

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS DE CURITIBANOS  
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, BIODIVERSIDADE E FLORESTAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Gabrielly Andrade Duarte

**Avaliação das propriedades da madeira de *Podocarpus lambertii* visando à produção de polpa celulósica de fibra longa**

Curitibanos, SC

2023

Gabrielly Andrade Duarte

**Avaliação das propriedades da madeira de *Podocarpus lambertii* visando à produção de polpa celulósica de fibra longa**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Magnos Alan Vivian

Curitibanos, SC

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pela autora, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca  
Universitária da UFSC.

Duarte, Gabrielly Andrade  
Avaliação das propriedades da madeira de *Podocarpus lambertii*  
visando à produção de polpa celulósica de fibra longa /  
Gabrielly Andrade Duarte ; orientador, Magno Alan Vivian, 2023.  
35 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade  
Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Graduação em  
Engenharia Florestal, Curitibanos, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Celulose e Papel. 3. Conífera .  
4. Pinheiro Bravo. 5. Composição anatômica . I. Vivian, Magno  
Alan. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em  
Engenharia Florestal. III. Título.

Gabrielly Andrade Duarte

**Avaliação das propriedades da madeira de *Podocarpus lambertii* visando à produção de polpa celulósica de fibra longa**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Florestal” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Florestal

Curitiba, 10 de novembro de 2023.

---

Prof. Dr. Marcelo Bonazza  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Magnos Alan Vivian  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karina Soares Modes  
Avaliadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Kelen Haygert Lencina  
Avaliadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por inúmeras vezes guiar-me pelo melhor caminho e apontar as decisões corretas, à mãe Maria e a São Francisco de Assis por sempre abençoarem minha jornada. Aos principais motivadores da minha chegada até aqui, os quais nunca mediram esforços na minha educação e criação, meu pai Valdemar Lorega Duarte Filho e minha mãe Cintia Eckhardt Andrade Duarte, ao lado deles meu melhor amigo e irmão Victor Augusto Andrade Duarte, essa conquista também é de vocês.

Aos meus amigos Renata, Carlos, Fernanda, Vitória e Bruna, que estiveram ao meu lado ao longo de toda graduação, nos momentos em que mais precisei e inúmeras vezes, mesmo de longe se fizeram presente. Também cito as amigas que fui somando ao longo dos anos e hoje também são LAR, Luiza, Luísa, Emanuele e Gabriela, obrigada pelo apoio incondicional. Aos demais amigos que guardo em meu coração que me acompanham também na caminhada jucista meu muito obrigada.

Obrigada aos colegas de graduação que fizeram a desgastante e pesada rotina acadêmica ser mais leve e tranquila, Luan, Sandy, Mary, Anna, Letícia, Taíse e Gabrielle. Aos mestres que foram instrumento primordial para que adquiríssemos tanto conhecimento, eles que além de professores foram amigos e conselheiros, em especial meu orientador Professor Dr. Magno e os Professores Dr<sup>a</sup> Karina, Dr<sup>a</sup> Kelen, Dr. Vinicius e Dr. Marcelo Bonazza. Aos colegas de grupo de estudo que auxiliaram de forma significativa nas análises do projeto, obrigada Olavio, Laiara e Scheila.

A empresa Florestal Gateados por ter disponibilizado a madeira para a realização do trabalho. Também agradeço ao Prof. Francides e ao Laboratório de Química, Celulose e Energia (LQCE), da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo (USP), pela realização das análises químicas.

Por fim agradeço as oportunidades de crescimento pessoal e profissional que obtive ao longo desses cinco anos de graduação, através de atividades extracurriculares, cito em especial o Grupo PET Ciências Rurais, principalmente a nossa querida tutora Adriana Itako pelo cuidado e atenção, a Secretaria de Planejamento e Urbanismo de Curitiba representada pela secretária Anajara Melo, pela excelente oportunidade de estágio não obrigatório e a empresa Trombini Embalagens S/A pela oportunidade de estágio final.

A Gabrielly que chegou até aqui carrega um pouquinho de cada um de vocês!

## RESUMO

O setor de celulose e papel está em constante evolução, por meio do desenvolvimento de novas tecnologias, as quais visam aumentar ainda mais a sua capacidade produtiva. Com o aumento da demanda surge a necessidade da busca por novas alternativas que venham a suprir e diversificar o mercado. O *Podocarpus lambertii* surge como opção potencial para ser incorporado na base do segmento de fibras longas. Com o objetivo de avaliar as características físicas, químicas e anatômicas da madeira de um plantio experimental de *Podocarpus lambertii* aos 26 anos de idade, com vistas a delinear o seu potencial para produção de papel e celulose, foram coletadas 5 árvores e extraídos discos para avaliação da densidade básica e verde da madeira, composição química e morfologia dos traqueídeos. As densidades básica (0,397 g/cm<sup>3</sup>) e verde (0,907 g/cm<sup>3</sup>) possibilitaram classificar a madeira como leve ou de baixa densidade. Em relação a composição química, observaram-se teores de cinzas (0,69%) e extrativos (4,40%) dentro do esperado para a madeira de coníferas, porém o teor de lignina foi elevado (36,99%), e o teor de holocelulose baixo (58,61%). As dimensões dos traqueídeos, comprimento (1,92 mm), largura (35,06 µm), diâmetro do lúmen (25,55 µm) e espessura da parede celular (4,75 µm), permitiram classificá-los como moderadamente longos e espessos. Os indicadores anatômicos de qualidade, fração parede (28,08%), coeficiente de flexibilidade (71,88%), índice de Runkel (0,41) e índice de enfiletramento (53,71), foram considerados muito bons para produção de polpa e papel, com base nas classificações relatadas na literatura. Os resultados observados para a madeira de *Podocarpus lambertii* são muito satisfatórios, os quais indicam que a espécie merece atenção e estudos mais aprofundados, podendo ser uma alternativa ou complemento ao segmento de fibras longas, que hoje é abastecido exclusivamente pelo gênero *Pinus* no Brasil.

**Palavras-chave:** Celulose e Papel. Pinheiro bravo. Conífera. Composição anatômica.

## ABSTRACT

The pulp and paper sector is an constantly evolving, through the development of new technologies, which aim to further increase its production capacity. With the increase in demand comes the need to search for new alternatives that will supply and diversify the market. *Podocarpus lambertii* appears as a potential option to be incorporated into the base of the long fiber segment. With the aim of evaluating the physical, chemical and anatomical characteristics of wood from an experimental planting of *Podocarpus lambertii* at 26 years of age, with a view to outlining its potential for paper and pulp production, 5 trees were collected and discs were extracted for evaluation of the basic and green density of wood, chemical composition and tracheids morphology. The basic (0.397 g/cm<sup>3</sup>) and green (0.907 g/cm<sup>3</sup>) densities made it possible to classify the wood as light or low density. Regarding chemical composition, ash (0.69%) and extractives (4.40%) contents were observed within those expected for coniferous wood, however the lignin content was high (36.99%), and low holocellulose content (58.61%). The dimensions of the tracheids, length (1.92 mm), width (35.06 µm), lumen diameter (25.55 µm) and cell wall thickness (4.75 µm), allowed them to be classified as moderately long and thick. The anatomical quality indicators, wall fraction (28.08%), flexibility coefficient (71.88%), Runkel index (0.41) and felting index (53.71), were considered very good for the production of pulp and paper, based on classifications reported in the literature. The results observed for *Podocarpus lambertii* wood are very satisfactory, which indicate that the species deserves attention and more in-depth studies, and could be an alternative or complement to the long fiber segment, which today is supplied exclusively by the genus *Pinus* in Brazil.

