

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

Amanda Fernandes de Castro

**Caracterização tecnológica da madeira de Liquidâmbar (*Liquidambar styraciflua* L.)  
visando a produção de celulose e papel**

Curitibanos, SC

2021

Amanda Fernandes de Castro

**Caracterização tecnológica da madeira de Liquidâmbar (*Liquidambar styraciflua* L.)  
visando a produção de celulose e papel**

Trabalho 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

Coorientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Karina Soares Modes

Curitibanos, SC

2021

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

Castro, Amanda Fernandes de

Caracterização tecnológica da madeira de Liquidâmbar  
(Liquidambar styraciflua L.) visando a produção de celulose  
e papel / Amanda Fernandes de Castro ; orientador, Magnos  
Alan Vivian, coorientador, Karina Soares Modes, 2021.  
54 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus  
Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal,  
Curitibanos, 2021.

Inclui referências.

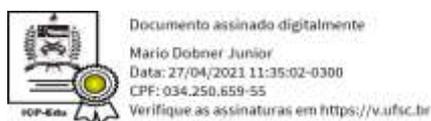
1. Engenharia Florestal. 2. Madeira de fibra curta.  
Caracterização física. Composição química. Indicadores de  
qualidade para produção de polpa. . I. Alan Vivian,  
Magnos. II. Soares Modes, Karina. III. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia  
Florestal. IV. Título.

Amanda Fernandes de Castro

**Caracterização tecnológica da madeira de Liquidâmbar (*Liquidambar styraciflua* L.)  
visando a produção de celulose e papel**

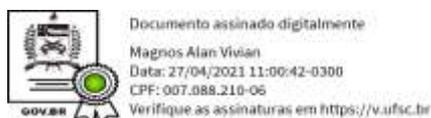
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Florestal” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Florestal

Curitiba, 23 de abril de 2021.

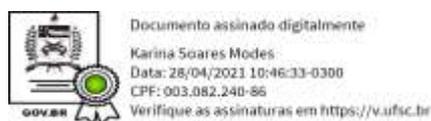


Prof., Dr. Mário Dobner Júnior.  
Coordenador do Curso

**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. Dr. Wesley Wilker Corrêa Morais  
Avaliador  
Universidade Estadual de Roraima

Este trabalho é dedicado à minha filha e aos meus queridos pais.

## AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida, por me abençoar sempre com coragem para enfrentar os desafios, por me iluminar e não me deixar desistir diante dos obstáculos.

Aos meus pais Rubens de Castro e Bernardete Jesus Fernandes de Castro, por serem minha base em todos os momentos, pelo amor, dedicação, apoio e paciência em tornar possível a realização deste sonho.

Ao meu irmão, Gabriel, pela amizade, companheirismo, e por me ajudar sempre em tudo que necessitei.

Ao meu marido, Adriano, pela compreensão, apoio, dedicação, amor e companheirismo durante todos esses anos.

A minha filha, Luísa, minha constante fonte de motivação e incentivo ao longo de todo trabalho e graduação, pelos ensinamentos e por sempre estar ao meu lado em cada momento de alegria e superação de dificuldades, me ensinando a ser uma pessoa melhor.

Aos meus familiares, amigos e colegas que sempre torceram por mim e que, de alguma forma, colaboraram para que eu chegasse até aqui.

À minha amiga, Arielle Kathyellen de Oliveira, pela amizade, pela paciência, ajuda e apoio em todos os momentos.

A Universidade Federal de Santa Catarina pela oportunidade de aprendizado, crescimento pessoal e profissional.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Magnos Alan Vivian e Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karina Soares Modes, pela orientação, apoio, confiança e ensinamentos proporcionados durante a graduação e execução deste trabalho.

A todos os técnicos da Universidade Federal de Santa Catarina, em especial ao Cláudio da Cunha Torres Júnior, por todo auxílio e apoio durante a realização das análises químicas.

A todos os técnicos do Laboratório de Química, Celulose e Energia da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz pela colaboração.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

## RESUMO

O segmento de celulose e papel destaca-se como o setor de base florestal mais importante e um dos mais notáveis da economia brasileira, contribuindo significativamente na balança comercial em termos de geração de empregos, investimentos, impostos e geração de divisas. Entretanto, no setor, existe a preferência por madeiras dos gêneros *Eucalyptus* (fibra curta) e *Pinus* (fibra longa), fator que limita a pesquisa e o uso de novas matérias-primas com potencial para angariar possíveis características desejáveis distintas ao papel e celulose. Neste ponto, os pesquisadores da área possuem papel preponderante para a avaliação de novas matérias-primas. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial inicial da madeira de *Liquidambar styraciflua* L. para a produção de polpa celulósica através da caracterização física, química e anatômica. Foram utilizadas cinco árvores, com 7 anos de idade, provenientes da Área Experimental Florestal, da Universidade Federal de Santa Catarina, localizada no município de Curitiba/SC. Destas extraíram-se discos das alturas de 0 (base), DAP, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial. Os discos retirados na posição 0% (base) foram utilizados para análise morfológica das fibras no sentido radial (medula-casca) e para o cálculo dos indicadores anatômicos de qualidade da polpa. Os discos das demais posições foram utilizados na determinação da composição química (teores de cinzas, extrativos, lignina e holocelulose) e densidade básica da madeira. A densidade básica média obtida para a madeira de *L. styraciflua* foi de 0,482 g/cm<sup>3</sup> (ponderada 0,484 g/cm<sup>3</sup>), sendo classificada como leve ou de baixa densidade, valor próximo ao de outras espécies de folhosas utilizadas para produção de celulose. Em relação à composição química foram observados baixos teores de cinzas (0,29%) e lignina (24,71%), e altos teores de holocelulose (70,88%) e extrativos (4,40%). Quanto à caracterização morfológica das fibras obteve-se os valores médios de comprimento de 1,82 mm, largura de 27,84 µm, diâmetro do lúmen de 16,10 µm e espessura da parede de 5,87 µm. Além disso, foram obtidos os valores médios de 42,60%, 57,40%, 0,77 e 65,22 para os parâmetros de fração parede, coeficiente de flexibilidade, índice de Runkel e índice de enfiamento, respectivamente. De maneira geral, a madeira de *L. styraciflua* apresenta potencial para a produção de polpa celulósica.

**Palavras-chave:** Madeira de fibra curta. Caracterização física. Composição química. Indicadores de qualidade para produção de polpa.

## ABSTRACT

The pulp and paper segment stands out as the most important forest-based sector and one of the most notable in the Brazilian economy, contributing significantly to the trade balance in terms of job creation, investments, taxes and foreign exchange generation. However, in the sector, there is a preference for woods of the genera *Eucalyptus* (short fiber) and *Pinus* (long fiber), a factor that limits research and the use of new raw materials with the potential to garner possible desirable characteristics different from paper and cellulose. At this point, researchers in the field have a leading role in the evaluation of new raw materials. Thus, the present study aimed to evaluate the initial potential of *Liquidambar styraciflua* L. wood for the production of cellulosic pulp through physical, chemical and anatomical characterization. Five trees, 7 years old, from the Forestry Experimental Area, of the Federal University of Santa Catarina, located in the municipality of Curitibanos / SC, were used. From these, discs were extracted from the heights of 0 (base), DAP, 25, 50, 75 and 100% of the commercial height. The discs removed in the 0% (base) position were used for morphological analysis of the fibers in the radial direction (marrow-shell) and for the calculation of the anatomical indicators of pulp quality. The discs from the other positions were used to determine the chemical composition (ash, extractives, lignin and holocellulose contents) and basic wood density. The average basic density obtained was 0.482 g / cm<sup>3</sup> (weighted 0.484 g / cm<sup>3</sup>) for *L. styraciflua* wood being classified as light or low density, a value close to that of other hardwood species used for cellulose production. Regarding the chemical composition, low levels of ash (0.29%) and lignin (24.71%), and high levels of holocellulose (70.88%) and extracts (4.40%) were observed. Regarding the morphological characterization of the fibers, the average values of length of 1.82 mm, width of 27.84 μm, lumen diameter of 16.10 μm and wall thickness of 5.87 μm were obtained. In addition, mean values of 42.60%, 57.40%, 0.77 and 65.22 were obtained for the parameters of wall fraction, flexibility coefficient, Runkel index and interlacing index, respectively. In general, the *L. styraciflua* wood has a promising potential for the production of cellulose pulp.

**Keywords:** Short fiber wood. Physical characterization. Chemical composition. Quality indicators for pulp production.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Características do <i>Liquidambar styraciflua</i> L. (A) Aspecto da casca, (B) Coloração das folhas .....  | 16 |
| Figura 2 – Mapa da AEF. ....  | 22 |
| Figura 3 – Determinação da densidade básica: (A) disco para obtenção da densidade básica, (B) - confecção das cunhas. ....  | 23 |
| Figura 4 – Determinação do volume verde (cm <sup>3</sup> ) através do método de imersão em balança analítica.....   | 24 |
| Figura 5 – Etapas de amostragem: (A) cavacos confeccionados a partir dos discos; (B) serragem obtida através do moinho Willey; (C) classificação da serragem em peneiras vibratórias; (D) serragem retida na peneira de 60 mesh.....                  | 26 |
| Figura 6 – Etapas de preparação do material para processo de maceração. (A) Discos da base com marcações dos anéis; (B) Baguetas, sentido medula-casca; (C) Amostras no sentido radial (medula-casca), nas posições 0, 50, e 100%; (D) Palitos .....  | 27 |
| Figura 7 – Etapas de preparação do material para processo de maceração. (A) palitos dispostos em tubos de ensaios; (B) tubos de ensaio já preparados com ácido acético, ácido nítrico e água; (C) tubos de ensaio com o material em banho-maria. .... | 28 |
| Figura 8 – Microscópio Leica utilizado para aquisição das imagens .....   | 29 |
| Figura 9 – Imagens das fibras em diferentes aumentos. (A) Aumento de 40x; (B) Aumento de 400x. ....   | 29 |
| Figura 10 – Variação longitudinal da densidade da madeira de <i>L. styraciflua</i> . ....   | 31 |
| Figura 11– Variação das dimensões das fibras da madeira de <i>L. styraciflua</i> (A) Comprimento; (B) Largura; (C) Diâmetro do lúmen; (D) Espessura da parede.....  | 37 |
| Figura 12 – Variação dos parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da madeira de <i>L. styraciflua</i> (A) Fração parede; (B) Coeficiente de flexibilidade; (C) Índice de Runkel; (D) Índice de enfeltramento. ....                            | 39 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1– Classificação da madeira pela densidade.....  | 25 |
| Tabela 2 – Comparação da densidade média da madeira de <i>L. styraciflua</i> de diferentes idades e procedências. ....  | 32 |
| Tabela 3 – Comparação da densidade da madeira <i>L. styraciflua</i> com espécies do gênero <i>Eucalyptus</i> . ....   | 33 |
| Tabela 4 – Caracterização química da madeira de <i>L. styraciflua</i> .....   | 34 |
| Tabela 5 – Comparação da composição química da madeira de <i>L. styraciflua</i> com árvores da mesma espécie e com espécies do gênero <i>Eucalyptus</i> . ....                  | 34 |
| Tabela 6 – Comparação das dimensões médias das fibras da madeira de <i>L. styraciflua</i> com outras árvores da mesma espécie e com espécies do gênero <i>Eucalyptus</i> . .... | 38 |
| Tabela 7– Comparação dos parâmetros de qualidade da madeira de <i>L. styraciflua</i> com outras árvores da mesma espécie, e com espécies do gênero <i>Eucalyptus</i> .....      | 40 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AEF – Área Experimental Florestal

