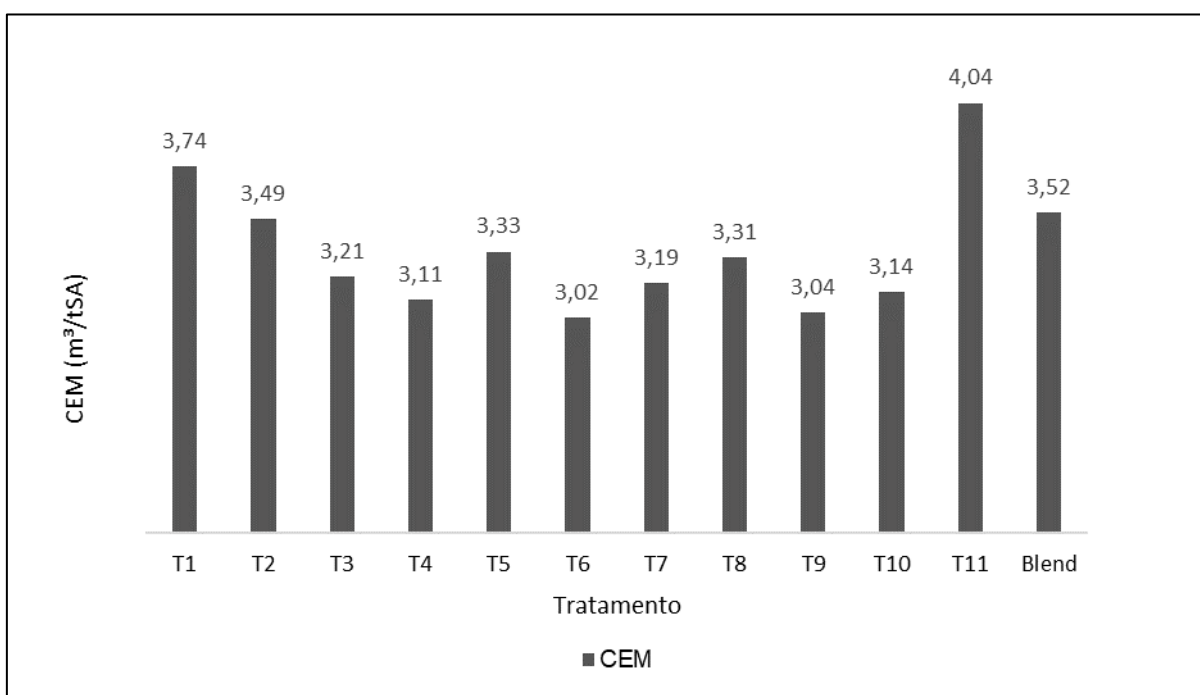


Figura 15 - Consumo específico de madeira.

Em fábricas de produção de celulose, a madeira é geralmente adquirida por volume, enquanto que a polpa celulósica é comercializada em massa. Desta forma, entende-se que quanto maior for a massa de celulose produzida por unidade de volume de madeira, melhor é o resultado do cozimento (SEGURA, 2015)

Os valores de consumo específico de madeira para os tratamentos do gênero *Corymbia* foram inferiores ao material de referência, ou seja, é necessário menos

madeira de *Corymbia* para produção de uma tonelada de celulose em relação a madeira de *E. saligna*. Entretanto, como o cálculo do CEM leva em consideração o rendimento depurado, e as polpas produzidas neste estudo apresentaram diferentes números kappas, torna-se difícil a comparação entre os materiais para ranqueamento.

Observa-se que os tratamentos T6 e T9 apresentaram aproximadamente 1,0m³/tSA a menos de CEM em relação ao tratamento de referência, contudo espera-se que essa diferença diminua em caso de otimização das polpas para um kappa 18. Com relação ao blend, observou-se uma redução de aproximadamente 0,5m³/tSA em relação ao T11, reforçando o potencial da madeira do tratamento T4 como fonte de fibras em mistura de madeira na produção de celulose.

De acordo com Queiroz *et al.* (2004), Mokfienski *et al.* (2008) e Fernandes *et al.* (2011), o CEM possui uma relação inversamente proporcional com a densidade básica da madeira, ou seja, quando maior a densidade, menor será o CEM. Esta relação foi verificada no presente estudo e está apresentada na Figura 16.