**Keywords:** Pulp and Paper. Pinheiro bravo. Conifer. Anatomical composition.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa de ocorrência da espécie <i>Podocarpus lambertii</i> . .....	13
Figura 2 – Característica foliar da espécie <i>Podocarpus lambertii</i> . .....	14
Figura 3 – Cunhas diametralmente opostas das cinco árvores. ....	17
Figura 4 – Método de determinação do volume pela balança hidrostática. ....	18
Figura 5 – Preparação dos cavacos para moagem (A), moinho do tipo Willey (B), peneiras utilizadas para classificação (C) e cavacos e serragem (D). ....	19
Figura 6 – Posições de retirada das baquetas (A) e fragmentos para maceração (B). ....	20
Figura 7 – Preparação dos tubos de ensaio com a solução macerante (A, B, C), tubos de ensaio em banho-maria (D) e lâmina temporária com macerado (E). ....	21
Figura 8 – Composição química da madeira de <i>Podocarpus lambertii</i> . ....	25
Figura 9 – Dimensões dos traqueídeos ao longo do sentido radial da madeira de <i>Podocarpus lambertii</i> . (A) comprimento; (B) largura; (C) diâmetro do lúmen; (D) espessura da parede celular. ....	27
Figura 10 – Indicadores anatômicos de qualidade ao longo do sentido radial da madeira de <i>Podocarpus lambertii</i> . (A) fração parede; (B) coeficiente de flexibilidade; (C) índice de Runkel; (D) índice de enfeltramento. ....	29



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Densidade básica e verde da madeira de <i>Podocarpus lambertii</i> . .....	23
Tabela 2 – Comparação da densidade básica da madeira de <i>Podocarpus lambertii</i> e outras coníferas.....	23
Tabela 3 – Comparação da composição química da madeira de <i>Podocarpus lambertii</i> e outras coníferas.....	25
Tabela 4 – Comparação das dimensões dos traqueídeos da madeira de <i>Podocarpus lambertii</i> e outras coníferas.....	28
Tabela 5 – Comparação dos parâmetros de qualidade da madeira de <i>Podocarpus lambertii</i> com outras espécies de coníferas.....	30

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

DAP – Diâmetro a Altura do Peito

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LRF – Laboratório de Recursos Florestais

LQCE – Laboratório de Química, Celulose e Energia

MMA – Ministério do Meio Ambiente

TAPPI – Technical Association of the Pulp and Paper Industry

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1	OBJETIVOS .....	12
1.1.1	Objetivo geral.....	12
1.1.2	Objetivos específicos.....	12
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
2.1	<i>Podocarpus lambertii Klotzsch ex Endl.</i> .....	13
2.2	PANORAMA DO SETOR DE CELULOSE E PAPEL .....	14
2.3	QUALIDADE DA MADEIRA PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL.....	15
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
3.1	COLETA E PREPARO DO MATERIAL.....	17
3.2	DENSIDADE BÁSICA E VERDE.....	17
3.3	COMPOSIÇÃO QUÍMICA .....	19
3.4	MORFOLOGIA DOS TRAQUEÍDEOS.....	20
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	22
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>23</b>
4.1	DENSIDADE BÁSICA E VERDE.....	23
4.2	COMPOSIÇÃO QUÍMICA .....	24
4.3	MORFOLOGIA DOS TRAQUEÍDEOS.....	27
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>32</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>33</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o setor florestal brasileiro cresceu de forma considerável, com um Produto Interno Bruto (PIB) setorial muito acima da média nacional. Enquanto o PIB do país cresceu 7,4% entre os anos de 2010 a 2021, o valor adicionado da cadeia florestal foi de 20,5% no mesmo período, conforme o relatório da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2022).

O setor de celulose e papel é um dos mais importantes e significativos ramos na indústria florestal brasileira, contribuindo com parte expressiva dos plantios, balança comercial, investimentos e geração de emprego e renda. Em 2021 a produção de celulose brasileira alcançou 22,5 milhões de toneladas, um aumento de 7,4% em relação ao ano anterior, consolidando o país como o segundo maior produtor do mundo, enquanto que a produção de papel atingiu 10,7 milhões de toneladas, com aumento de 4,2% em relação ao ano anterior, ficando entre os dez maiores produtores (IBÁ, 2022).

Demonstra-se a constante evolução do setor, por meio do desenvolvimento de novas tecnologias, as quais visam aumentar ainda mais a sua capacidade produtiva. O setor de produção de celulose se divide em dois segmentos de fibras, o de fibras curtas e o de fibras longas, sendo o primeiro abastecido por espécies do gênero *Eucalyptus*, e o segundo com espécies do gênero *Pinus* (VIVIAN *et al.*, 2022).

O segmento de fibras longas está concentrado no uso de apenas duas espécies de *Pinus*, especialmente o *Pinus taeda*, o que torna importante o estudo de novas espécies que possam vir a serem alternativas para o fornecimento de matéria-prima. Nesse sentido, surge a espécie *Podocarpus lambertii*, que é uma conífera nativa do Brasil que pode fornecer madeira para tal finalidade.

Segundo Longhi (1992), o *Podocarpus lambertii*, conhecido vulgarmente por “pinheiro-bravo”, é bastante conhecido pelos botânicos e muito apreciado pela qualidade de sua madeira, por ser juntamente com a *Araucaria angustifolia*, duas gimnospermas arbóreas nativas do Estado de Santa Catarina. A espécie pertence à família Podocarpaceae e ocorre naturalmente em solos de fertilidade química variável, na maioria pobre, bem drenados e com textura que varia de franca a argilosa (CARVALHO, 2004).

Além da necessidade de estudos de novas espécies com potencial de serem incorporadas na base do segmento de fibras longas, o *Podocarpus lambertii* surge como

opção também na expansão do acervo literário desta espécie tão pouco conhecida, seja originária de florestas nativas ou de plantios comerciais da mesma, servindo como forma de aprofundamento nos estudos tecnológicos com a madeira dessa espécie, ampliando seu potencial de uso.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Avaliar as características físicas, químicas e anatômicas da madeira de *Podocarpus lambertii* visando a produção de polpa celulósica de fibra longa.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar a densidade básica e verde da madeira;
- Determinar a composição química da madeira;
- Avaliar a morfologia dos traqueídeos da madeira e sua variação radial (medula-casca);
- Calcular os indicadores de qualidade, visando a produção de polpa celulósica e papel.

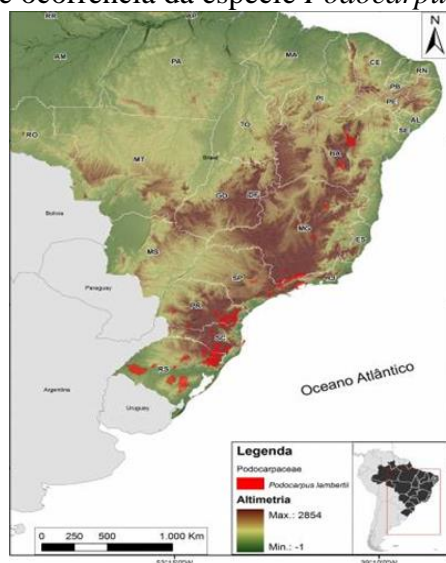
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl.

O *Podocarpus lambertii*, popularmente conhecido como pinheirinho ou pinheiro-bravo, é uma conífera pertencente à família Podocarpaceae. É uma árvore perenifólia de altura variável, comumente apresenta em torno de 10 m de altura e 20 a 40 cm de diâmetro, podendo alcançar em seu habitat natural (Floresta de Araucária) até 27 m de altura e 120 cm de diâmetro na idade adulta (CARVALHO, 2004; BITTENCOURT *et al.*, 2019).

É uma espécie conhecida e apreciada por apresentar madeira de altíssima qualidade, correspondendo juntamente com a *Araucaria angustifolia*, as duas gimnospermas arbóreas nativas dos estados do Sul do Brasil. Apresenta-se com frequência em regiões da Serra da Mantiqueira, na região de Campos do Jordão, também com presença constatada na região central do Estado de Minas Gerais (MAINIERI, 1973; LONGHI *et al.*, 1992). Sua ocorrência vai desde o Estado do Rio Grande do Sul até a Bahia, principalmente na área dominada pela Floresta Ombrófila Mista, mas também sendo encontrada na Floresta Estacional Decidual, na Floresta Estacional Decidual Montana e nos Campos (CARVALHO, 2004; BITTENCOURT *et al.*, 2019). Na figura 1 é possível observar o mapa de ocorrência da espécie, já na figura 2 demonstra-se o aspecto foliar da mesma.

Figura 1 – Mapa de ocorrência da espécie *Podocarpus lambertii* no Brasil.



Fonte: CNCFlora (2013).

Conforme os mesmos autores, a espécie é preferencialmente encontrada em locais com solos de fertilidade química variável, na maioria pobres, bem drenados, de textura franca a argilosa (CARVALHO, 2004; BITTENCOURT *et al.*, 2019).

De acordo com pesquisas relacionadas com o crescimento da espécie, Carvalho (2004) relata que o mesmo é lento, com uma produtividade volumétrica máxima de 7,55 m<sup>3</sup>/ha/ano, aos 15 anos de idade. Já em relação aos aspectos da madeira, o autor destaca que a madeira é de densidade leve, de fácil trabalhabilidade, com potencial de ser utilizada para produção de madeira serrada (embalagens, molduras, ripas, tábuas para forros, palitos de fósforos, compensados, laminados, aglomerados, instrumentos musicais, etc.), energia (lenha), celulose e papel (para fibra longa).