DAP – Diâmetro à Altura do Peito = 1,30 m

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ESALQ – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores

LQCE – Laboratório de Química, Celulose e Energia

TAPPI – Technical Association of the Pulp and Paper Industry

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

USP – Universidade de São Paulo

## SUMÁRIO

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>12</b> |
| 1.1          | OBJETIVOS .....  | 13        |
| 1.1.1        | <b>Objetivo Geral.....</b>   | <b>13</b> |
| 1.1.2        | <b>Objetivos Específicos .....</b>   | <b>13</b> |
| <b>2</b>     | <b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>   | <b>15</b> |
| 2.1          | <i>Liquidambar styraciflua</i> L.....  | 15        |
| 2.2          | DENSIDADE BÁSICA.....  | 16        |
| 2.3          | PROPRIEDADES QUÍMICAS.....   | 18        |
| 2.4          | PROPRIEDADES ANATÔMICAS.....   | 20        |
| <b>3</b>     | <b>METODOLOGIA .....</b>   | <b>22</b> |
| 3.1          | COLETA E PREPARO DO MATERIAL.....  | 22        |
| 3.2          | DENSIDADE BÁSICA.....  | 23        |
| 3.3          | PROPRIEDADES QUÍMICAS.....   | 25        |
| 3.4          | PROPRIEDADES ANATÔMICAS.....   | 27        |
| <b>3.4.1</b> | <b>Morfologia das fibras .....</b>   | <b>27</b> |
| 4            | ANÁLISE ESTATÍSTICA.....   | 30        |
| 5            | RESULTADOS E DISCUSSÃO.....  | 31        |
| 5.1          | DENSIDADE BÁSICA.....  | 31        |
| 5.2          | PROPRIEDADES QUÍMICAS.....   | 33        |
| <b>5.2.1</b> | <b>Composição química da madeira de <i>Liquidambar styraciflua</i> L. ....</b> | <b>33</b> |
| 5.3          | PROPRIEDADES ANATÔMICAS.....   | 36        |
| <b>5.3.1</b> | <b>Caracterização morfológica das fibras .....</b>                             | <b>36</b> |
| <b>5.3.2</b> | <b>Parâmetros morfológicos indicadores de qualidade da madeira.....</b>        | <b>39</b> |
| <b>6</b>     | <b>CONCLUSÃO.....</b>  | <b>43</b> |
| <b>7</b>     | <b>RECOMENDAÇÕES.....</b>  | <b>45</b> |
|              | <b>REFERÊNCIAS.....</b>  |           |
|              | <b>ANEXO A – Determinação do teor de extrativos totais e lignina da made</b>   | <b>12</b> |
|              | <b>.....</b>   | <b>53</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a intensa exploração de madeiras oriundas de florestas nativas resultou na considerável redução de indivíduos de várias espécies de alto valor econômico, promovendo a restrição de uso, favorecendo a substituição por espécies alternativas, com destaque as espécies provenientes de reflorestamento. Desse modo, as florestas plantadas destacam-se no cenário mundial, e são responsáveis por ocupar uma área total de 9 milhões de hectares do Brasil, fornecendo mais de 90% de toda madeira utilizada para fins industriais, compostas principalmente por espécies de *Eucalyptus*, *Pinus* e outras espécies que também apresentam importância econômica (seringueira, acácia, teca, paricá e araucária) (IBÁ, 2020). A participação do *Eucalyptus* no total de área florestal plantada nacional atingiu 77% (6,9 milhões de hectares), seguido pelo *Pinus* 18% (1,6 milhões de hectares) e outras espécies com 5% (0,39 milhões de hectares). Além do rápido desenvolvimento, as florestas plantadas possuem ampla capacidade produtiva fornecendo matéria-prima aos diversos setores da indústria, entre os quais está o setor de celulose e papel, que representa 36% do total de área, equivalente a 2,74 milhões de hectares, sendo o gênero *Eucalyptus* o mais utilizado para a produção de celulose de fibra curta (IBÁ, 2019).

Nos últimos anos, o mercado de polpa celulósica no Brasil apresentou maior crescimento quando comparado aos demais produtores mundiais, a evolução das tecnologias e o aumento da demanda por este tipo de produto ampliou a competitividade e a busca por matérias-primas de maiores rendimentos e melhores propriedades no produto final. Dessa forma para a escolha da melhor espécie de madeira a ser utilizada deve-se sempre levar em consideração a característica desejável da fibra e do tipo de papel a ser produzido (BALDIN *et al.*, 2017; ROSA, 2003). Quando se trata de produção de polpa celulósica do tipo fibra curta, tem-se basicamente dois tipos de papéis que podem ser fabricados: os papéis para escrita e impressão e os papéis sanitários – *tissue* (DUARTE, 2006). Em relação a madeira de *Liquidambar styraciflua*, Freitas *et al.* (2017) comentam que a mesma apresenta atributos positivos para a produção de polpa do tipo Kraft e para papéis de impressão.

Atualmente o país se consolidou como o segundo maior produtor mundial de celulose, com cerca de 19,7 milhões de toneladas, atrás apenas de Estados Unidos, além de ser o décimo maior produtor mundial de papel, com 10,5 milhões de toneladas (IBÁ, 2020). As exportações destes produtos contribuem significativamente para a balança comercial e para a geração de empregos e tributos em todo território brasileiro, com destaque para as regiões sul e sudeste do

país que apresentam 82,7% e 67,8%, respectivamente, das empresas nesses segmentos (IBÁ, 2020).

No entanto, esses resultados estão concentrados em apenas dois gêneros utilizados em grande escala no país, o *Eucalyptus* e o *Pinus*, os quais apresentam rápido crescimento e domínio silvicultural, mas que por outro lado, podem apresentar ameaças para a economia brasileira, como a susceptibilidade a pragas e doenças, podendo ocasionar grandes impactos na cadeia produtiva pela falta de alternativas consolidadas.

Nesse sentido, torna-se importante o estudo e caracterização de novas espécies de crescimento rápido e de boa adaptabilidade as condições edafoclimáticas brasileiras, visando o melhor aproveitamento da madeira e valorização da sua qualidade, principalmente, para o segmento de fibra curta que está restrito ao gênero *Eucalyptus*. Entre as espécies alternativas e com potencial, destaca-se o Liquidâmbar (*Liquidambar styraciflua* L.), espécie folhosa, originária do Sul e Sudeste dos Estados Unidos, com madeira “dura” (*hardwood*) de fibra curta, com usos complementares e possivelmente mais nobres em comparação aos das madeiras de *Pinus* e *Eucalyptus*.

No entanto, apesar da espécie ser considerada com promissora para o manejo florestal no Sul do Brasil, ainda são raras as informações disponíveis na literatura sobre o seu potencial para a produção de polpa celulósica. Diante disso, o presente estudo foi realizado buscando atestar as aptidões de uso da espécie, fornecendo subsídios e ampliando as informações referente a mesma visando a diversificação da base industrial madeireira nas empresas que atuam neste setor.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar as características físicas, químicas e anatômicas da madeira de *Liquidambar styraciflua* L. visando a produção de polpa celulósica.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar a densidade básica da madeira e sua variação longitudinal no fuste;
- Determinar a composição química da madeira;
- Avaliar a morfologia das fibras da madeira e sua variação radial (medula-casca);

- Determinar os indicadores de qualidade para produção de polpa celulósica e papel através da morfologia das fibras.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 *Liquidambar styraciflua* L.

O Liquidâmbar (*Liquidambar styraciflua* L.) ou “sweetgum, redgum, sapgum, starleaf-gum ou bilsted,” é assim denominada na cultura norte americana, devido ao fato de sua casca exsudar uma goma cor de âmbar, a qual uma vez concentrada mediante fervura, torna-se um bálsamo, podendo ser utilizada na fabricação de diversos produtos (óleos essenciais, perfumaria e produtos medicinais), dando significado ao seu nome comum “goma doce” (SHIMIZU, 2005; CARVALHO, 1998). É uma espécie arbórea, folhosa, caducifólia, pertencente à família Hamamelidaceae, originária da América do Norte e América Central (KORMANIK, 1990; LORENZI, 2003)

Sua região de ocorrência natural abrange vários países desde o leste e sudeste dos Estados Unidos, México, Guatemala, Belize, Salvador, Honduras e Nicarágua, crescendo em altitudes de 1.000 a 1.200 metros em solos úmidos e profundos. A precipitação pluviométrica média anual dessas regiões varia de 1.000 a 1.500 mm, com chuvas concentradas no verão, e alguns meses de seca (KORMANIK, 1990).

De acordo com Carvalho (1998) o Liquidâmbar apresenta crescimento relativamente rápido, podendo atingir mais de 40 m de altura e diâmetro de 1,5 m na idade adulta. Quando jovem, sua casca tem coloração pardo-acinzentada, já em plantas adultas a coloração é mais escura e bastante fendida longitudinal e transversalmente (Figura 1A) (SHIMIZU; SPIR, 2004; LORENZI 2003). Lorenzi *et al.* (2003) mencionam que esta espécie apresenta um efeito visual muito atraente através das cores amarelas e vermelhas que as suas folhas adquirem no outono e inverno, apresentando também grande potencial ornamental (Figura 1B).