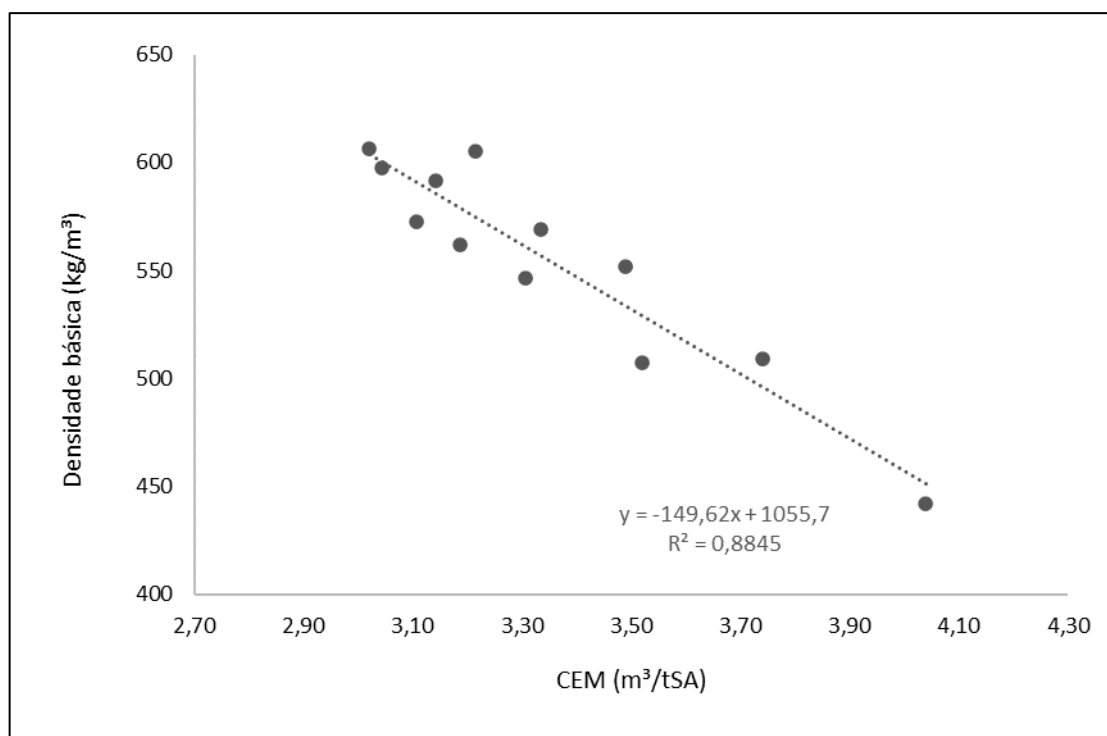


Figura 16 - Correlação linear de Pearson para densidade básica e consumo específico de madeira.

Conforme apresentado na Figura 16 é possível verificar que existe um coeficiente de determinação de 0,8845 e consequentemente uma forte correlação (94,04%) entre o CEM e a densidade básica da madeira.

Em estudo realizado por Costa *et al.* (2022) os autores obtiveram valores variando entre 2,74 e 3,32m³/tSA, enquanto que Segura (2015) encontrou CEM variando de 3,32 e 3,8 m³/tSA, ambos para híbridos de *C. citriodora* e *C. torelliana*.

5.5. Teor de rejeitos

Entre os parâmetros comumente analisados nos processos de polpação, destaca-se o teor de rejeitos, caracterizados por serem aglomerados de fibras que não foram deslignificados corretamente (CASTANHO, 2002). Os teores de rejeitos médios e suas respectivas comparações de médias podem ser observados na Figura 17.