Figura 2 – Característica foliar da espécie *Podocarpus lambertii*.



Fonte: CORRÊA (2021).

## 2.2 PANORAMA DO SETOR DE CELULOSE E PAPEL

Segundo os dados do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2020) o Brasil é um dos maiores produtores e o maior consumidor mundial de produtos de origem florestal, sendo que desde o ano de 2003 a área plantada vem aumentando ano após ano. Esse crescimento que

conta com a participação dos pequenos produtores, refletindo-se em um perfil social das florestas plantadas no Brasil que, tradicionalmente, eram de grandes empresas.

Segundo Milani (2010), o aumento da produção, e conseqüente demanda de produtos de origem madeireira, é em sua maior parte suprido por espécies dos gêneros *Pinus* e o *Eucalyptus*, pois ambos atendem de maneira satisfatória as demandas de produção de lenha, carvão e celulose.

Segundo o relatório anual do IBÁ (2022) atualmente o país conta com uma área de florestas plantadas de 9,93 milhões de hectares, sendo 75,8% desta composta por espécies do gênero *Eucalyptus* e 19,4% por espécies do gênero *Pinus*. Outro aspecto importante é a colocação do país em relação a produção de celulose e papel, sendo que em 2021, o país manteve-se na posição de segundo maior produtor mundial de celulose, com 22,5 milhões de toneladas, e o décimo na produção de papel, com 10,7 milhões de toneladas.

De acordo com Félix (2018) a produção de celulose de fibra longa no Brasil convencionalmente ocorre a partir da madeira de *Pinus*, gênero de conífera que é muito cultivado na região Sul, que apresenta fibras longas, as quais são primordiais para produção de papéis de maior resistência mecânica. Geralmente a celulose de fibra longa é utilizada na fabricação de papéis que demandam mais resistência, como os de embalagens, e nas camadas internas do papel cartão, além do papel jornal.

### 2.3 QUALIDADE DA MADEIRA PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL

Quando a destinação madeireira tem como foco a produção de polpa celulósica, segundo Dias (2013), deve-se atentar para três classes de fatores que impactam na qualidade da madeira, sendo eles os fatores físicos, químicos e anatômicos. As variações destas características da madeira têm um efeito marcante sobre a qualidade do produto final, sendo essencial conhecê-los para compreender as melhores opções de processamento.

Dentre os fatores físicos está a densidade básica a qual influencia no volume necessário de matéria-prima para atingir os objetivos de produção. Na produção de celulose, a densidade afeta diretamente a velocidade de impregnação pelo licor de cozimento e no ritmo de deslignificação, bem como no rendimento e qualidade da polpa produzida (FOCKEL; MORA; MENOCELLI, 1992).



Em relação aos fatores químicos, o conhecimento destes é de extrema importância, pois o produto final sofre influência direta da composição química da mesma, afetando tanto o consumo dos digestores quanto o rendimento depurado e o teor de sólidos gerados (DIAS, 2013). Dentre os fatores químicos de importância da madeira podem ser citados os teores de celulose, hemiceluloses e lignina. A lignina é o composto mais indesejável da madeira na produção da pasta celulósica, pois sua maior concentração conseqüentemente exigirá um maior consumo de álcali para a deslignificação, resultando em um menor rendimento do produto final (DIAS, 2013).

Já as características anatômicas e morfológicas das fibras influenciam em diversos aspectos na produção de polpa celulósica. Madeiras com fibras de paredes mais espessas, produzem um papel mais poroso e opaco, conferindo melhor capacidade de impressão, já fibras de paredes mais finas, contrariamente, determinam a formação de papéis mais densos e com elevada resistência à ruptura e a tensão. Em geral, fibras curtas contribuem para uma boa formação de folha, ao passo que as mais longas favorecem a resistência ao rasgo (BALDIN *et al.*, 2017)

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 COLETA E PREPARO DO MATERIAL

Para condução do estudo foi utilizada a madeira de *Podocarpus lambertii*, com 26 anos de idade, originária de um plantio experimental de propriedade da empresa Florestal Gateados Ltda., localizada no município de Campo Belo do Sul/SC. O plantio estava localizado a uma altitude de 962 metros, em clima Cfb - subtropical úmido com verões amenos, de acordo com a classificação de Köppen. Foram coletadas cinco árvores da espécie, das quais extraíram-se a primeira tora, com aproximadamente 1,5 metros de comprimento, que foram transportadas para o Laboratório de Recursos Florestais, da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Curitibanos, para condução da caracterização tecnológica da madeira.

#### 3.2 DENSIDADE BÁSICA E VERDE

Para determinação da densidade foram utilizados discos extraídos do DAP (diâmetro a altura do peito = 1,30 m), dos quais foram confeccionadas duas cunhas opostas (Figura 3), as quais foram mantidas submersas em água até completa saturação.

Figura 3 – Cunhas diametralmente opostas das cinco árvores.



Fonte: O autor (2023).

Após a completa saturação das cunhas foi determinado o volume verde destas, seguindo as recomendações da norma NBR 11.941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2003), denominado método da balança hidrostática (Figura 4). Após a obtenção do volume verde, realizou-se a pesagem em balança semi-analítica para a obtenção da massa úmida de cada cunha.

Figura 4 – Método de determinação do volume pela balança hidrostática.



Fonte: O autor (2023).

Para obtenção da massa seca das cunhas, as mesmas foram submetidas à secagem a temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , em estufa com circulação forçada de ar, até estabilização e registro da mesma em balança semi-analítica. A partir dos valores de massa úmida, massa seca e volume verde, calcularam-se as densidades verde e básica de cada cunha, por meio das equações 1 e 2, respectivamente, cuja média correspondeu ao valor de cada árvore amostrada.

$$Dv = \frac{Mu}{Vv} \quad (1)$$

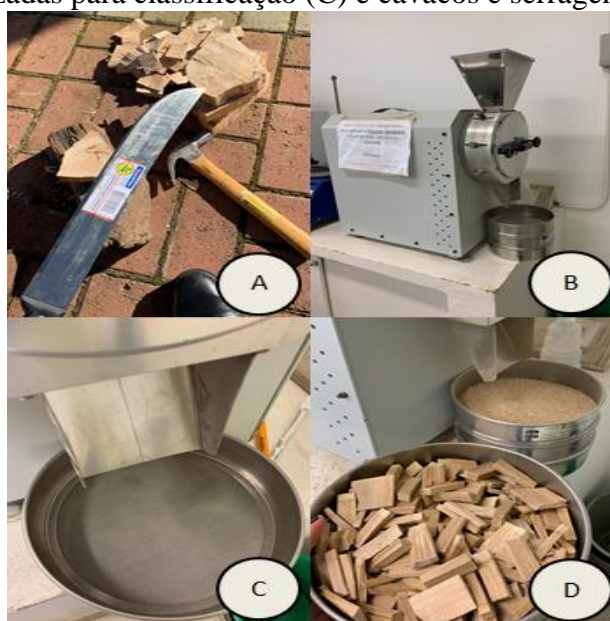
$$Db = \frac{Ms}{Vv} \quad (2)$$

Em que:  $Dv$  = densidade verde ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $Db$  = densidade básica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $Mu$  = massa úmida (g);  $Ms$  = massa seca (g); e  $Vv$  = volume verde ( $\text{cm}^3$ );

### 3.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Para determinação da composição química utilizou-se as amostras sobressalentes dos discos retirados da base e do DAP, que foram transformados em pequenos cavacos com facão, moídos (moinho do tipo Willey) e classificados em peneiras, selecionando-se a fração de serragem retida entre as peneiras de 40 e 60 *mesh* (Figura 5).

Figura 5 – Preparação dos cavacos para moagem (A), moinho do tipo Willey (B), peneiras utilizadas para classificação (C) e cavacos e serragem (D).