Segundo Loewe Munõz (1992) a densidade da sua madeira situa-se entre 0,50 e 0,65 g/cm<sup>3</sup>, o que a classifica como de densidade média, demonstrando facilidade de ser polida. Na região Sul e Sudeste do Brasil, apresenta alto potencial produtivo, devido a facilidade de adaptação e crescimento em diferentes tipos de solo, principalmente em solos úmidos, onde a maioria das espécies arbóreas não possui condições de prosperar, além de resistir a geadas severas em regiões de clima frio (SHIMIZU; SPIR, 2004).

Figura 1 – Características do *Liquidambar styraciflua* L. (A) Aspecto da casca, (B) Coloração das folhas



Fonte: Serralves (s.d).

Por apresentar rápido crescimento e fuste retilíneo, a espécie possui ainda grande potencial para reflorestamento sendo indicada para produção de madeira de alta qualidade, especialmente em pequenas propriedades rurais, bem como aproveitamento na indústria madeireira, como fonte alternativa para as empresas que utilizam atualmente espécies de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. (SHIMIZU, 2005).

Estudos realizados confirmam seu potencial de crescimento no Brasil, na região de Colombo (PR), esta espécie atingiu aos 12 anos, um incremento médio anual de 18,70 m<sup>3</sup>/ha/ano, em solos de baixa fertilidade e de drenagem média (CARVALHO, 1998). Em um plantio experimental localizado em Quedas do Iguaçu (PR), o *L. styraciflua* L. se mostrou ser uma espécie alternativa interessante para plantios, com potencial de produtividade de madeira em torno de 40 m<sup>3</sup>/ha/ano aos 11 anos, sendo essa produtividade equivalente à dos eucaliptos de rápido crescimento (SHIMIZU; SPIR, 2004).

Segundo o Laboratório de Produtos Florestais, do Serviço Florestal Americano (2010), a madeira de *Liquidambar styraciflua* L. possui potencial madeireiro para diversas finalidades, entre elas destacam-se: madeira serrada (lumber) e laminada (veneer), compensados (plywood), dormentes (railroad cross ties), caixas (boxes), móveis (furniture), molduras (moulding) e a polpa celulósica (pulpwood).

## 2.2 DENSIDADE BÁSICA

A qualidade da madeira é a combinação de características físicas, químicas, anatômicas e estruturais da árvore ou de suas partes que levam a um máximo de aproveitamento

e uma melhor utilização para determinado fim, dessa forma ela pode ser analisada sob vários aspectos e parâmetros (ANTUNES, 2009).

Um desses parâmetros é a densidade básica, definida como a relação entre a massa de madeira totalmente seca em estufa (expresso em gramas ou toneladas), e o seu volume (expresso em centímetros cúbicos ou metros cúbicos) no estado máximo de saturação em água (FOELKEL; BRASIL; BARRICHELO, 1971).

Foelkel, Mora e Menochelli (1992) afirmam que a determinação da densidade básica é um dos principais parâmetros para a avaliação da qualidade da madeira quando se visa sua utilização como matéria-prima industrial. Conforme Melo *et al.* (2013), seu estudo vem sendo amplamente realizado, uma vez que este parâmetro é facilmente determinado, além de fornecer muitas informações sobre as características do material, servindo na prática como uma referência para usos diversos da madeira.

Segundo Miranda *et al.* (2012) a densidade pode variar dentro de uma mesma espécie, entre as espécies, e até dentro de uma mesma árvore, tanto no sentido longitudinal (da base em direção ao topo), quanto no sentido radial (direção da medula para a casca), e pode ser influenciada por diversos fatores, que podem ser internos (porcentagem de cerne e alborno, posição no tronco, proporção de madeira adulta e juvenil), e externos à árvore (condições climáticas, tratos silviculturais, local de crescimento).

Embora seja considerada como característica única, a densidade básica é também um componente dependente das proporções de lenho inicial e tardio, do tamanho e número de fibras e da espessura da parede da fibra (DINUS e WELT, 1997). Em madeiras de folhosas, a densidade é influenciada por esses fatores e pela proporção e tamanho dos elementos de vasos e outros tipos de células (SANTOS; SANSÍGOLO, 2007).

Para indústrias de celulose e papel, a adequada avaliação da densidade básica é muito importante, pois proporciona indicações sobre o rendimento do processo, qualidade de impregnação dos cavacos, além de indicar o comportamento de algumas propriedades físico-mecânicas da polpa produzida (BASSA; SILVA; SACON, 2007).

De acordo com Alves *et al.* (2011) para a produção de papel e celulose, a espécie deve apresentar densidade uniforme, sendo que as madeiras de alta densidade propiciam maior produtividade em razão de maior carga por volume do digestor. No entanto apresentam uma maior dificuldade de manuseio, devido a dificuldade de picagem das toras (transformação das toras em cavacos), formando cavacos maiores, gerando aumento no consumo de reagentes e de rejeitos na polpação, aumentando os custos de produção (SHIMOYAMA, 1990 *apud* BERGER, 2000).

Em contrapartida, madeiras de baixa densidade exigem menor quantidade de álcali para cozimento, possuem maior facilidade na deslignificação e na picagem das toras. Porém, cabe destacar que a utilização de madeiras de menor densidade, exige o maior consumo específico de madeira, o que afeta a produtividade industrial, apresentando menor rendimento volumétrico do digestor (HECKLER *et al.*, 2014; QUEIROZ *et al.*, 2004).

### 2.3 PROPRIEDADES QUÍMICAS

Segundo Penalber (1983) os estudos de caracterização química da madeira para a produção de polpa celulósica são de grande importância, visto que o produto final de uma fábrica de celulose sofre influência direta da composição química da madeira. Essas características fornecerão condições para que se estabeleçam parâmetros do processo de polpação, como o consumo de reagentes químicos no digestor, o rendimento depurado e o teor de sólidos gerados, desta forma, as análises químicas podem ser consideradas benéficas, vista como um conhecimento preliminar de qualidade da madeira (WEHR, 1991).

De acordo com Klock *et al.* (2005) a composição química elementar da madeira não difere entre espécies, e tem como principais elementos o Carbono (C = 49 a 50%), Oxigênio (O = 44 a 45%), Hidrogênio (H = 6%) e Nitrogênio (N = 0,1 e 1%). Os componentes químicos que formam a madeira são os compostos fundamentais ou macromoleculares e os compostos acidentais ou minoritários. A celulose, hemicelulose e lignina estão presentes em todas as madeiras, e formam os chamados compostos fundamentais ou macromoleculares, já os extrativos e elementos inorgânicos (cinzas) constituem os compostos acidentais ou minoritários e são relacionados geralmente a madeiras de certas espécies (KLOCK *et al.*, 2005).

A celulose é um polímero linear, de alto peso molecular, formado exclusivamente por unidades de  $\beta$ -D-glucose, que se ligam entre si através dos carbonos 1 e 4. É considerado um dos componentes mais comuns e abundantes da natureza, correspondendo a aproximadamente metade da constituição da madeira, sendo o principal constituinte da parede celular dos vegetais (KLOCK *et al.*, 2005). De acordo com Alves (2010) a celulose determina grande parte das propriedades do papel, além de exercer influência na resistência da fibra individual e na ligação entre fibras.

As hemiceluloses também denominadas polioses, são polissacarídeos, que se diferenciam das celulosas por terem menor grau de polimerização e polímeros ramificados. São constituídos por cinco açúcares: glucoses, manose e galactose (hexoses) xilose e arabinose (pentoses) (COELHO, 2017; KLOCK *et al.*, 2005). Segundo Vivian (2015) a mesma possui

estreita associação com a celulose da parede celular, e de maneira geral, apresentam-se em maiores quantidades nas espécies de folhosas em comparação às coníferas. Conforme Santos (2005) as hemiceluloses podem interferir o rendimento na produção de polpa e papel, devido afetarem as interações químicas entre as fibras, a água e outros produtos químicos que são degradados para a formação do papel, no entanto, são compostos desejáveis nos processos de polpação, uma vez que contribuem para a resistência da polpa (COELHO, 2017).

A lignina é um polímero tridimensional de estrutura e constituição química irregular, de alto peso molecular, amorfo, predominantemente aromático e instável quimicamente. É formada de unidades básicas de fenil propano e está localizada principalmente na lamela média e nas subcamadas da parede secundária (ROSA, 2003). Segundo Moraes (2010) a lignina é responsável pela adesão entre as fibras e/ou traqueídeos, e confere rigidez à parede celular e nas partes da madeira, atuando como agente permanente de ligação entre as células, propiciando uma estrutura resistente ao impacto, compressão e dobras. Conforme o mesmo autor, as coníferas dispõem de maiores teores de lignina em comparação as folhosas e possuem diferenças estruturais entre as mesmas. De acordo com Silva Júnior (2005) na produção de polpa celulósica, a lignina é um composto indesejável, pois pode reduzir o rendimento do processo de cozimento e aumentar o consumo de reagentes na polpação. O propósito principal da retirada deste elemento nos processos de obtenção de polpa celulósica e branqueamento, elevação é a redução do consumo de reagentes no cozimento e a ausência de substâncias coloridas que posteriormente escurecem o papel produzido (FOELKEL, 1977).

Os extrativos também chamados de componentes acidentais, são substâncias químicas formadas a partir de graxas, álcoois, fenóis, ceras e outros compostos orgânicos, que podem ser extraídas utilizando-se solventes. Estão localizados em sua maioria no cerne (*heartwood*) da madeira, sendo responsáveis pelas propriedades sensitivas e organolépticas da madeira, como cor, brilho, cheiro, gosto e durabilidade natural a xilófagos (SANTOS, 2008). Além disso, os extrativos possuem função intermediária, agindo no metabolismo das árvores, como reserva de energia e mecanismo de defesa da planta. Em madeira de folhosas, o teor de extrativos encontra-se na faixa de  $3 \pm 2\%$ , mas sua composição e quantidade vão depender de diversos fatores, como espécie, idade e região de procedência (KLOCK *et al.*, 2005). De acordo com Andrade (2006) no processo de polpação a alta concentração de extrativos pode ser desfavorável, pois reduzem o rendimento, aumentam o consumo de reagentes químicos e podem causar incrustações nos equipamentos industriais, conhecidos como depósitos de “pitch”. No entanto, na produção de energia alguns contribuem para aumentar o poder calorífico da madeira (ZANUNCIO *et al.*, 2013)

As substâncias inorgânicas da madeira, denominadas cinzas, correspondem aos componentes minerais encontrados nas plantas, como cálcio (Ca), potássio (K) e magnésio (Mg), representando em média 0,2 a 0,5% da composição química da madeira (VIVIAN, 2015). Conforme Freddo *et al.* (1999) madeiras com baixos teores de cinzas são as mais indicadas para serem empregadas na indústria de celulose, já que esses minerais em elevados teores podem ocasionar incrustações, corrosão e entupimentos nos equipamentos, provocando perdas na produção.