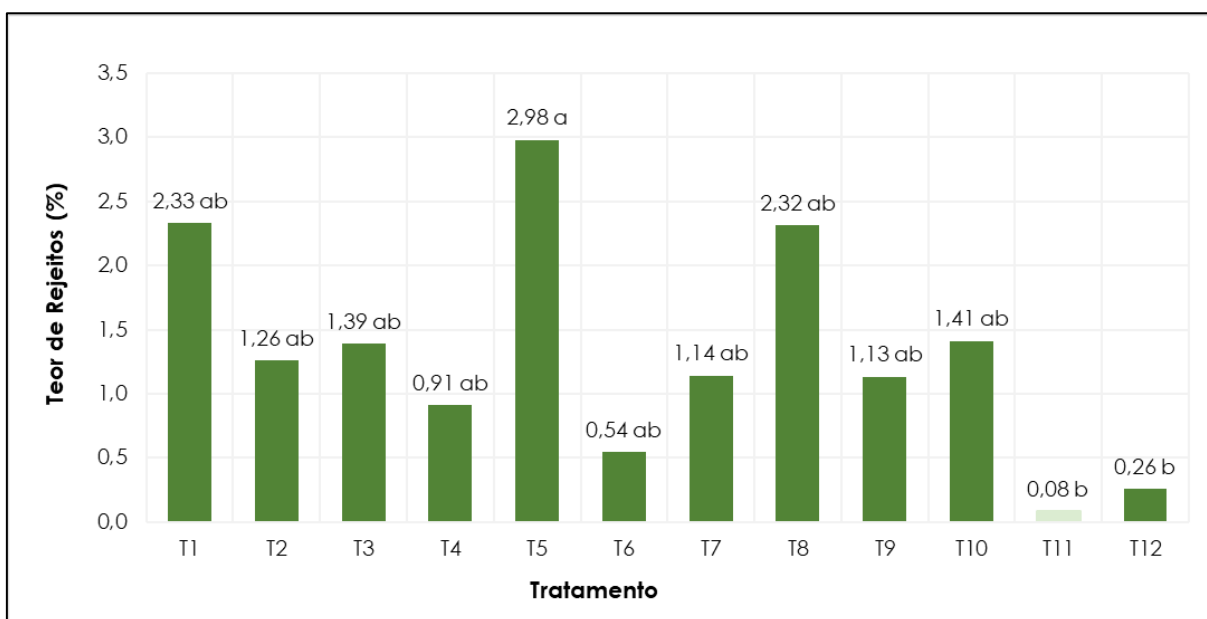


Figura 17 - Teor de rejeitos.

As médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Como era esperado, verifica-se que o tratamento de referência foi o que apresentou menor teor de rejeitos entre os clones estudados. Entre os híbridos de *Corymbia*, observa-se que o tratamento T6 e o tratamento T5, foram os que apresentaram menor e maior teor de rejeitos médios, 0,54 e 2,98%, respectivamente.

Observa-se que apenas o tratamento T5 diferiu-se estatisticamente do tratamento de T11, ao mesmo passo que se mostrou semelhante aos demais

tratamentos do gênero *Corymbia*. Para o tratamento Blend houve um acréscimo no teor de rejeitos em relação ao tratamento T11, explicado pela presença dos cavacos de madeira de *Corymbia* do tratamento T4 na composição da mistura.

A variação na quantidade de rejeitos gerados no processo de polpação é um parâmetro importante, uma vez que pequenas porcentagens podem ter grandes impactos econômicos, tanto pela perda de rendimento depurado, quanto nos custos de reprocessamento dos rejeitos (CASTANHO, 2002; FOELKEL, 2007).

O aumento no teor médio de rejeitos observados no presente estudo para os híbridos de *Corymbia* em relação ao *E. saligna* pode ser explicado pela dificuldade de impregnação dos cavacos. Diversos estudos sugerem que o aumento da densidade da madeira, a espessura dos cavacos, teor de lignina e as condições de cozimento podem influenciar na impregnação e deslignificação dos cavacos (FOELKEL, 2009; SILVA Jr., 2010; BARRICHELO, 1983; ALMEIDA, 2003).

Ressalta-se que o presente estudo foi desenvolvido através de cozimento convencional, desta forma, com base nos estudos realizados por Almeida (2003), sugere-se que sejam empregados cozimentos modificados (Lo-solids®) para redução no teor de rejeitos para os clones estudados.

De acordo com Foelkel (2007) as indústrias de celulose com altas tecnologias geram teores de rejeitos na faixa de 0,4 a 1%, para kappa variando entre 17 e 19. Desta forma, entre os híbridos de *Corymbia*, apenas os tratamentos T6 e T4 ficaram dentro da faixa descrita pelo autor.

5.6. Análise de correlações

Para avaliação dos comportamentos observados para os híbridos de *Corymbia*, foi realizado uma matriz de correlação de Pearson (r) entre os parâmetros analisados neste estudo, sem considerar os resultados encontrados para o tratamento de referência (*E. saligna*). As correlações estão apresentadas na Tabela 8. Considerou-se como correlação muito forte valores positivos ou negativos superiores a 0,9, correlação forte valores positivos ou negativos entre 0,7 e 0,9, correlação moderada valores entre 0,5 e 0,7, correlação fraca valores entre 0,3 e 0,5, e correlação nula ou desprezível valores entre 0 e 0,3.

Tabela 8 - Matriz de correlação de Pearson.