Fonte: O autor (2023)

As análises foram realizadas pelo Laboratório de Química, Celulose e Energia (LQCE), da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), da Universidade de São Paulo (USP), localizado em Piracicaba/SP. Entre os parâmetros avaliados, em triplicada, estão: teor de cinzas (TAPPI T211 om-02), extrativos totais (TAPPI T 204 cm-17), lignina total (de acordo com os procedimentos adaptados pelo LQCE/ESALQ/USP) (VIVIAN, 2015) e holocelulose ((celulose + hemicelulose) obtida por diferença, de acordo com a equação 3).

$$\text{Holocelulose (\%)} = 100 - (TE + TL) \quad (3)$$

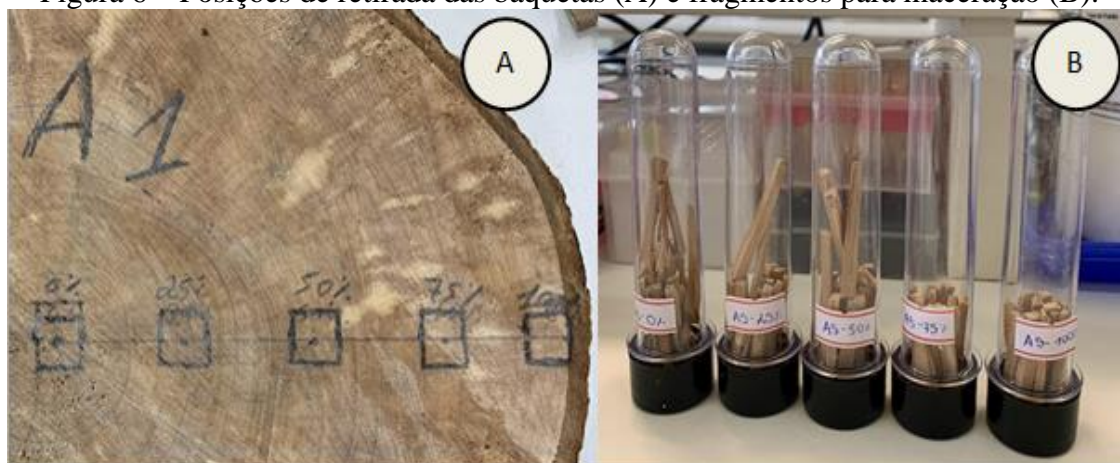
Em que: TE = Teor de extrativos totais (%); TL = Teor de lignina (%).

### 3.4 MORFOLOGIA DOS TRAQUEÍDEOS

Para análise da morfologia dos traqueídeos da madeira foram seguidas as recomendações da IAWA (International Association of Wood Anatomists Committee), utilizando disco retirado da base de cada árvore, sendo que estes foram previamente lixados, visando evidenciar mais claramente os anéis de crescimento.

Após a delimitação dos anéis, foram confeccionadas baguetas de 2,0 cm de largura, com orientação radial (medula-casca). A partir das baguetas foram amostradas 5 posições: 0, 25, 50, 75 e 100% da distância radial (sendo 0% próximo a medula, e 100% próximo a casca) (Figura 6A), das quais confeccionaram-se blocos que foram transformados em pequenos fragmentos (palitos) (Figura 6B).

Figura 6 – Posições de retirada das baguetas (A) e fragmentos para maceração (B).

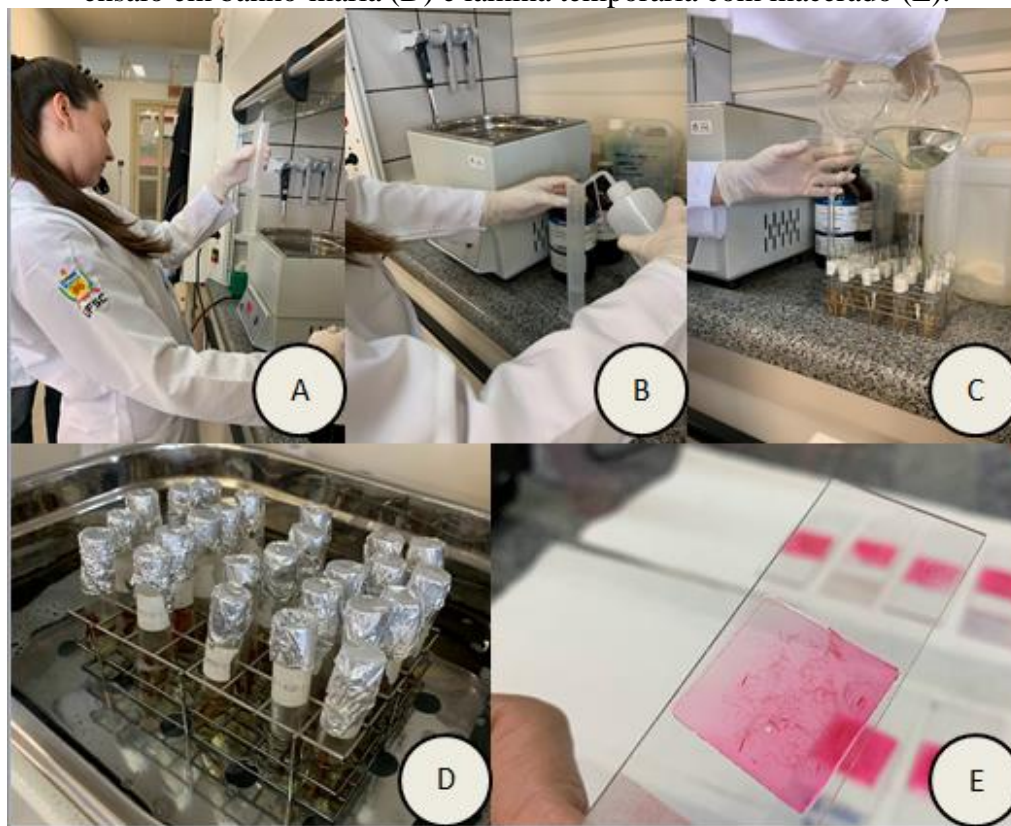


Fonte: O autor (2023).

Os fragmentos foram macerados em tubos de ensaio contendo ácido acético, ácido nítrico e água, na proporção 5:2:1 (Figura 7), em banho-maria com temperatura de aproximadamente 100°C, por um período de 1 hora. Após a individualização dos elementos celulares, as amostras foram lavadas e mantidas em tubos de ensaio com água destilada.



Figura 7 – Preparação dos tubos de ensaio com a solução macerante (A, B, C), tubos de ensaio em banho-maria (D) e lâmina temporária com macerado (E).



Fonte: O autor (2023).

A partir do material macerado, montaram-se lâminas temporárias (Figura 7E), adicionando 1 gota de safranina, 1 gota de glicerina e 1 gota de água, visando a obtenção de imagens dos traqueídeos, em resolução apropriada, com auxílio de microscópio e lupa, com câmera digital acoplada, e software específico para aquisição de imagens em computador. Utilizou-se o aumento de 6,3x (na lupa) para obtenção das imagens de comprimento, e o aumento de 400x (no microscópio) para obtenção das imagens de largura e diâmetro do lúmen.

Com software específico foram mensuradas as dimensões dos traqueídeos, sendo 35 repetições para cada posição, com um total de 875 medidas de comprimento, largura e diâmetro do lúmen (5 árvores x 5 posições x 35 repetições). As características mensuradas foram: comprimento (C), largura (L) e diâmetro do lúmen (DL). E a partir destas determinaram-se os parâmetros de espessura da parede celular (E), fração parede (FP), coeficiente de flexibilidade (CF), índice de enfiamento (IE) e índice de Runkel (IR), conforme as seguintes equações 4, 5, 6, 7 e 8, respectivamente.

$$E = \frac{L - DL}{2} \quad (4)$$

$$FP = \frac{2 * E}{L} * 100 \quad (5)$$

$$CF = \frac{DL}{L} * 100 \quad (6)$$

$$IE = \frac{C}{\frac{L}{1000}} \quad (7)$$

$$IR = \frac{2 * E}{DL} \quad (8)$$

Em que: E = espessura da parede celular ( $\mu\text{m}$ ); L = largura do traqueídeo ( $\mu\text{m}$ ); DL = diâmetro do lúmen ( $\mu\text{m}$ ); C = comprimento do traqueídeo (mm); FP = fração parede (%); CF = coeficiente de flexibilidade (%); IE = índice de enfeltramento; IR = índice de Runkel.

### 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram armazenados e analisados com o auxílio de planilhas eletrônicas e software estatístico Sisvar (versão 5.7). A densidade e a composição química foram avaliadas através da estatística descritiva, já a morfologia de traqueídeos foi submetida a avaliação por análise de variância (ANOVA), e teste de Tukey a 5% de probabilidade, para verificação do efeito da posição radial (medula-casca) nas dimensões dos elementos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DENSIDADE BÁSICA E VERDE

Na tabela 1 estão representadas as médias das densidades básica e verde obtidas para a madeira de *Podocarpus lambertii* no presente estudo.