#### 2.4 PROPRIEDADES ANATÔMICAS

Os componentes anatômicos das madeiras de folhosas apresentam estrutura mais complexa quando comparadas às madeiras de coníferas, com maior número de elementos celulares, tipos, formas variadas e em diferentes arranjos (THOMAZ, 2019).

Conforme o mesmo autor, as fibras são células que ocorrem somente nas angiospermas e são caracterizadas por serem estreitas com pontas afiladas com poucas e pequenas pontuações, constituindo, portanto, a maior porcentagem do lenho (20 a 80%), exercendo a função de sustentação mecânica.

As dimensões das fibras das folhosas apresentam em média, de 0,8 a 1,5 mm no comprimento, de 20 a 50  $\mu\text{m}$  no diâmetro do lúmen e de 3 a 5  $\mu\text{m}$  na espessura da parede, podendo variar tanto no sentido longitudinal (base-topo) quanto no sentido radial (medula-casca) (THOMAZ, 2019). Klock *et al.* (2005) citam que a composição do lenho de folhosas está distribuída basicamente em vasos, chamados também de poros, responsáveis por condução de água e sais minerais, e células parenquimáticas, que possuem função de armazenamento e são encontradas em menores quantidades em relação as madeiras de coníferas.

Conforme Burger e Richter (1991) o conhecimento da anatomia da madeira é de fundamental importância para comprovar sua qualidade nos mais variados usos, evitando-se emprego inadequado, além de ser possuir grande utilidade em programas de melhoramento genético florestal.

Em relação a produção de celulose e papel, Cardoso (2020) relata que características como largura, comprimento, espessura da parede celular e diâmetro do lúmen das fibras, são primordiais para avaliar a qualidade da matéria-prima. Como complemento, existem os indicadores de qualidade que auxiliam na determinação do potencial de qualidade da madeira para a fabricação celulose e papel. Entre os principais indicadores de qualidade estão o Índice

de Runkel, Índice de Enfeltramento, Coeficiente de Flexibilidade, e Fração Parede (NISGOSKI *et al.*, 2017).

O Índice de Runkel expressa a relação entre a espessura da parede e o diâmetro do lúmen, auxiliando na avaliação da aptidão das fibras e nas propriedades finais do papel (SANTOS, 2005). Já a relação entre a espessura da parede e largura da fibra, é chamada de Fração Parede. Segundo Castelo (2007) ambos são índices relacionados com a rigidez da fibra influenciando nas propriedades mecânicas do papel.

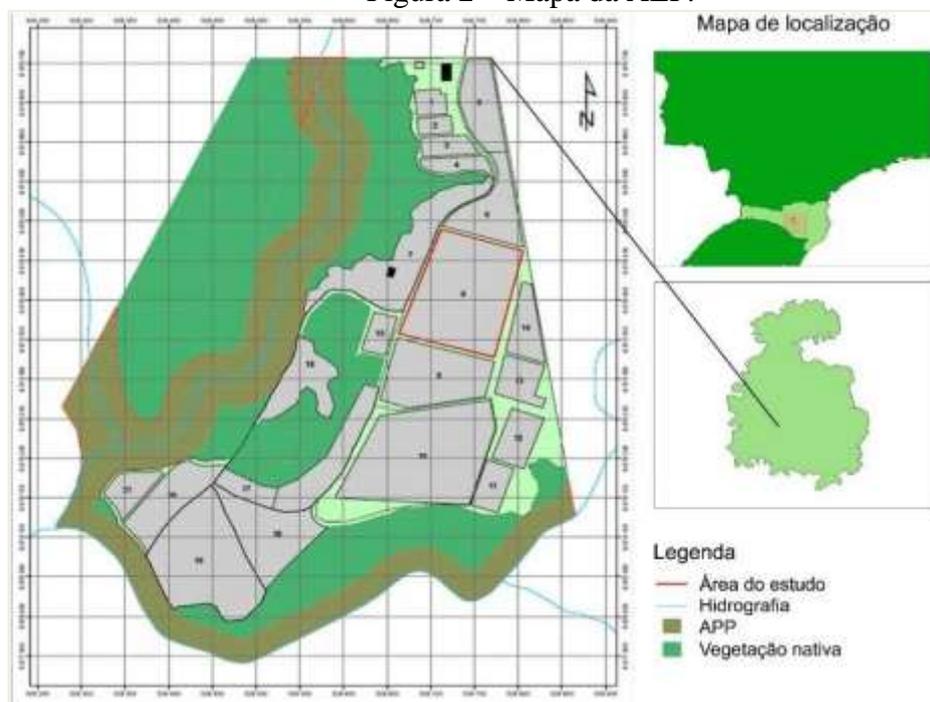
O Coeficiente de Flexibilidade é uma relação entre o diâmetro do lúmen e a largura da fibra, e tem influência na resistência à tração e estouro do papel (NISGOSKI *et al.*, 2012). Por fim, há o Índice de Enfeltramento, que é definido como a relação entre o comprimento e a largura das fibras. Castelo (2007) afirma que tanto o Coeficiente de Flexibilidade quanto Índice de Enfeltramento mensuram o quão flexíveis são as fibras bem como a sua capacidade de entrelaçamento.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 COLETA E PREPARO DO MATERIAL

Para a realização do presente estudo, utilizou-se a madeira de *Liquidambar styraciflua* L. com 7 anos de idade, proveniente de um plantio experimental realizado na Área Experimental Florestal (AEF), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), localizada no km 264 da Rodovia BR 470 no município de Curitibanos/SC. A área está localizada a uma latitude de 27°16'58" S e a uma longitude de 50°35'04" O, com altitude de 987 m acima do nível do mar. Segundo a classificação de Köppen o clima da região é do tipo Cfb - subtropical úmido, que possui como principais características a presença de chuvas predominantes na primavera, mas bem distribuídas durante todo o ano, apresentando verões amenos e invernos moderadamente rigorosos, com geadas anuais e neve eventual (DIDONÉ, 2015). Na figura 2 pode-se verificar o mapa da Área Experimental Florestal onde o experimento de Liquidâmbar está localizado.

Figura 2 – Mapa da AEF.



Fonte: Adaptada de Universidade Federal de Santa Catarina (2021).

O povoamento de *Liquidambar styraciflua* L. foi implantado no ano de 2011 pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), em uma área de 1,3 ha, com espaçamento inicial de 2,5 x 2,5 m, sendo realizado um desbaste seletivo no ano de 2018,

ocasião no qual se deu a coleta das árvores avaliadas, no qual foram removidos aproximadamente 50% dos indivíduos.

Para o estudo foram selecionadas cinco árvores com diâmetros e alturas semelhantes e delas retirados discos de aproximadamente 3,0 cm de espessura das seguintes posições: 0 (base), DAP (diâmetro à altura do peito = 1,30 m), 25, 50, 75 e 100% da altura comercial (diâmetro útil de 6 cm) seguindo a metodologia recomendada por Vital (1974). Foram coletados dois discos da base, sendo um utilizado para análise morfológica das fibras no sentido medula-casca, e o outro, juntamente com os discos das demais posições, foram utilizados para determinação da composição química e da densidade básica e sua variação longitudinal ao longo do fuste.

Os parâmetros dendrométricos médios das árvores coletadas foram: 16,2 cm de DAP e 7,11 m de altura comercial. Após a coleta o material foi transportado para o Laboratório de Recursos Florestais, da Universidade Federal de Santa Catarina, para condução das demais etapas do estudo.

### 3.2 DENSIDADE BÁSICA

Para determinação da densidade básica foram utilizados os discos retirados nas posições: 0, DAP, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial de cada árvore, (Figura 3A) dos quais foram confeccionadas duas cunhas diametricamente opostas (Figura 3B), que foram mantidas submersas em água até a completa saturação.

Figura 3 – Determinação da densidade básica: (A) disco para obtenção da densidade básica, (B) confecção das cunhas.



Fonte: A autora.

Em seguida determinou-se o volume verde das cunhas ( $\text{cm}^3$ ) através do método de imersão (Figura 4), seguindo as recomendações da norma NBR 11.941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2003).

Figura 4 – Determinação do volume verde ( $\text{cm}^3$ ) através do método de imersão em balança analítica.



Fonte: A autora.

Após a obtenção do volume verde as cunhas foram submetidas a secagem a temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  em estufa com circulação forçada de ar. Após este período foi obtida a massa seca (g) de cada cunha.

A partir dos valores de massa anidra e volume saturado, foi realizado o cálculo de densidade básica através da equação 1.

$$D_b = \frac{M_s}{V_s} \quad (1)$$

Em que:  $D_b$  = densidade básica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $M_s$  = massa seca, em g; e  $V_s$  = volume saturado, ( $\text{cm}^3$ ).

Após a obtenção dos valores de densidade básica em cada posição longitudinal (através da média das duas cunhas), calculou-se a densidade básica ponderada, utilizando os diâmetros dos discos nas diferentes alturas e sua densidade básica, conforme a equação 2 apresentada por Vivian (2015).

$$D_{bp} = \frac{1}{2} \frac{(D_B^2 + D_{DAP}^2) * (d_B + d_{DAP}) * \dots * (D_{75\%}^2 + D_{100\%}^2) + (d_{75\%} + d_{100\%})}{D_B^2 + D_{100\%}^2 + 2 * (D_{DAP}^2 + D_{25\%}^2 + D_{50\%}^2 + D_{75\%}^2)} \quad (2)$$

Em que:  $D_{bp}$  = densidade básica ponderada ( $\text{g/cm}^3$ );  $D_B$ ;  $D_{DAP}$ ;  $D_{25\%}$ ;  $D_{50\%}$ ;  $D_{75\%}$  e  $D_{100\%}$  = diâmetros dos discos em diferentes alturas (cm);  $d_B$ ;  $d_{DAP}$ ;  $d_{25\%}$ ;  $d_{50\%}$ ;  $d_{75\%}$  e  $d_{100\%}$  = densidade básica em diferentes alturas ( $\text{g/cm}^3$ ).