	DB	Ext. total	Holo	Cinzas	Lig. Total	RD	Kappa	Rejeito	CEM
DB	1								
Ext. total	0,02	1							
Holo	0,01	-0,91	1						
Cinzas	-0,65	-0,08	0,16	1					
Lig. Total	-0,08	-0,01	-0,41	-0,22	1				
RD	0,09	-0,75	0,65	0,04	0,08	1			
Kappa	-0,11	0,59	-0,33	0,43	-0,49	-0,58	1		
Rejeito	-0,56	0,31	-0,07	0,47	-0,51	-0,35	0,64	1	
CEM	-0,87	0,33	-0,31	0,53	0,02	-0,56	0,36	0,62	1

Onde: DB: Densidade básica, Ext. total: Teor de extrativos totais, Holo: teor de holocelulose, Cinzas: teor de cinzas; Lig. Total: teor de lignina total, RD: Rendimento total, Kappa: Número kappa; Rejeito: Teor de rejeitos; CEM: Consumo específico de madeira. A escala de cor indica: azul escuro como correlação positiva e mais próxima de 1, vermelho escuro como correlação negativa e mais próxima de -1 e cores claras como correlação neutra mais próxima de 0.

Observa-se na matriz de correlações que existe uma forte correlação negativa ($r=-0,87$) entre a densidade básica e o consumo específico de madeira, esta tendência é reportada por diversos autores como Queiroz *et al.* (2004), Mokfienski *et al.* (2008) e Fernandes *et al.* (2011).

Ao contrário do que se esperava, a densidade básica apresentou correlação negativa e moderada com o teor de rejeitos ($r=-0,56$), assim como a correlação entre lignina total e teor de rejeitos ($r=-0,51$), desta forma, a dificuldade de impregnação e o consequente aumento no teor de rejeitos se deu por outros motivos além da densidade básica.

A correlação entre o teor de extrativos totais e a holocelulose foi muito forte e inversamente proporcional ($r=-0,91$), enquanto que a correlação de holocelulose e lignina total foi fraca e negativa ($r=-0,41$), ou seja, a disponibilidade de celulose e hemicelulose é mais dependente dos extrativos do que da lignina presente nas madeiras do gênero *Corymbia*, o que pode ser explicado pela pequena variação na lignina total entre os materiais estudados.

Para o teor de holocelulose e rendimento depurado foi encontrada uma correlação positiva e moderada ($r=0,65$), indicando que as maiores disponibilidades de celulose e hemicelulose na madeira podem contribuir positivamente no aumento do rendimento depurado.

Conforme sugerido por Sansigolo (2010) e Gomide *et al.* (2005) os extrativos podem reagir com o álcali no processo de polpação e causar uma diminuição no rendimento depurado. Esta tendência foi evidenciada no presente estudo, onde ao se analisar os extrativos totais e o rendimento depurado observou-se uma correlação forte negativa ($r=-0,75$). Ao se relacionar os extrativos totais e o número kappa, foi encontrada uma correlação moderada e positiva ($r=0,59$), indicando que a presença de extrativos influenciou parcialmente e negativamente na deslignificação dos cavacos.

O rendimento depurado em relação ao número kappa demonstrou uma correlação moderada e negativa ($r=-0,58$), esta tendência indica que nem toda a madeira foi deslignificada de forma adequada, ou seja, o rendimento depurado cai, pois, apenas uma parte das fibras se soltaram dos cavacos e conseqüentemente manteve-se altos teores de lignina residual na polpa. Esta situação está ligada também com a correlação entre o número kappa e o teor de rejeitos ($r=0,64$), onde a redução no número kappa está ligada à melhor deslignificação e diminuição do teor de rejeitos.

6. Conclusões

A partir dos resultados encontrados neste trabalho, foi possível concluir que:

Ambos clones de híbridos de *Corymbia* apresentaram densidade básica média superiores ao clone de *E. saligna*, sendo os melhores tratamentos o T3 e o T6, com densidade superior a 600kg/m³;

Dentre todos, o tratamento T6, híbrido de *Corymbia Citriodora* x *Corymbia Torelliana*, foi o material que apresentou as melhores características químicas, entretanto não foi constatado o melhor para a aplicação desejada;

A madeira do tratamento T4 mostrou-se a mais favorável para a produção de celulose, apresentando o maior rendimento, menor kappa, menor teor de rejeitos entre os híbridos de *Corymbia*, além de um consumo específico de madeira baixo em

relação ao *E. saligna*, e destaca-se como o clone mais indicado para utilização comercial;

O blend formado pelos tratamentos T4 e T11 apresentou alto rendimento depurado e baixos teores de rejeitos e número kappa, bem como redução no consumo específico de madeira, caracterizando o T4 como uma ótima fonte de fibras para a produção de celulose;

As madeiras dos tratamentos T6 e T7 apresentaram potencial para a produção de celulose kraft, contudo é recomendado que mais estudos de otimização nos cozimentos sejam empregados;

O estudo permitiu observar que, para as madeiras do gênero *Corymbia*, a impregnação dos cavacos, deslignificação e consequentemente o rendimento depurado é mais influenciada pela presença de extrativos totais do que pela densidade básica;

Com base na qualidade da madeira, o ranqueamento dos tratamentos recomendados para a produção de celulose, seguiu a seguinte ordem: T4, T6, T9, T7, T8, T5, T10, T1, T2 e T3.