Tabela 1 – Densidade básica e verde da madeira de *Podocarpus lambertii*.

Densidade	Média (g/cm <sup>3</sup> )	DP (g/cm <sup>3</sup> )	CV (%)
Básica	0,397	0,008	2,01%
Verde	0,907	0,037	4,12%

Em que: DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação.

Fonte: O autor (2023).

A densidade básica média encontrada para a madeira de *Podocarpus lambertii* aos 26 anos de idade foi de 0,397 g/cm<sup>3</sup>, com os dados apresentando um baixo desvio padrão (0,008 g/cm<sup>3</sup>) e baixo coeficiente de variação (2,01%). De acordo com a classificação proposta pela International Association of Wood Anatomists (IAWA, 1989), a madeira de *Podocarpus lambertii* pode ser classificada como leve ou de baixa densidade (< 0,40 g/cm<sup>3</sup>).

Na tabela 2 pode ser observada a comparação da densidade básica da madeira de *Podocarpus lambertii* com outras espécies de coníferas como *Pinus taeda*, *Cunninghamia lanceolata* e *Cupressus lusitanica*.

Tabela 2 – Comparação da densidade básica da madeira de *Podocarpus lambertii* e outras coníferas.

Espécie	Idade (anos)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
<i>P. lambertii</i> <sup>1</sup>	26	0,397
<i>P. taeda</i> <sup>2</sup>	21	0,435
<i>C. lanceolata</i> <sup>3</sup>	24	0,350
<i>C. lusitanica</i> <sup>4</sup>	19	0,396

Fonte: <sup>1</sup> O autor (2023); <sup>2</sup> Vivian *et al.* (2015); <sup>3</sup> Silva (2022); <sup>4</sup> Almeida *et al.* (2017).

A densidade básica da espécie em questão encontra-se abaixo do valor citado por Vivian *et al.* (2015) para a madeira de *Pinus taeda* (0,435 g/cm<sup>3</sup>), acima do valor encontrado



por Silva (2022) para o *Cunninghamia lanceolata* (0,350 g/cm<sup>3</sup>), e similar ao relatado por Almeida *et al.* (2017) para *Cupressus lusitanica* (0,396 g/cm<sup>3</sup>). As comparações com outras coníferas com potencial de plantio comercial são de extrema importância para que se possa validar a qualidade da espécie analisada, além disso, é primordial a comparação com a madeira do gênero *Pinus*, pois o mesmo é o mais usado no Brasil, dentre as coníferas, para a fabricação de celulose de fibra longa.

A densidade básica indicada para produção de celulose e papel encontra-se na faixa entre 0,40 e 0,55 g/cm<sup>3</sup> (DIAS; SIMONELLI, 2013), as quais são classificadas como madeiras de densidade leve a média, já que madeiras com densidade abaixo ou acima desse valor podem ser prejudiciais ao processo de polpação ou dificultarem o processo de picagem da madeira (DURLO, 1991; SILVA *et al.*, 2001). Deste modo, observa-se que levando em consideração apenas o parâmetro densidade básica, a madeira de *Podocarpus lambertii* aos 26 anos de idade, embora tenha apresentado um valor ligeiramente abaixo do recomendado por Silva *et al.* (2001), poderia ser usada para a fabricação de celulose.

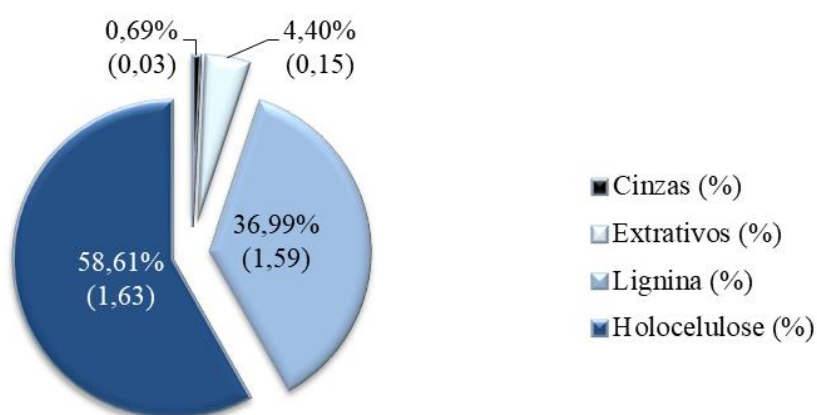
No que se refere à densidade verde, observa-se que o valor médio obtido no presente estudo (0,907 g/cm<sup>3</sup>) se aproxima aos citados por Bonazza *et al.* (2022), que observaram valores de 0,966 e 1,023 g/cm<sup>3</sup> para a madeira de *Pinus taeda* com 9 e 21 anos, respectivamente. Tal variável é importante no processo de comercialização da madeira, pois indica a conversão de matéria-prima para unidade de massa, a qual está no seu máximo volume e teor de umidade.

## 4.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A composição química da madeira de *Podocarpus lambertii*, referente aos componentes cinzas, extrativos, lignina e holocelulose, avaliados no presente trabalho, podem ser observados na figura 8.

Os valores médios obtidos para os teores de cinzas, extrativos, lignina e holocelulose foram de 0,69; 4,40; 36,99 e 58,61%, respectivamente, cujos dados apresentaram um baixo desvio padrão.

Figura 8 – Composição química da madeira de *Podocarpus lambertii*.  
Desvio padrão entre parênteses



Fonte: O autor (2023).

Na tabela 3 observa-se a comparação da composição química da madeira de *Podocarpus lambertii* com outras espécies de coníferas como *Pinus taeda* e o *Pinus greggii*.

Tabela 3 – Comparação da composição química da madeira de *Podocarpus lambertii* e outras coníferas.

Espécie	Idade (anos)	TC (%)	TE (%)	TL (%)	TH (%)
<i>P. lambertii</i> <sup>1</sup>	26	0,69	4,40	36,99	58,61
<i>P. taeda</i> <sup>2</sup>	21	-	2,83	26,71	70,46
<i>P. taeda</i> <sup>3</sup>	9	-	4,50	28,40	67,10
<i>P. greggii</i> <sup>4</sup>	7	0,20	6,25	34,83	58,92

Em que: TC = teor de cinzas; TE = teor de extrativos totais; TL = teor de lignina; TH = teor de holocelulose.

Fonte: <sup>1</sup> O autor (2023); <sup>2</sup> Vivian *et al.* (2015); <sup>3</sup> Vasconcelos (2005); <sup>4</sup> Cardoso (2020).

De acordo com Klock *et al.* (2005), os teores de extrativos em espécies de coníferas geralmente ficam em torno de 5%, podendo variar entre 2 e 10%, de acordo com Bortoletto Junior (1999). Deste modo o teor de extrativos observado no presente estudo estão em conformidade com os padrões citados pelo autor.

O teor de extrativos encontrado está acima do valor observado por Vivian *et al.* (2015), para o *Pinus taeda* aos 21 anos, sendo este de 2,83%, porém foi similar ao teor de extrativos obtido por Vasconcelos (2005) para o *Pinus taeda* aos 9 anos de idade, sendo este

de 4,50%. Tais variações ocorrem devido a vários fatores como variações edafoclimáticas, idade do indivíduo arbóreo avaliado, onde indivíduos mais jovens e, conseqüentemente com maior proporção de lenho inicial, apresentam maior quantidade de extrativos e lignina, comparada com a madeira de lenho tardio (HASSEGAWA, 2003), assim como, fertilização, estação do ano, entre outras características.

Com relação à fração inorgânica da madeira (cinzas), o teor médio encontrado para as amostras (0,69%) está em conformidade com Balloni (2009), o qual varia entre 0,1 a 1,0% para madeira de coníferas. Tal valor está acima do teor de cinzas de 0,25% encontrado por Vivian *et al.* (2020b) para o *Pinus glabra* aos 26 anos, onde avaliaram o potencial da madeira da espécie para a produção de polpa celulósica.

Altos teores de extrativos e cinzas são indesejados no processo de produção de polpa celulósica, os quais são responsáveis por causar diversos problemas, tais como corrosão, incrustação, sujeira na celulose, além de dificultarem o processo branqueamento da polpa celulósica por causarem depósitos denominados *pitch* na superfície de equipamentos, que ao se soltarem, contaminam a polpa e, conseqüentemente, reduzem a qualidade da mesma (GUTIÉRREZ *et al.*, 2001; DEMUNER, 2011).