A classificação da madeira quanto ao parâmetro de densidade foi realizada de acordo com a classificação proposta por Durlo (1991) (Tabela 1).

Tabela 1 – Classificação da madeira pela densidade

|                                 |        |                      |
|---------------------------------|--------|----------------------|
| Madeira excepcionalmente leve   | $\leq$ | 0,30 $\text{g/cm}^3$ |
| Madeira leve                    | 0,31   | 0,50 $\text{g/cm}^3$ |
| Madeira média                   | 0,51   | 0,70 $\text{g/cm}^3$ |
| Madeira pesada                  | 0,71   | 0,90 $\text{g/cm}^3$ |
| Madeira muito pesada            | 0,91   | 1,10 $\text{g/cm}^3$ |
| Madeira excepcionalmente pesada | $\geq$ | 1,11 $\text{g/cm}^3$ |

Fonte: Durlo, (1991).

### 3.3 PROPRIEDADES QUÍMICAS

A composição química foi determinada a partir das amostras sobresalentes dos discos de todas as posições coletadas, que foram transformados em cavacos (Figura 5A), formando uma única amostra composta das cinco árvores. Após esta etapa os cavacos foram transformados em serragem (Figura 5B), utilizando um moinho do tipo Willey. Em seguida, a serragem foi classificada em peneiras vibratórias (Figura 5C), sendo selecionada a fração que ficou retida entre 40 e 60 mesh (Figura 5D), ou seja, a serragem que passou na peneira de 40 mesh e ficou retida na de 60 mesh.

Figura 5 – Etapas de amostragem: (A) cavacos confeccionados a partir dos discos; (B) serragem obtida através do moinho Willey; (C) classificação da serragem em peneiras vibratórias; (D) serragem retida na peneira de 60 mesh.



Fonte: A autora.

As análises químicas 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. Determinaram-se os seguintes parâmetros, em triplicata: cinzas (TAPPI T 211 om-02), extrativos totais (TAPPI T 204 cm-17) e lignina (residual, solúvel e total, de acordo com os procedimentos adaptados pelo LQCE/ESALQ/USP) (VIVIAN, 2015, descrito pelo autor no Apêndice A). Os procedimentos estão replicados no Anexo A deste trabalho. A holocelulose (celulose + hemicelulose) foi obtida por diferença, de acordo com a equação 3.

$$HC (\%) = 100 - (TE + TL) \quad (3)$$

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

### 3.4 PROPRIEDADES ANATÔMICAS

#### 3.4.1 Morfologia das fibras

Para caracterização morfológica prepararam-se lâminas de macerado temporárias a fim de se obter informações de comprimento (mm), largura ( $\mu\text{m}$ ) e diâmetro do lúmen ( $\mu\text{m}$ ) das fibras. Após obtenção das informações das dimensões, calculou-se a espessura da parede celular ( $\mu\text{m}$ ), fração da parede (%), coeficiente de flexibilidade (%), índice de Runkel e índice de enfiamento.

Para análise das propriedades anatômicas foram utilizados os discos da base (0%) (Figura 6A). Os discos foram previamente lixados, e na sequência foram demarcadas as posições de extração das baguetas centrais no sentido medula-casca (Figura 6B). Foram retiradas de cada bagueta amostras no sentido radial (medula-casca), nas posições 0, 50, e 100% (Figura 6C), (sendo 0% próximo a medula e 100% próximo a casca), na sequência estas foram transformadas em pequenos palitos (fragmentos) para a realização da maceração (Figura 6D).

Figura 6 – Etapas de preparação do material para processo de maceração. (A) Discos da base com marcações dos anéis; (B) Baguetas, sentido medula-casca; (C) Amostras no sentido radial (medula-casca), nas posições 0, 50, e 100%; (D) Palitos

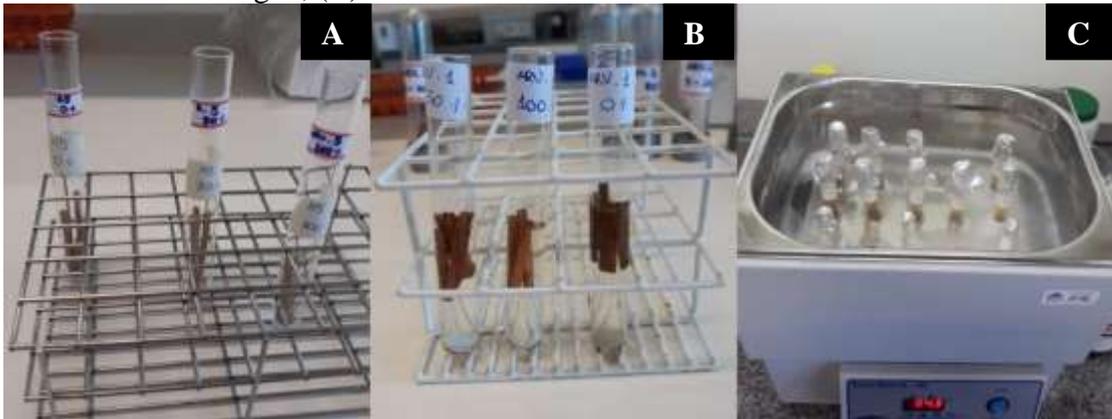


Fonte: A autora.

Os palitos foram dispostos em tubos de ensaios devidamente marcados (Figura 7A) onde adicionou-se a solução de ácido acético, ácido nítrico e água, na proporção de 5:2:1 (Figura 7B). Em seguida, os tubos de ensaio com o material foram levados a banho-maria, temperatura

de 100°C, onde permaneceram por aproximadamente 1 hora, até que os elementos se individualizassem (Figura 7C). Transcorrido o tempo, as amostras foram lavadas e mantidas no tudo de ensaio com água destilada.

Figura 7 – Etapas de preparação do material para processo de maceração. (A) palitos dispostos em tubos de ensaios; (B) tubos de ensaio já preparados com ácido acético, ácido nítrico e água; (C) tubos de ensaio com o material em banho-maria.



Fonte: A autora.

A partir do material macerado foram montadas lâminas adicionando-se 1 gota de safranina, 1 gota de glicerina e 1 gota de água. Com as lâminas montadas, foram obtidas imagens em microscópio com câmera digital acoplada (Figura 8) e software específico para aquisição de imagens em computador. Para captura das imagens de comprimento (Figura 9A) utilizou-se o aumento de 40x, já para largura e diâmetro do lúmen foi utilizado o aumento de 400x (Figura 9B). Em sequência, por meio do software específico foram mensurados as dimensões de 35 fibras para comprimento (C), largura (L) e diâmetro do lúmen (DL) para cada posição radial medula-casca, baseando-se nas normas da IAWA (IAWA COMMITTEE, 1989). A espessura da parede foi determinada pela diferença entre a largura e o diâmetro do lúmen dividido por dois, conforme equação 4.

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

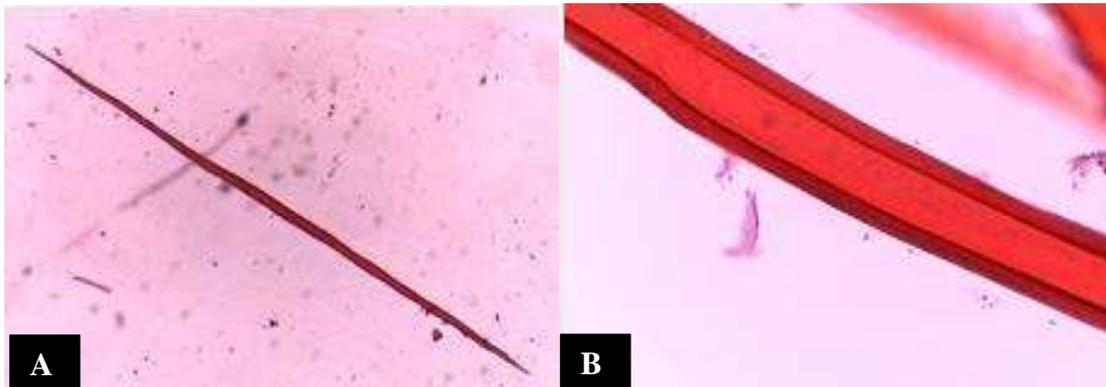
Em que: EP = espessura da parede celular ( $\mu\text{m}$ ); L = largura da fibra ( $\mu\text{m}$ ); DL = diâmetro do lúmen da fibra ( $\mu\text{m}$ ).

Figura 8 – Microscópio Leica utilizado para aquisição das imagens



Fonte: A autora.

Figura 9 – Imagens das fibras em diferentes aumentos. (A) Aumento de 40x; (B) Aumento de 400x.



Fonte: A autora.

Com os valores obtidos das dimensões das fibras calcularam-se os indicadores de qualidade da polpa celulósica, visando avaliar o potencial da madeira para esta finalidade.