Referências

ALMEIDA, F. S. **Influência da carga alcalina no processo de polpação Lo-Solids® para madeiras de eucalipto**. 2003. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

ALZATE, S. B. A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E.grandis x urophylla***. 2004. 151 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

ALZATE, S. B. A. TOMAZELLO FILHO, M. PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis x urophylla*. **Scientia Florestalis**, n. 68, p. 87-95. 2005.

ANTUNES, F. S. **Avaliação da qualidade da madeira das espécies *Acacia crassicarpa*, *Acacia mangium*, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus* e *Populus tremuloides***. 2009. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

ASSIS, T. F. Melhoramento genético de *Eucalyptus*: Desafios e perspectivas. **3º Encontro Brasileiro de Silvicultura**. 2014.

ASSIS, T. F. Production and use of *Eucalyptus* hybrids for industrial purposes. In: FRI/CRC-SPF SYMPOSIUM, 2000, Noosa. **Hybrid breeding and genetics of forest trees: proceedings**. Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. P. 63-75.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 302**: Pasta celulósica – determinação do número kappa. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSUMPÇÃO, R. M. V., et al. Polpação química. In: D'ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. São Paulo: SENAI; IPT, 1988. v. 1, cap. 6, p 169-319.

BAJPAI, P. **Pulp and Paper Industry: Energy Conservation**. 1 Ed. Elsevier, 2016, 290 p. ISBN 0128034114.

BARRICHELO, L. E. G., BRITO, J. O. Potencialidade de espécies tropicais de eucalipto para a produção de celulose sulfato branqueada. **IPEF**, Piracicaba, n. 3, p. 9-38, 1976.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. A utilização da madeira na produção de celulose. **IPEF**: Circular Técnica, Piracicaba, n. 68, 1979.

BASSA, A. G. M. C. **Processo de polpação kraft convencional e modificado com madeiras de *E. grandis* e Híbrido (*E.grandis* x *urophylla*)**. 2002. 103 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

BATISTA, D. C., KLITZKE, R. J., & SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 665–674, 2010.

BRITO, J. O., BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: i. densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. **IPEF**: Piracicaba, n. 14, p. 9-20, 1977.

BURGUER, M, L., RITCHER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991, 151 p.

CASSEY, J. P. **Casey's reports on paper and the paper industry**: report no. 1 – Chemical and mechanical pulping. New York: Marcel Dekker, 1984. 136 p.

CASTANHO, C. G. **Utilização de rejeito fibroso industrial da polpação Kraft de eucalipto para produção de papéis**. 2002, 102 p. Dissertação (mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

CMPC Brasil, **P-PSM-0025**: Manual do Laboratório de Qualidade da Madeira. 1. Ed. Guaíba: CMPC, 2021.

CORREIA, F. M.; D'ANGELO, J. V. H.; SILVA JUNIOR, F. G. Revisitando o número kappa: conceitos e aplicações na indústria de celulose. **O Papel**, São Paulo, v. 80, p. 77-89, 2019.

COSTA, M. M. *et al.* ASSESSMENT OF INDUSTRIAL PERFORMANCE FOR MARKET PULP PRODUCTION BETWEEN EUCALYPT AND Corymbia HYBRIDS CLONES. **Revista Árvore**. v. 46, 2022.

COSTA, M. M.; COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; FOELKEL, C. E. B. Avaliação preliminar do potencial de quatro madeiras de eucalipto na produção de polpa solúvel branqueada pela sequência AO(ZQ)P. **Revista Árvore**, v.21, n.3, p.385-392, 1997.

FERNANDES, D. E., *et al.* Influência da produtividade de clones híbridos de eucalipto na densidade da madeira e na polpação Kraft. **Scientia. Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 143-150, jun. 2011.

FERREIRA, M. Escolha de espécies de eucalipto. **IPEF**. Piracicaba, n. 39, 20 p., 1979.

FERREIRA, P. J. T. **Estudos de Pastas Kraft de Eucalyptus globulus: Características Estruturais e Aptidão Papeleira**. 2000. 361 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2000.