A quantidade de lignina observada é considerada alta (36,99%), visto que de acordo com Klock *et al.* (2005), para espécies de coníferas o teor de lignina geralmente varia entre 26 e 30%. Ao comparar com os valores de 34,83 e 28,40% encontrados por Cardoso (2020) para o *Pinus greggii* e Vasconcelos (2005) para o *Pinus taeda*, respectivamente, o valor aqui observado também se encontra acima dos mesmos. Para Segura (2012) e Vivian *et al.* (2020b), assim como os extrativos, altos teores de lignina também são considerados indesejados no processo de polpação, pois interferem no rendimento de polpa celulósica e no consumo de reagentes, já que um dos principais objetivos do processo é a remoção da lignina. Desta forma, baixos teores de lignina são desejáveis por tornarem o processo de deslignificação mais fácil, assim como, permitirem condições de cozimento menos intensas e menor degradação das fibras/traqueídeos.

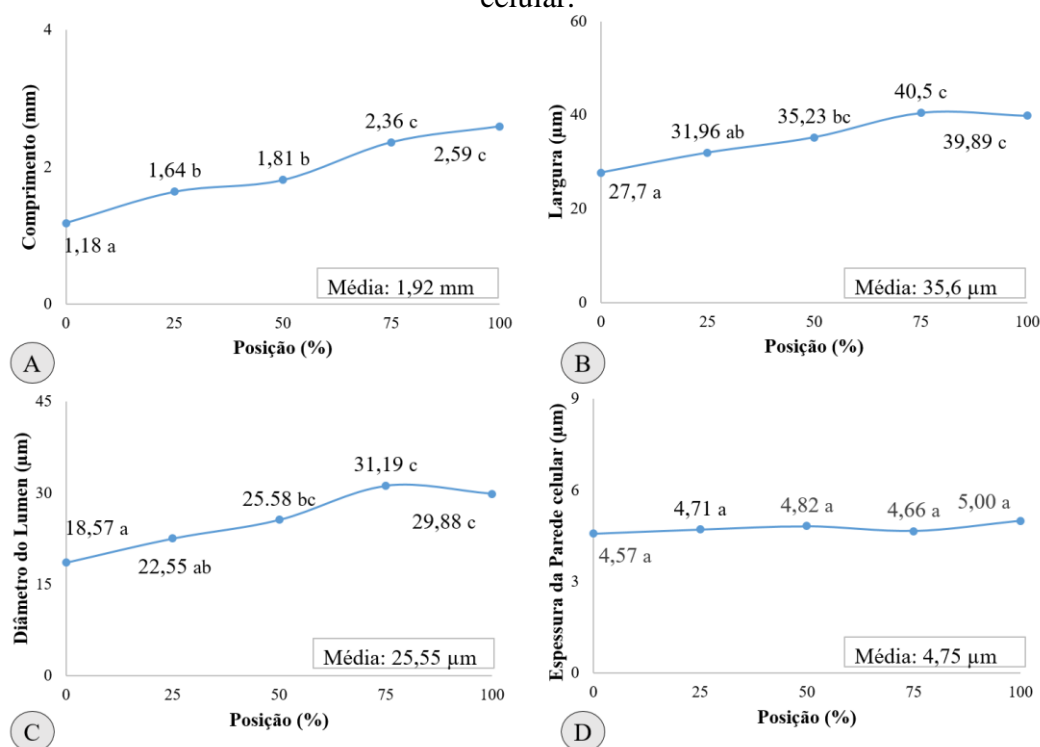
Quanto ao teor de holocelulose obtido para a madeira de *Podocarpus lambertii* (58,61%), o mesmo encontra-se abaixo dos valores esperados para as coníferas, que de acordo com Klock *et al.* (2005) seriam entre 65 e 75%. O valor observado para o *Podocarpus lambertii* está abaixo do encontrado por Klock (2000) para o *Pinus taeda* (68%) e próximo ao teor encontrado por Cardoso (2020) para o *Pinus greggii* (58,92%). Tal comportamento

ocorre devido os altos teores de extrativos e lignina presentes na composição de madeira da espécie avaliada, que resultam em um menor rendimento de holocelulose (celulose + hemicelulose), a qual é o objetivo do processo de polpação (SEGURA, 2015; VIVIAN *et al.*, 2020b).

### 4.3 MORFOLOGIA DOS TRAQUEÍDEOS

Na figura 9 podem ser observados os valores médios das dimensões dos traqueídeos da madeira de *Podocarpus lambertii* ao longo das posições radiais (0, 25, 50, 75 e 100%), onde 0% representa a posição mais próxima à medula, 100% mais próxima à casca.

Figura 9 – Dimensões dos traqueídeos ao longo do sentido radial da madeira de *Podocarpus lambertii*. (A) comprimento; (B) largura; (C) diâmetro do lúmen; (D) espessura da parede celular.



Fonte: O autor (2023).

Na tabela 4 é possível observar a comparação das características morfológicas dos traqueídeos da madeira de *Podocarpus lambertii* com outra pesquisa realizada com a mesma espécie, além de outras espécies de coníferas, como o *Pinus taeda*.

Tabela 4 – Comparação das dimensões dos traqueídeos da madeira de *Podocarpus lambertii* e outras coníferas.

Espécie	Idade (anos)	C (mm)	L (µm)	DL (µm)	EP (µm)
<i>P. lambertii</i> <sup>1</sup>	26	1,92	35,06	25,55	4,75
<i>P. taeda</i> <sup>2</sup>	21	3,50	40,55	27,71	6,41
<i>P. lambertii</i> <sup>3</sup>	-	2,23	-	30,00	5,00

Em que: C = comprimento; L = largura; DL = diâmetro do lúmen; EP = espessura da parede celular.

Fonte: <sup>1</sup> O autor (2023); <sup>2</sup> Vivian *et al.* (2015); <sup>3</sup>Maranho *et al.* (2006);

Analisando as dimensões dos traqueídeos ao longo das porções radiais, nota-se que o valor referente ao comprimento foi menor próximo à medula (posição 0% = 1,18 mm), com aumento gradual e significativo no sentido radial, atingindo o valor máximo de 2,59 mm na porção 100%. Com base no valor médio dos traqueídeos (1,92 mm), é possível classifica-los como moderadamente longos, com base na classificação realizada por Metcalfe e Chalk (1983).

Maranho *et al.* (2006), ao estudarem a madeira de *Podocarpus lambertii*, obtiveram um comprimento médio de 2,23 mm, com variação de 1,51 a 2,59 mm entre as camadas de crescimento. Já quando comparado ao gênero *Pinus*, o comprimento dos traqueídeos do *Podocarpus lambertii* são bem inferiores, como o relatado por Vivian *et al.* (2015), que citam o valor médio de 3,50 mm para madeira de *Pinus taeda* com 21 anos de idade.

Geralmente o comprimento é a dimensão que mais é afetada com o passar dos anos da árvore, com tendência de aumento da medula em direção à casca, até o momento que se estabiliza, indicando a transição de madeira juvenil para adulta. Na madeira avaliada neste estudo percebe-se que a estabilização ocorreu a partir da posição de 75% do raio, pois a mesma não diferiu estatisticamente da posição de 100%, indicando que a mesma já pode ser considerada madeira adulta. Com base na contagem e análise dos anéis de crescimento realizada nos discos, observou-se que a posição de 75% equivalia a 16 anos de idade.