Entre os parâmetros calculados estão: Índice de Runkel, Coeficiente de flexibilidade, Índice de enfiamento e fração parede, conforme as equações 5, 6, 7 e 8, respectivamente.

$$IR = \frac{2 \times EP}{DL} \quad (5)$$

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

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

$$FP (\%) = \frac{2 \times EP}{L} \times 100 \quad (8)$$

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

#### 4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

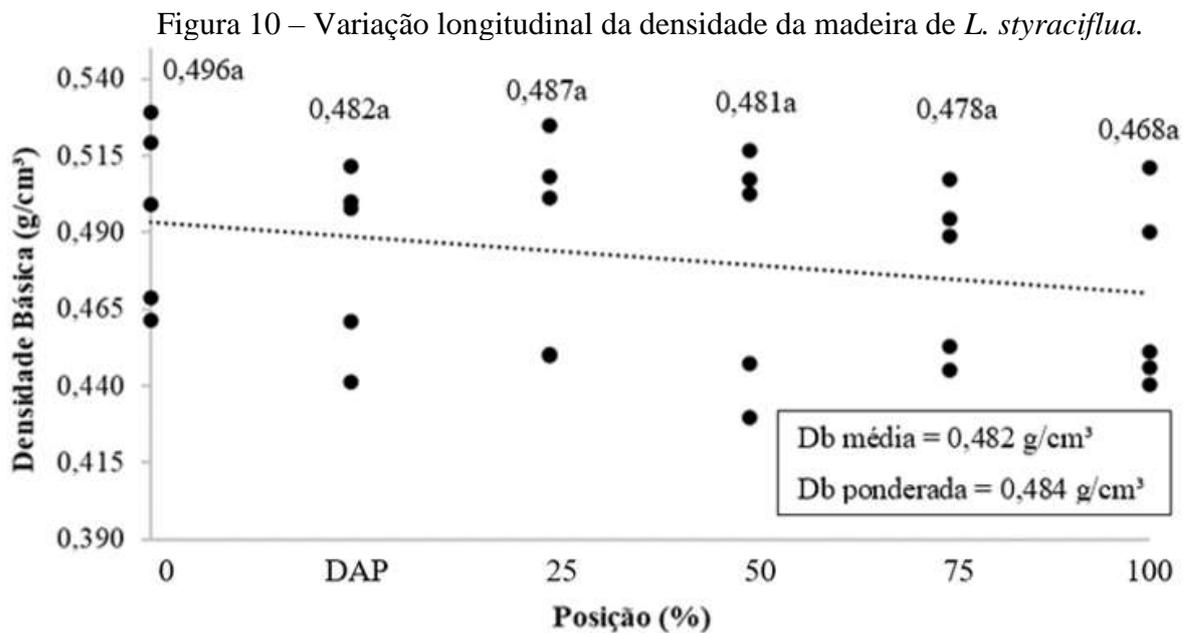
Os dados do presente estudo foram armazenados e analisados com o auxílio de planilhas eletrônicas, utilizando-se os programas Excel® e o software R Studio. A composição química compreendeu apenas uma análise descritiva, assim não foi aplicada análise estatística.

Já para densidade básica e morfologia das fibras aplicou-se a análise de variância (ANOVA) e quando significativo aplicou-se o teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro, no sentido longitudinal base-topo (densidade básica) e no sentido radial (medula-casca para morfologia das fibras).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 DENSIDADE BÁSICA

Na figura 10 pode ser observada a variação da densidade básica da madeira de *L. styraciflua* no sentido longitudinal (base-topo), bem como o valor médio (Db) e ponderado (Dp).



Fonte: A autora.

A madeira de *L. styraciflua* com 7 anos de idade apresentou densidade básica média de 0,482 g/cm³, já a ponderação da densidade em função do diâmetro do fuste da árvore correspondeu a 0,484 g/cm³. Ao analisar o teste de médias (Tukey) ao nível de 5% de significância, nota-se que nenhuma das posições ao longo do fuste diferiu-se estatisticamente das demais posições, dessa forma pode-se considerar que os indivíduos apresentaram homogeneidade. O valor médio da densidade básica (0,482 g/cm³) da espécie aos 7 anos permite classificar sua madeira como leve (densidade básica < 0,50 g/cm³) conforme classificação proposta por Durlo (1991).

Diante dos resultados apresentados na figura 10, constata-se que a densidade básica da madeira apresenta tendência em decrescer no sentido base-topo. Embora esse padrão de comportamento seja descrito com maior frequência para espécies de coníferas, ele é previsto por Panshin e De Zeeuw (1970, *apud* FLÓRSHEIM; TOMAZELLO FILHO, 1998) como um

dos padrões de variação longitudinal de densidade básica de algumas folhosas, tais como *E. maculata*, *E. punctata*, *E. paniculata* e em *E. grandis*.

Oliveira e Silva (2003) explicam que este comportamento em que a densidade decresce no sentido longitudinal do fuste está relacionado ao aumento na proporção de vasos no lenho. Além disso, outros fatores ligados a sazonalidade, condições ambientais e as práticas silviculturais onde a árvore está inserida também podem influenciar (JUTTEL, 2018).

Moreschi (2005) afirma que a densidade é influenciada pela porosidade da madeira. Como o lenho juvenil formado pelo câmbio vascular possui um ritmo de formação de células mais rápido, nos primeiros anos de crescimento as árvores têm maior densidade devido a presença dos poros de maior diâmetro do que os formados posteriormente (lenho adulto) proporcionando a redução da densidade (MORESCHI, 2005; BURGER; RICHTER, 1991).

Na tabela 2 pode ser observada a comparação da densidade básica média da madeira de *L. styraciflua* com outras árvores da mesma espécie, porém de diferentes idades e procedências.

Tabela 2 – Comparação da densidade média da madeira de *L. styraciflua* de diferentes idades e procedências.

| <b>Espécie</b>                              | <b>Idade</b> | <b>Procedência</b> | <b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b> |
|---|--------------|--------------------|-------------------------------------|
| <i>Liquidambar styraciflua</i> <sup>1</sup> | 7            | SC                 | 0,484                               |
| <i>Liquidambar styraciflua</i> <sup>2</sup> | 8            | ES                 | 0,499                               |
| <i>Liquidambar styraciflua</i> <sup>3</sup> | 16           | PR                 | 0,519                               |

Fonte: <sup>1</sup> A autora, <sup>2</sup> FREITAS *et al.* (2015), <sup>3</sup> MATTOS *et al.* (2015).

Ao analisar os resultados encontrados na tabela 1, nota-se que a densidade da madeira de *L. styraciflua* com 7 anos de idade (0,484 g/cm<sup>3</sup>), foi semelhante ao encontrado por Freitas *et al.* (2015), o qual estudaram a mesma espécie, com 8 anos (23,34 cm de DAP e 15,65 m de altura total) e obtiveram densidade média de 0,499 g/cm<sup>3</sup>. Já quando comparada aos valores obtidos por Mattos *et al.* (2015), que avaliaram um arboreto de *L. styraciflua*, com 16 anos de idade (com valores médios de 24,6 cm de DAP e 13,6 m de altura comercial) a densidade média foi de 0,519 g/cm<sup>3</sup>, mostrando-se um pouco superior ao encontrado neste estudo. Apesar dos valores do presente estudo situarem-se abaixo dos citados pelos demais autores, a explicação para este comportamento pode ser devido às características edafoclimáticas, das diferenças de idade e da morfometria dos indivíduos. Ressalta-se que o valor médio de densidade se encontra dentro da faixa ideal para a produção e celulose, que conforme Burger e Richter (1991), situa-se entre 0,4 e 0,6 g/cm<sup>3</sup>.

Na tabela 3 pode ser observada a comparação da densidade da madeira de *L. styraciflua* com espécies do gênero *Eucalyptus* utilizadas para a produção de polpa celulósica.

Tabela 3 – Comparação da densidade da madeira *L. styraciflua* com espécies do gênero *Eucalyptus*.

| <b>Espécie</b>                                       | <b>Idade</b> | <b>Procedência</b> | <b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b> |
|--|--------------|--------------------|-------------------------------------|
| <i>Liquidambar styraciflua</i> <sup>1</sup>          | 7            | SC                 | 0,484                               |
| <i>E. grandis</i> × <i>E. urophylla</i> <sup>2</sup> | 7            | SP                 | 0,499                               |
| <i>Eucalyptus dunnii</i> <sup>3</sup>                | 7            | SC                 | 0,498                               |
| <i>Eucalyptus benthamii</i> <sup>4</sup>             | 5            | SC                 | 0,499                               |

Fonte: <sup>1</sup> A autora, <sup>2</sup> ALMEIDA (2003), <sup>3</sup> KOASKI (2019), <sup>4</sup> NONES *et al.* (2015).

Quando comparada ao gênero *Eucalyptus*, verifica-se que o *L. styraciflua* apresenta resultados bastante próximos aos encontrados nos estudos de Almeida (2003), Koaski (2019) e Nones *et al.* (2015), que analisaram algumas das principais espécies empregadas para a polpa celulósica no Brasil na mesma idade e chegaram aos valores de 0,499 g/cm<sup>3</sup>, 0498 g/cm<sup>3</sup> e 0,499 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Os resultados encontrados no presente estudo indicam a possibilidade de abate da árvore de *L. styraciflua* na mesma idade das espécies comerciais de *Eucalyptus* de alta qualidade e o possível uso de sua madeira para a mesma finalidade com rendimentos similares. Além disso, o *L. styraciflua* apresenta tendência de facilidade de picagem das toras, melhor impregnação de reagentes em cavacos e maior viscosidade da polpa em função da baixa densidade encontrada (HECKLER *et al.*, 2014).

## 5.2 PROPRIEDADES QUÍMICAS

### 5.2.1 Composição química da madeira de *Liquidambar styraciflua* L.

Na tabela 4 podem ser observados os valores obtidos para a composição química da madeira de *L. styraciflua* aos 7 anos de idade.

Tabela 4 – Caracterização química da madeira de *L. styraciflua*.

| Parâmetro          | Média (%) | CV (%) |
|--------------------|-----------|--------|
| Teor de cinzas     | 0,29      | 17,35  |
| Teor de extrativos | 4,40      | 5,11   |
| Teor de lignina    | 24,71     | 0,93   |
| Holocelulose       | 70,88     | 0,40   |

Fonte: A autora. CV = coeficiente de variação

Os valores médios da composição química da madeira de *L. styraciflua* com 7 anos foram: 0,29% de cinzas, 4,40% de extrativos, 24,71% de lignina e 70,88% de holocelulose. Dentre os componentes químicos analisados no presente estudo, a madeira de *L. styraciflua* destaca-se por apresentar menor proporção de cinzas e lignina e maior teor de holocelulose e extrativos quando comparada aos valores citados na literatura para a madeira de *E. grandis* × *E. urophylla* (Tabela 5) de idade semelhante (6 e 7 anos).