FOELKEL, C. E. B. O processo de impregnação dos cavacos de madeira de Eucalipto pelo licor kraft de cozimento. **Revista online Grau Celcius**. 97 p. 2009 (a).

FOELKEL, C. E. B. Qualidade da madeira: teoria. 5. ed. Belo Oriente: [s.n.], 1977.

FOELKEL, C. E. B. Rendimentos em celulose sulfato de *eucalyptus* spp em função do grau de deslignificação e da densidade da madeira **IPEF**, Piracicaba, n. 9, p. 61-77, 1974.

FOELKEL, C. E. B. Resíduos sólidos industriais da produção de celulose kraft de eucalipto: Resíduos orgânicos fibrosos. **Eucalyptus Online Book & Newslater**. 78 p. 2007.

FOELKEL, C. E. B., BRASIL, M.A.M., BARRICHELO, L. E. G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, Piracicaba, n. 2/3, p. 65-74, 1971.

GARDNER, R. A. W. *et al.* Wood and fiber productivity potential of promising new eucalypt species for coastal Zululand, South Africa. **Australian Forestry**, Melbourne, v. 70, n. 1, p. 37-47, 2007.

GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDIWING, C. H. (Eds). **Lignins: occurrence, formation, structure and reactions**. John Wiley e Sons, 1971. Cap. 6.

GOMIDE, J. L. *et al.* Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de Eucalyptus do Brasil. **Revista Árvore**. v. 29, n. 1, p. 129-137. 2005.

GOMIDE, J. L. **Polpa de celulose: química dos processos alcalinos de polpação**. Viçosa: UFV, 1979. 50 p.

GOMIDE, J. L., COLODETTE, J. L., ALMEIDA, D. P. Kraft Pulping of Eucalyptus to the Optimum Technical and Economical Level". In: **Proceedings**, 5th International Colloquium on Eucalyptus Kraft Pulp, 2011, Porto Seguro, Brazil.

GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A. J. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose Kraft. **Revista Á** Viçosa, v. 34, n. 2, p. 339-344, mar./abr. 2010.

GONÇALVES, C. H. R. **Oxidação da madeira de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson por ozonólise**. 2014. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

GUARIENTI, A.; ROSA, C. A. B.; PEDRAZZI, C.; CARDOSO, G. V.; SOUZA, M. C. H.; FOELKEL, C. E. B.; FRIZZO, S. M. B. Amostragem de madeiras de Eucalyptus saligna e Eucalyptus globulus para determinação de lignina Klason e extrativos totais. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL, 33., 2000. São Paulo. **Anais**. São Paulo: Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 2000.

HILL, K.D., JOHNSON, L. A. S. Systematic studies in the *Eucalyptus* 7. A revision of the bloodwoods, genus *Corymbia* (Myrtaceae). **Telopea**, Sydney, v. 6, n. 2/3, p. 185-504, 1995.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório anual. Brasília, 2021. 176 p. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>. Acesso em: 21 set. 2022.

JACOB, W. S., BALLONI, E. A. Efeitos da fertilização na qualidade da madeira. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v.6, n.20, p. C1-C13, 1978.

KOLLMANN, F. F. P., CÔTÊ, W. A. **Principles of wood Science and technology: solid wood**. New York: Springer Verlag. V. 1, 592 p. 1968.

LOUREIRO, B. A. *et al.* Selection of superior clones of *Corymbia* hybrids based on wood and charcoal properties. **Maderas, Cienc. Tecnol.** Concepción, v. 21, n. 4, p. 619-630, 2019.

MATA, R. A. **Efeitos do lixiviado de cinzas de precipitadores eletrostáticos de caldeiras de recuperação no tratamento biológico de efluentes de indústrias de polpa celulósica kraft**. 2016. 74 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2016.

MEZZOMO, L. X. **Potencialidade de *Eucalyptus cloeziana* S. Muell, *E. Citriodora* Hook, *E. urophylla* St Blake e *E. urophylla* x *E. grandis*, cultivados na Bahia, para a produção de celulose solúvel.** 1996. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

MILAGRES, F. R. **Avaliação da madeira de híbridos de *Eucalyptus globulus* com *E. grandis* e *E. urophylla*, para produção de celulose, utilizando espectroscopia nir.** 2009. 142 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

MILANEZ, A.P. et al. Influência das hemiceluloses nas propriedades óticas e físicas mecânicas da polpa. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 15., 1982, São Paulo SP. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1982. p.155-170.

MOKFIENSKI, A.; COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; CARVALHO, A. M. M. L. A importância relativa da densidade da madeira e do teor de carboidratos no rendimento de polpa e na qualidade do produto. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 3, p. 401–413, 2008.