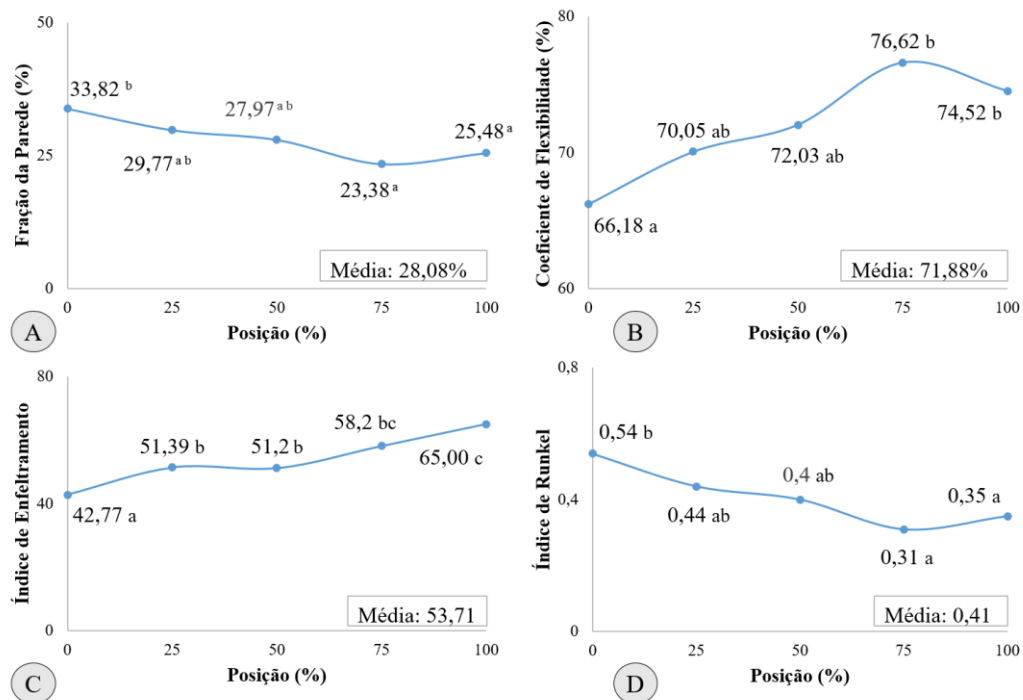
Em relação à largura dos traqueídeos, a mesma variou entre 27,70 e 40,50 µm, com valor médio 35,06 µm. O diâmetro do lúmen variou entre 18,57 e 31,19 µm, com média de 25,55 µm, aproximando-se ao valor encontrado por Maranhão *et al.* (2006) para a mesma espécie, que foi de 30 µm (25,31 a 32,32 µm). Tanto a largura quanto o diâmetro do lúmen variaram de forma significativa, aumentando da medula em direção à casca.

Já a espessura da parede celular apresentou uma média de 4,75  $\mu\text{m}$ , muito semelhante à encontrada por Maranhão *et al.* (2006), de aproximadamente 5,0  $\mu\text{m}$ , em ambos os casos não houve variação significativa no sentido radial, podendo ser classificada como espessa, conforme proposição de Manimekalai *et al.* (2002).

Quando comparados os dados ao gênero *Pinus*, a largura, diâmetro do lúmen e a espessura da parede dos traqueídeos do *Podocarpus lambertii* são inferiores aos citados por Vivian *et al.* (2015) para madeira de *Pinus taeda* com 21 anos de idade, que foram 40,55; 27,71 e 6,41  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

Na figura 10 observa-se a variação dos parâmetros indicadores da qualidade da madeira de *Podocarpus lambertii*, também representados ao longo das posições radiais (0, 25, 50, 75 e 100%).

Figura 10 – Indicadores anatômicos de qualidade ao longo do sentido radial da madeira de *Podocarpus lambertii*. (A) fração parede; (B) coeficiente de flexibilidade; (C) índice de Runkel; (D) índice de enfeitramento.



Fonte: O autor (2023).

Na tabela 5 é possível observar a comparação dos parâmetros indicadores de qualidade da madeira do *Podocarpus lambertii* com outras espécies de coníferas, como o *Pinus taeda*, *Cunninghamia lanceolata* e *Pinus glabra*.

Tabela 5 – Comparação dos parâmetros de qualidade da madeira de *Podocarpus lambertii* com outras espécies de coníferas.

<b>Espécie</b>	<b>Idade (anos)</b>	<b>FP (%)</b>	<b>CF (%)</b>	<b>IR</b>	<b>IE</b>
<i>P. lambertii</i> <sup>1</sup>	26	28,08	71,88	0,41	53,71
<i>P. taeda</i> <sup>2</sup>	21	32,00	68,00	0,46	86,00
<i>P. glabra</i> <sup>3</sup>	26	44,72	55,28	0,90	120,72
<i>C. lanceolata</i> <sup>4</sup>	24	18,06	81,94	0,23	51,95

Em que: FP = fração da parede; CF = coeficiente de flexibilidade; IR = índice de Runkel; IE = índice de enfieltramento.

Fonte: <sup>1</sup> O autor (2022); <sup>2</sup> Vivian *et al.* (2015); <sup>3</sup> Vivian *et al.* (2021); <sup>4</sup> Silva (2022).

A fração parede apresentou um valor médio de 28,08% (variação significativa entre 23,38 e 33,82%), a qual pode ser classificada, de acordo com Klock (2013), como delgada e de baixa rigidez. Autores como Foelkel (2007) e Baldin *et al.* (2017) citam que o ideal é que a fração parede esteja abaixo de 40%, pois assim facilitará o colapso das fibras durante a formação do papel, com ligações mais fortes entre as mesmas. Ainda de acordo com Baldin *et al.* (2017), as polpas produzidas com espécies que apresentam fibras/traqueídeos com fração parede fina resultam em maior rendimento no processo de polpação, com melhores propriedades de tração, estouro, rasgo, dobramento, resistência superficial e resistência interna da folha.

Já o coeficiente de flexibilidade apresentou um valor médio de 71,88% (variação significativa entre 66,18 e 76,62%), o que de acordo com a classificação proposta por Nisgoski (2005), apresentará traqueídeos com boa superfície de contato e uma boa união entre os mesmos, com colapso parcial. De acordo com Shimoyama & Wiecheteck (1993) e Vivian *et al.* (2015), o coeficiente de flexibilidade dá indícios do grau de achatamento que as fibras/traqueídeos sofrem no processo de fabricação do papel, sendo que quanto maior o seu valor, maior a flexibilidade das mesmas e maior a probabilidade de ocorrer ligações entre elas, resultando em uma maior resistência a tração e ao estouro.

O índice de Runkel apresentou uma média de 0,41 (variando de forma significativa entre 0,31 e 0,54 no sentido radial), indicando que os traqueídeos da madeira de *Podocarpus lambertii* podem ser classificados como muito bons para a fabricação de papel, com base na proposição criada por Runkel e citada por Tostes *et al.* (2013), se enquadrando no grupo II (entre 0,25 a 0,50).

Vivian *et al.* (2020a) citam que o índice de Runkel dá indicativos sobre o grau de colapso das fibras ou traqueídeos durante o processo de fabricação do papel, que quanto mais baixo for o índice, maior é o grau de colapso, permitindo as fibras uma maior superfície de contato, estabelecendo um maior número de ligações entre elas, resultando em um papel de maior resistência a tração e ao estouro.

Por fim, o índice de enfiletramento apresentou um valor médio de 53,71 (variando significativamente entre 42,77 e 65,00), estando acima do valor mínimo de 50 para que as fibras sejam flexíveis o suficiente para uso na indústria de celulose e papel, para que possam conferir boas características ao papel produzido, conforme Nisgoski (2005).

Dentre as espécies observadas na comparação, a madeira de *Pinus taeda* é a mais comumente utilizada na fabricação de papel de fibra longa, sendo seus valores os principais referenciais nesse sentido. Dessa forma é possível observar que os valores encontrados para fração da parede (28,08%), coeficiente de flexibilidade (71,88%), e índice de Runkel (0,41) para madeira de *Podocarpus lambertii* foram similares ou até melhores que os citados para o *Pinus taeda* (32,00%; 68,00% e 0,46, respectivamente) (Tabela 5). Vale destacar que analisando a comparação da tabela 5, a madeira de *Podocarpus lambertii* é praticamente superior em todos os indicadores anatômicos, perdendo apenas para a *Cunninghamia lanceolata* como potencial na produção de polpa celulósica.

As características anatômicas dos traqueídeos da madeira de *Podocarpus lambertii* são interessantes para fabricação de polpa celulósica, assim novos estudos avaliando seu comportamento em curvas de polpação e produção de papel devem ser realizados, visando aprofundar seu conhecimento, e tornar a espécie uma nova alternativa ou complemento ao segmento de produção de polpa celulósica de fibra longa.



## 5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos no presente estudo para a madeira de *Podocarpus lambertii* com 26 anos de idade, tem-se que, as densidades básica e verde permitem classificar a madeira como leve ou de baixa densidade, estando próximo ao limite mínimo requerido pela indústria para a produção de polpa celulósica.

A composição química da espécie está próxima do esperado para a madeira de coníferas, em especial para os teores de cinzas e extrativos, porém o teor de lignina é elevado, e o teor de holocelulose baixo, o que é prejudicial ao processo de produção de polpa celulósica, podendo gerar baixo rendimento no mesmo.