Tabela 5 – Comparação da composição química da madeira de *L. styraciflua* com árvores da mesma espécie e com espécies do gênero *Eucalyptus*.

| Espécie  | Idade | Procedência | Cinzas (%) | Extrativos (%) | Lignina (%) | Holocelulose (%) |
|--|-------|-------------|------------|----------------|-------------|------------------|
| <i>Liquidambar styraciflua</i> <sup>1</sup>          | 7     | SC          | 0,29       | 4,40           | 24,71       | 70,88            |
| <i>Liquidambar styraciflua</i> <sup>2</sup>          | 8     | ES          | -          | 4,13           | 28,20       | 67,67            |
| <i>Liquidambar styraciflua</i> <sup>3</sup>          | 16    | PR          | -          | 7,40           | 21,60       | 71,00            |
| <i>E. grandis</i> × <i>E. urophylla</i> <sup>4</sup> | 7     | SP          | -          | 2,50           | 28,54       | 68,90            |
| <i>E. grandis</i> × <i>E. urophylla</i> <sup>5</sup> | 6     | SP          | 0,45       | 3,06           | 28,09       | 68,85            |
| <i>Eucalyptus dunnii</i> <sup>6</sup>                | 7     | SC          | 0,90       | 5,00           | 24,00       | 70,90            |

Fonte: <sup>1</sup> A autora, <sup>2</sup> FREITAS *et al.* (2017), <sup>3</sup> MATTOS *et al.* (2001), <sup>4</sup> BASSA (2006),

<sup>5</sup> SEGURA (2012), <sup>6</sup> KOASKI (2019).

O teor de cinzas encontrado para a espécie de *L. styraciflua* corresponde a 0,29%, valor inferior ao encontrado por Segura (2012) para espécie *E. grandis* × *E. urophylla*, e por Koaski (2019) para espécie de *E. dunnii* (0,45% e 0,90%). Cardoso *et al.* (2001) mencionam que para a indústria de celulose são desejáveis madeiras com baixos teores de minerais, pois estes quando em acúmulo são causadores de problemas como corrosão, erosão e entupimentos, diminuindo a vida útil dos maquinários utilizados resultando em perdas de produção para a indústria. Klock *et al.* (2005) mencionam que a porcentagem de cinzas para madeiras de zonas temperadas varia de 0,2 a 0,5% podendo ser encontrados valores mais altos em madeiras tropicais. Diante disso, pode-

se considerar que a madeira de *L. styraciflua* apresenta um valor baixo de minerais, característica desejável para o processo de polpação.

O teor médio de extrativos encontrado para a madeira de *L. styraciflua* correspondeu a 4,40%, sendo semelhante ao valor médio de 4,12% obtido por Freitas *et al.* (2017) e inferior aos 7,40% verificado por Mattos *et al.* (2001), avaliando a mesma espécie aos 8 e 16 anos de idade. A diferença observada em relação aos resultados obtidos por Mattos *et al.* (2001) pode ser atribuída à diferença de idade das árvores, pois de acordo com Silva (2005) o teor de extrativos da madeira de árvores mais jovens tende a apresentar valores mais reduzidos que os encontrados nas madeiras adultas.

Quando comparado às madeiras do gênero *Eucalyptus* citados neste trabalho, verifica-se que o teor médio de extrativos da madeira de *L. styraciflua* (4,40%) é superior aos valores de 2,50% obtido por Bassa (2006) e 3,06% verificado por Segura (2012) para as madeiras de *E. grandis* × *E. urophylla* e *E. urophylla*, respectivamente. Já a madeira de *E. dunnii* avaliada por Koaski (2019) apresentou teor de extrativos totais mais elevado (5%) em relação ao teor obtido no presente estudo. De acordo com Segura (2012) os extrativos não são favoráveis para o processo de polpação, pois formam o chamado “pitch”, causando incrustações nos equipamentos, aumentando os custos de manutenção. Como a madeira de *L. styraciflua* possui teor de extrativos mais elevados em relação ao gênero *Eucalyptus*, a mesma pode apresentar um menor rendimento na produção e maior dificuldade de branqueamento da polpa celulósica levando a um maior consumo de reagentes químicos (ANDRADE, 2006).

O teor de lignina encontrado para a espécie de *L. styraciflua* (24,71%) apresentou-se inferior ao teor médio de 28,20% para a mesma espécie avaliado por Freitas *et al.* (2017) e aos resultados de 28,54% e 28,09% encontrados por Bassa (2006) e Segura (2012) para *E. grandis* × *E. urophylla*, com 6 e 7 anos de idade. Resultados mais próximos aos observados no presente estudo foram registrados por Mattos *et al.* (2001) e Koaski (2019) ao avaliarem as madeiras de *L. styraciflua* (21,60%) e *E. dunnii* (24,00%).

De acordo com a literatura madeiras com altos teores de lignina possuem qualidade reduzida para a produção de polpa celulósica apresentando maior dificuldade na individualização as fibras da madeira, por essa razão as empresas produtoras de celulose procuram remover a maior quantidade possível deste componente em operações de cozimento e branqueamento (MORAES, 2010; GOMES, 2007; ALVES, 2010).

O teor de lignina observado no presente estudo (24,71%) mostrou-se menor em relação aos resultados observados para o híbrido *E. grandis* × *E. urophylla*, o que se revela uma vantagem para a madeira de *L. styraciflua* aos 7 anos avaliada, pois a mesma poderá exigir

menores quantidades de álcali para a deslignificação, proporcionando economia às indústrias papeleiras, bem como ganhos em rendimento (ROSA, 2003).

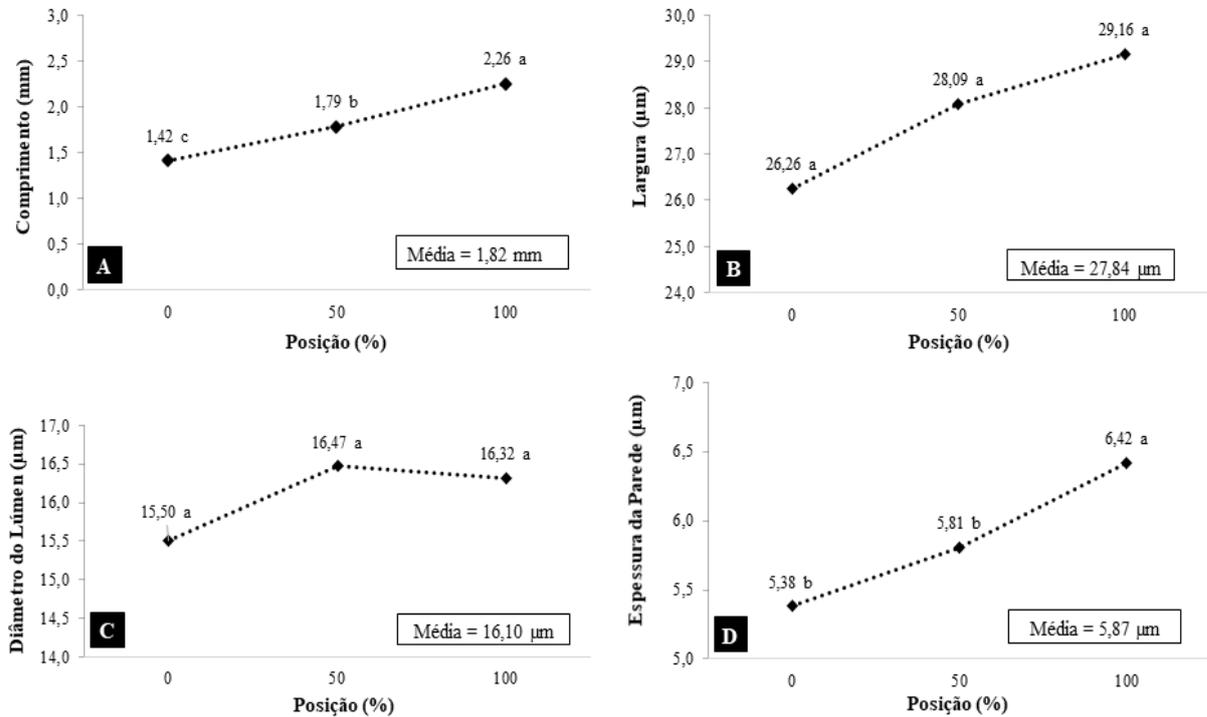
Quanto ao teor de holocelulose, foi encontrado o valor de 70,88%, sendo este semelhante aos 67,67% descrito por Freitas *et al.* (2017) e aos 71% encontrado por Mattos *et al.* (2001), ambos para a espécie de *L. styraciflua*. Quando comparado às espécies de *Eucalyptus* mencionadas na tabela 5, nota-se que o *L. styraciflua* apresenta superioridade aos valores citados por Bassa (2006) e Segura (2012) (68,90% e 68,95%) para o híbrido *E. grandis* × *E. urophylla* e semelhança ao resultado verificado por Koaski (2019) (70,90%). Conforme Favaro (2015) o teor de holocelulose está intimamente associado ao rendimento da polpação, constituindo assim um aspecto positivo para o material estudado, visto que o mesmo pode apresentar rendimentos muito próximos ao híbrido mais utilizado em uma mesma idade e sem melhoramento genético.

### 5.3 PROPRIEDADES ANATÔMICAS

#### 5.3.1 Caracterização morfológica das fibras

Na figura 11 pode ser observada a variação das dimensões médias das fibras da madeira de *L. styraciflua* com 7 anos de idade no sentido radial (medula-casca).

Figura 11 – Variação das dimensões das fibras da madeira de *L. styraciflua* (A) Comprimento; (B) Largura; (C) Diâmetro do lúmen; (D) Espessura da parede.



Fonte: A autora.

As dimensões médias das fibras da madeira de *L. styraciflua* com 7 anos de idade, foram: 1,82 mm de comprimento, 27,84 µm de largura, 16,10 µm de diâmetro do lúmen, e 5,87 µm de espessura da parede. De acordo com o teste de Tukey, ao nível 5% de significância, as dimensões que diferiram estatisticamente no sentido medula-casca foram comprimento e espessura da parede das fibras, sendo que nesta última somente a posição 100% (próxima da casca) diferiu estatisticamente em relação as demais posições. As dimensões de largura e diâmetro do lúmen não apresentaram diferença estatística significativa entre as posições radiais.

Observando a figura 11 (A, B e D), nota-se que há incremento das dimensões comprimento, largura e espessura da parede celular no sentido medula-casca, comportamento que segundo Alzate (2009) é indicador de predominância de madeira juvenil.

De acordo com Alzate (2009) os primeiros anéis de crescimento formado pelas células cambiais (lenho inicial) são altamente influenciados pela ação hormonal da copa e devido ser o período no qual ocorre as maiores atividades fisiológicas da árvore há um rápido aumento das dimensões das fibras. Conforme o câmbio vascular deixa de ser influenciado por essa taxa de hormônios, tem-se a formação de lenho tardio, caracterizado por possuir células mais longas e de parede celular mais espessa (ALZATE 2009; ANDRADE 1987; WILKES, 1988).