MORAES, F. A. B. **Modelo para Avaliação do Consumo Específico de Madeira e Insumos Energéticos no Processo de Produção de Celulose e Papel.** 2011. 209 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Centro Universitário de Araraquara, Araraquara, 2011.

MOURA, G. S., FRANZENER, G. Anatomia foliar de *Corymbia Citriodora* (Hook.) K. D. Hill & L. A. S. Johnson oriundas da região noroeste do Paraná. **Revista de Biologia Neotropical**. p.116-123, 2014.

MOURA, H. N. A. **Impacto Da Utilização De Diferentes Clones de Eucalipto Na Produção De Celulose.** 2021. 63f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Química do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.

MOUTINHO, V. H. P. **Influência da variabilidade dimensional e da densidade da madeira de *Eucalyptus* sp. e *Corymbia* sp. na qualidade do carvão.** 2012. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2012.

PATRICK, K. Mills boost production, cut fiber cost by cooking to optimum kappa levels. **PaperAge**, p. 34-37, 2005.

QUEIROZ, S. C. S., et al. Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x

Eucalyptus urophylla S. T. Blake clones. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 901-909, 2004.

REIS, C. A. F., ASSIS, T. F., SANTOS, A. M., PALUDZYSZYN FILHO, E. ***Corymbia citriodora***: estado da arte de pesquisas no Brasil. Colombo: Embrapa Florestas, 2013. 59 p.

REIS, C. A. F., ASSIS, T. F., SANTOS, A. M., PALUDZYSZYN FILHO, E. ***Corymbia torelliana***: estado da arte de pesquisas no Brasil. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 50 p.

RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia**. 1998. 69 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SANTOS, Iris Dias. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e na contração da madeira e no rendimento e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado**. 2008. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SARTO, C., SANSIGOLO, C.A. Cinética da remoção dos extrativos da madeira de *Eucalyptus grandis* durante polpação Kraft. **Acta Scientiarum-technology**. Maringa: Universidade Estadual de Maringá (UEM), Pro-reitoria Pesquisa Pos-graduacao, v. 32, n. 3, p. 227-235, 2010.

SCANDINAVIAN PULP, PAPER AND BOARD. **SCAN-CM 43:95**. Basic density, SCAN, 1995. 4 p.

SEGURA, T. E. S. **Avaliação das madeiras de *Corymbia citriodora*, *Corymbia torelliana* e seus híbridos visando a produção de celulose kraft branqueada**. Orientador: Francides Gomes da Silva Junior. 2015. 199 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2015.

SEGURA, T. E. S., SILVA JR. F. G. Influência do fator H e da carga alcalina na polpação kraft de *Corymbia citriodora*. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, 6.; SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA DO RJ, 2., 2010, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRRJ, 2010. 3 p.

SEVERO, E. T. D., CALONEGO, F. W., SANSÍGOLO, C. A. “Composição química da madeira de *Eucalyptus citriodora* em função das direções estruturais”, **Silva Lusitana**, v. 14, n. 1, pp. 113-126, 2006.

SILVÉRIO, F.O. *et al.* Metodologia de extração e determinação do teor de extrativos em madeiras de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 30, n. 6, p. 1009-1016, 2006.

SILVESTRE, A. J. D. *et al.* Chemical composition of pitch deposits from an ECF *Eucalyptus globulus* bleached kraft pulp mill: its relationship with wood extractives and additives in process streams. **Appita Journal**, v. 52, n. 5, p. 375-381, 1999.

SMOOK, G. A. **Handbook for Pulp & paper technologists**. Vancouver: Angus Wide Publ., 429 p. 1994.

SUESS, H. U. **Pulp Bleaching Today**. 1. Ed. New York: De Gruyter, 2010. 320 p ISBN 9783110207378.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 207:** Water solubility of wood and pulp. Atlanta: TAPPI, 2008.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 211:** Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525 °C. Atlanta: TAPPI, 2012.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 222:** Acid-insoluble lignin in wood and pulp. Atlanta: TAPPI, 2011.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 236:** Kappa number of pulp. Atlanta: TAPPI, 1985.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 257:** Sampling and preparing wood for analysis. Atlanta: TAPPI, 2012.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 264:** Preparation of wood for chemical analysis. Atlanta: TAPPI, 2007.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-mecânicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 97-111, jan./jun. 1996.

VALENTE, B. M. R. T. **Avaliação de clones híbridos de *Corymbia* para crescimento, qualidade da madeira e carvão vegetal na região do Rio Doce.**

2017. 84 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2017.