As dimensões dos traqueídeos, como comprimento, largura, diâmetro do lúmen e espessura da parede celular indicam que os mesmos são classificados como moderadamente longos e espessos, com valores inferiores aos relatados para o *Pinus taeda*.

Os indicadores anatômicos de qualidade, como fração parede, coeficiente de flexibilidade, índice de Runkel e índice de enfiamento podem ser considerados muito bons para produção de celulose e papel, com base nas classificações relatadas na literatura.

De modo geral os resultados obtidos para a madeira de *Podocarpus lambertii* foram muito satisfatórios, com exceção do alto teor de lignina e baixo teor de holocelulose, os demais parâmetros indicam que a espécie merece atenção e estudos mais aprofundados, podendo ser uma alternativa ou complemento ao segmento de fibras longas, que hoje é abastecido exclusivamente pelo gênero *Pinus* no Brasil. Outro ponto que vale enfatizar é que a espécie avaliada não conta com melhoramento genético, deixando em aberto à possibilidade de avanços em suas propriedades por meio de seleção e programas de melhoramento florestal.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11.941: Determinação da densidade básica em madeira**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ALMEIDA, C. C. F.; CUNHA, A. B.; RIOS, P. D. Avaliação da qualidade da colagem de topo da madeira de *Cupressus lusitânica* Mill. para a produção de painéis colados lateralmente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 113, p 9-19, 2017.
- BALDIN, T *et al.* Anatomia da madeira e potencial de produção de celulose e papel de quatro espécies jovens de *Eucalyptus* L'Hér. **Revista Ciência da Madeira** (Brazilian Journal of Wood Science), Pelotas v. 8, n. 2, p. 114-126, 2017.
- BALLONI, C. J. V. **Caracterização Física e Química da Madeira de *Pinus elliottii***. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Itapeva, 2009.
- BITTENCOURT, R. *et al.* Diversidade e estrutura genética de populações de *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl. na floresta ombrófila mista em Santa Catarina. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, p. 63-74, 2019.
- BONAZZA, M. *et al.* Efeito da idade, sortimento e tempo de estocagem na densidade verde da madeira de *Pinus taeda* L.. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 735-756, 2022.
- BORTOLETTO JUNIOR, G. **Estudo da qualidade da madeira de *Pinus taeda* proveniente de árvores adultas atingidas por incêndio florestal**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.
- CARDOSO, A. S. **Caracterização tecnológica da madeira de *Pinus greggii* Engelm. para produção de polpa celulósica**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2020.
- CARVALHO, P. E. R. **Pinheiro-Bravo - *Podocarpus lambertii***, Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2004. (Circular Técnica, 95). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/41451/1/circ-tec95.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2023
- CNCFlora. *Podocarpus lambertii*. Lista Vermelha da flora brasileira, **Centro Nacional de Conservação da Flora**. 2012. Disponível em [http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Podocarpus Lambertii](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Podocarpus%20Lambertii). Acesso em: 30 ago. 2023.
- DEMUNER, W. P. **Predição do impacto da madeira em fábrica kraft de Eucalipto**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.

DIAS, O. A.; SIMONELLI, G. Qualidade da madeira para a produção de celulose e papel. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 3632-3646, 2013.

DURLO, M. A. **Tecnologia da madeira: peso específico**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1991. (Série Técnica, 8).

FELIX, M. O.; DENADAI, M. S. O Processo de Celulose de Fibra Longa no Brasil e suas Perspectivas. In: JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 7.... 2018, Botucatu - São Paulo, Brasil. **Anais [...]** Botucatu - São Paulo, Brasil: Faculdade Tecnológica de Botucatu, 2018.

FOELKEL, C.E.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais [...]** Campos do Jordão: Universidade Federal de Viçosa. 1990. p.719- 728.

FOELKEL, C. E. B.; CLEMENTE, V. M.; ZVINAKEVICIUS, C. **Coníferas exóticas aptas para a produção de celulose kraft: *Cunninghamia lanceolata***. 1978. Disponível em: <http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/Con%EDferas%20ex%F3ticas%20-%20Cunninghamia%20lanceolata.pdf> . Acesso em: 30 ago 2023.

GUTIÉRREZ, A. *et al.* The biotechnological control of pitch in paper pulp manufacturing. **Trends in Biotechnology**, v. 19, n. 9, p. 340-348, 2001.

HASSEGAWA, M. **Qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. de procedência da África do Sul**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório anual 2022**. São Paulo: IBÁ, 2022. Disponível em: < <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2023

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS – IAWA. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Netherlands, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 2000. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KLOCK, U. *et al.* **Química da madeira**. 3ª edição revisada. Curitiba: UFPR, 2005. 86 p.

KLOCK, U. **Polpa e Papel – Propriedades do papel**. 2013. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/polpaepapel/papelpropriedades2013.pdf>>. Acesso em: 01 de set. 2023.

LONGHI, S. J. *et al.* Composição Florística e Estrutura Fitossociológica De Um “Capão” De *Podocarpus Lambertii* Klotz., No Rio Grande Do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 2, p. 09-26, 1992.

MAINIERI, C.; PIRES, J.M. O gênero *Podocarpus* no Brasil. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v.8, p.1-24, 1973.

MANIMEKALAI, V.; PAVICHANDRAN, P.; BALASUBRAMANIAN, A. Fibres of *Sorghum bicolor* (L.) Moench and their potential use in paper and board making. **Phitomorphy**, v. 52, n. 1, p. 55-59, 2002.

MARANHO, L. T. *et al.* Variação dimensional das traqueídes ao longo do caule de *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl., Podocarpaceae. **Acta Botanica Brasilica**, Curitiba – PR, v. 20, n. 3, p. 633-640, 2006.

METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons - Wood structure and conclusion of the general introduction**. 2 ed. Oxford: Clarendon Press, 1983.

MILANI, E. J. **Crescimento de *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl. em duas regiões fitogeográficas no estado do Rio Grande do Sul**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

NISGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L.** 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

SEGURA, T. E. S. **Avaliação das madeiras de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Acacia mearnsii* para a produção de celulose kraft pelos processos convencional e Lo-Solids®**. 2012. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.

SEGURA, T. E. S. **Avaliação das madeiras de *Corymbia citriodora*, *Corymbia torelliana* e seus híbridos visando à produção de celulose kraft branqueada**. 2015. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2015.

SHIMOYAMA, V. R. S.; WIECHETECK, M. S. S. Características da madeira e da pasta termomecânica de *Pinus patula* var. *tecunumanii* para produção de papel imprensa. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 9, n. 27, p. 63-80, 1993.

SILVA, J. *et al.* Importância do eucalipto para a indústria de celulose no Brasil. **Revista da Madeira**, Curitiba, Suplemento especial, p. 90-92, 2001.

SILVA, A. M. O. **Qualidade da madeira de *Cunninghamia lanceolata* visando à produção de celulose de fibra longa**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2022.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY – TAPPI. **T204 cm-97: solvent extractives of wood and pulp**. Atlanta: TAPPI Press, 1997.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY – TAPPI. **T211 om-02**: Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525 °C. Atlanta: TAPPI Press, 2002.

TOSTES, L. C. L. *et al.* Morfometria das fibras do sistema radicular de *Philodendron bipinnatifidum* Schott (Família Araceae; subgênero Meconostigma). **Biota Amazônia**, v. 3, n. 3, p. 15-22, 2013.

VASCONCELOS, F. S. R. **Avaliação do processo SuperBatch™ de polpação de *Pinus taeda***. 2005. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2005.

VIVIAN, M. A. **Aumento da eficiência do processo kraft de polpação a partir de pré-tratamento de cavacos de madeira de eucalipto**. 2015. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2015.

VIVIAN, M. A. *et al.* Caracterização tecnológica da madeira de *Cupressus lusitânica* visando à produção de polpa celulósica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 40, p. 1-9, jan. 2020a.

VIVIAN, M. A.; MODES, K. S.; CAETANO, A. P. Potencial da madeira de *Pinus glabra* para produção de polpa celulósica. **Madera y Bosques**, vol. 26, n. 3, e2632058, 2020b.

VIVIAN, M. A. *et al.* Qualidade das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus sylvestris* para a produção de polpa celulósica kraft. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 183-191, 2015.

VIVIAN, M. A.; FOGLIATTO, M. M.; BONFATTI JÚNIOR, E. A.; MODES, K. S.; PEDRAZZI, C.; CORRÊA, R. Efeito da carga alcalina nos parâmetros de polpação da madeira de *Cryptomeria japonica*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 939-958, 2022.