VALENTE, B. M. R. T. **Clones de eucalipto**. A tendência das tecnologias florestais. Revista Opiniões, 2015. 56 p. ISBN 2177-6504.

VIEIRA, I. G. **Estudo de caracteres silviculturais e de produção de óleo essencial de progênies de *Corymbia citriodora* (Hook.) K. D. Hill & L. A. S. Johnson procedente de Anhembi-SP-Brasil, ex. Atherton QLD - Austrália**. 2004. 100 Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2004.

Anexos

Anexo A – Manual do Laboratório de Qualidade da Madeira CMPC



P-PSM-0025 – Manual do Laboratório de Qualidade da Madeira

Elaborador: Nathalia Pimentel (CMPC Brasil)

Versão: 00

Aprovador: Marcio Bernardi (CMPC Brasil)

Reavaliação: -

1. OBJETIVO

Descrever os procedimentos técnicos e de segurança do trabalho nas atividades do Laboratório de Qualidade da Madeira executadas pelos Fornecedores de Serviços Florestais, sob a responsabilidade da CMPC.

2. APLICAÇÃO

Este Procedimento aplica-se às atividades do Laboratório de Qualidade da Madeira da CMPC, suas interfaces e Fornecedores de Serviços Florestais.

As atividades do Laboratório de Qualidade da Madeira da empresa, visa determinar a qualidade da madeira de diferentes materiais genéticos objetivando a seleção de clones superiores quanto a estas características, para compor Programas de Melhoramento Genético de *Eucalyptus* e *Corymbia*. O presente laboratório também poderá realizar a determinação da densidade da madeira dos plantios operacionais da CMPC, visando auxiliar com informações para planejamento das operações industriais.

3. DEFINIÇÕES

- **APA**

Análise preliminar de área, que deverá ser realizada anteriormente ao início das atividades de coleta de amostras de madeira em cada talhão.

- **APR**

Análise preliminar de risco de qualquer atividade distinta daquelas já identificadas e/ou documentadas, a qual deverá ser validada juntamente com o setor de segurança da CMPC.

- **DDS**

Diálogo Diário de Segurança.

- **EPI's**

Equipamentos de proteção individual.

- **DAP**

Diâmetro a altura do peito, medido a 1,30 m da base da planta.

- **Amostragem**

Porção de um material recolhido de uma grande quantidade com a finalidade de avaliar as características ou composição da quantidade maior.

- **Talhão**

Fração resultante da subdivisão de áreas de uma floresta implantada.

- **Circunferência e Diâmetro**

São variáveis dendrométricas, medidas com trena, suta ou paquímetro a partir do coleto (base da planta).

- **Altura**

Anexo B – Metodologia de determinação da concentração de NaOH

- Pipetar 5mL da solução preparada de NaOH em um Erlenmeyer com capacidade de 250mL contendo 100mL de água destilada;
- Transferir o Erlenmeyer para um agitador magnético para proceder a titulação, manter sob agitação;
- Adicionar 5 gotas de indicador fenolftaleína 1% (a solução ficará com coloração rosada);
- Titular com HCl com normalidade conhecida de 1N até a viragem de coloração (rosa para transparente);
- Anotar o valor de HCl consumido.

Calculos:

$$N = \frac{(N1 \times V1)}{V}$$

Onde:

N= normalidade da solução de NaOH;

N1 = normalidade do HCl;

V1 = Volume de HCl consumido;

V = Volume de NaOH pipetado inicialmente.

Para concentração de NaOH em termos de Na₂O, o valor de N deve ser multiplicado pelo peso molecular do Na₂O:

$$C = N \times 31$$

Anexo C – Metodologia de determinação da concentração de Na₂S

- Pipetar 10mL da solução preparada de Na Na₂S em um Erlenmeyer com capacidade de 250mL contendo 100mL de água destilada;
- Transferir o Erlenmeyer para um agitador magnético para proceder a titulação, manter sob agitação;
- Adicionar 5mL de formoldeído (formol);
- Adicionar 5 gotas de indicador fenolftaleína 1% (a solução ficará com coloração rosada);
- Titular com HCl com normalidade conhecida de 1N até a viragem de coloração (rosa para transparente);
- Anotar o valor de HCl consumido.

Calculos:

$$N = \frac{(N1 \times V1)}{V}$$

Onde:

N= normalidade da solução de Na₂S;

N1 = normalidade do HCl;

V1 = Volume de HCl consumido;

V = Volume de Na₂S pipetado inicialmente.

Para concentração de Na₂S em termos de Na₂O, o valor de N deve ser multiplicado pelo peso molecular do Na₂O:

$$C = N \times 31$$