Dentre as dimensões avaliadas destacou-se o comprimento das fibras, que apresentou valor superior em relação aos valores médios relatados para as espécies de folhosas (comprimento médio < 1,5 mm) (MIRANDA; CASTELO, 2012). Por esse motivo a madeira de *L. styraciflua* apresenta vantagem, visto que a mesma pode resultar em papéis de característica intermediária com maior resistência a tração, rasgo e dobras, maior opacidade e boa maciez em papéis absorventes e sanitários (ALVES *et al.*, 2011; GOMIDE *et al.*, 2005).

Na tabela 6 pode ser observada a comparação das dimensões médias das fibras da madeira de *L. styraciflua* com outras árvores da mesma espécie, bem como para espécies do gênero *Eucalyptus*.

Tabela 6 – Comparação das dimensões médias das fibras da madeira de *L. styraciflua* com outras árvores da mesma espécie e com espécies do gênero *Eucalyptus*.

| Espécie  | Idade | Comprimento (mm) | Largura (µm) | Diâmetro do lúmen (µm) | Espessura da parede (µm) |
|--|-------|------------------|--------------|------------------------|--------------------------|
| <i>Liquidambar styraciflua</i> <sup>1</sup>          | 7     | 1,82             | 27,84        | 16,10                  | 5,87                     |
| <i>Liquidambar styraciflua</i> <sup>2</sup>          | 8     | 1,98             | 30,83        | 15,70                  | 7,56                     |
| <i>Liquidambar styraciflua</i> <sup>3</sup>          | 16    | 1,55             | -            | -                      | -                        |
| <i>E. grandis</i> × <i>E. urophylla</i> <sup>4</sup> | 7     | 1,07             | 20,06        | 10,59                  | 4,73                     |
| <i>Eucalyptus dunni</i> <sup>5</sup>                 | 10    | 0,95             | 13,20        | 5,50                   | 3,90                     |
| <i>Eucalyptus grandis</i> <sup>6</sup>               | 11    | 1,02             | 20,41        | 12,85                  | 3,37                     |

Fonte: <sup>1</sup> A autora, <sup>2</sup> FREITAS *et al.* (2015), <sup>3</sup> MATTOS *et al.* (2001), <sup>4</sup> ALVES *et al.* (2011), <sup>5</sup> CIT (2007), <sup>6</sup> SILVA (2002).

Em relação às informações disponíveis na literatura com o mesmo gênero, Freitas *et al.* (2015) obtiveram em seu estudo para as dimensões das fibras da madeira de *L. styraciflua* com 8 anos valores médios de 1,98 mm de comprimento, 30,83 µm de largura, 15,70 µm de diâmetro do lúmen, e 7,56 µm de espessura da parede, apresentando resultados um pouco superiores aos obtidos no presente estudo. A superioridade de valores encontrados por Freitas *et al.* (2015) pode ser atribuída a diferença de idade das espécies e às diferentes condições ambientais e de manejo dos locais de estudo (TOMAZELLO FILHO, 1985).

Em contrapartida, o comprimento médio das fibras observado nesse estudo foi superior à média de 1,55 mm registrada por Mattos *et al.* (2001) ao estudarem as características da madeira de *L. styraciflua* aos 16 anos de idade. As demais medições não foram apresentadas no estudo do autor.

Alves *et al.* (2011) obtiveram para a madeira de *E. grandis* × *E. urophylla* com 7 anos, comprimentos médios de fibras 1,07 mm, 20,06 µm de largura, 10,59 µm de diâmetro do lúmen

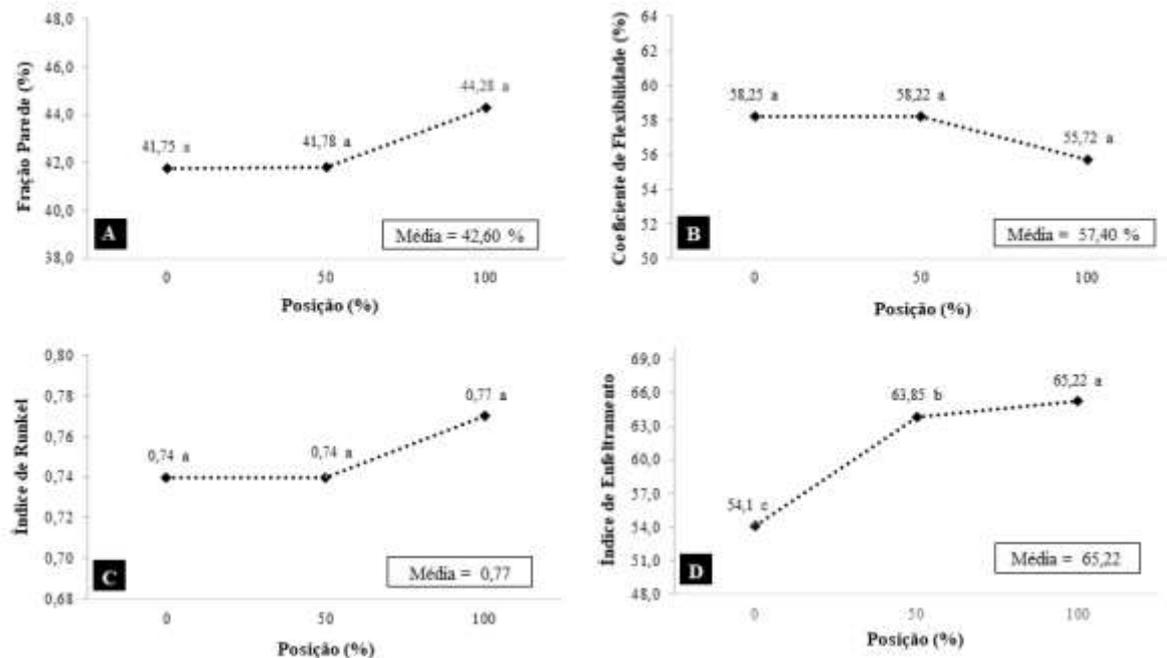
e 4,73  $\mu\text{m}$  de espessura de parede, sendo todos valores inferiores aos resultados encontrados neste trabalho.

A espécie de *L. styraciflua* apresentou também resultados de dimensões de fibras superiores ao trabalho realizado por Cit (2007), que estudou *E. dunnii* com 10 anos, e obteve valores médios de 0,95 mm de comprimento, 13,20  $\mu\text{m}$  de largura, 5,50  $\mu\text{m}$  de diâmetro do lúmen, e 3,90  $\mu\text{m}$  de espessura da parede. Silva (2002), por sua vez, estudando *E. grandis* com 10 anos de idade, encontrou valores médios de 1,02 mm de comprimento, 20,41  $\mu\text{m}$  de largura, 12,85  $\mu\text{m}$  de diâmetro do lúmen, e 3,37  $\mu\text{m}$  de espessura da parede, resultados inferiores aos reportados neste estudo mesmo sendo indivíduos de idade superior. As diferenças que ocorreram para as dimensões anatômicas são justificadas pela comparação de distintas espécies.

### 5.3.2 Parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da madeira

Na figura 12 consta a variação dos parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da madeira de *L. styraciflua* com 7 anos de idade no sentido radial (medula-casca).

Figura 12 – Variação dos parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da madeira de *L. styraciflua* (A) Fração parede; (B) Coeficiente de flexibilidade; (C) Índice de Runkel; (D) Índice de enfeltramento.



Fonte: A autora.

Os valores médios dos parâmetros indicadores da qualidade da madeira de *L. styraciflua* com 7 anos de idade foram: 42,60% para fração parede, 57,40% para o coeficiente de flexibilidade, 0,77 para o índice de Runkel, e 65,22 para o índice de enfieltramento. De acordo com o teste de Tukey, ao nível 5% de significância somente o parâmetro índice de enfieltramento diferiu estatisticamente no sentido medula-casca. Os demais parâmetros avaliados: fração parede, coeficiente de flexibilidade e índice de Runkel não diferiram estatisticamente entre as posições radiais.

Verificando a figura 12 observa-se que os parâmetros fração parede, índice de Runkel, e índice de enfieltramento, tiveram comportamento crescente no sentido medula-casca, já o coeficiente de flexibilidade decresce no sentido radial.

Na tabela 7 pode ser observada a comparação dos parâmetros morfológicos indicadores de qualidade da madeira de *L. styraciflua* com outras árvores da mesma espécie, bem como a comparação com espécies do gênero *Eucalyptus*.

Tabela 7 – Comparação dos parâmetros de qualidade da madeira de *L. styraciflua* com outras árvores da mesma espécie, e com espécies do gênero *Eucalyptus*.

| <b>Espécie</b>                                       | <b>Idade</b> | <b>Fração parede (%)</b> | <b>Coeficiente de flexibilidade (%)</b> | <b>Índice de Runkel</b> | <b>Índice de enfieltramento</b> |
|--|--------------|--------------------------|---|-------------------------|---------------------------------|
| <i>Liquidambar styraciflua</i> <sup>1</sup>          | 7            | 42,60                    | 57,40                                   | 0,77                    | 65,22                           |
| <i>Liquidambar styraciflua</i> <sup>2</sup>          | 8            | 49,60                    | 50,40                                   | 1,01                    | 65,51                           |
| <i>E. grandis</i> × <i>E. urophylla</i> <sup>3</sup> | 7            | 48,87                    | 51,13                                   | 0,95                    | 62,87                           |
| <i>E. grandis</i> × <i>E. urophylla</i> <sup>4</sup> | 5            | 42,00                    | 58,00                                   | 0,70                    | -                               |
| <i>Eucalyptus grandis</i> <sup>5</sup>               | 7            | 46,73                    | 53,26                                   | 0,46                    | -                               |

Fonte: <sup>1</sup> A autora, <sup>2</sup> FREITAS *et al.* (2015), <sup>3</sup> CARVALHO (2000), <sup>4</sup> DUARTE (2007), <sup>5</sup> TALGATTI, *et al.* (2020).

A fração parede encontrada para a madeira de *L. styraciflua* foi inferior a verificada por Freitas *et al.* (2015) para a mesma espécie aos 8 anos (49,60%) bem como as comparadas com o gênero *Eucalyptus* de idades semelhantes.

Carvalho (2000) e Talgatti (2020) avaliando a madeira de *E. grandis* × *E. urophylla* com 7 anos de idade obtiveram valores médios de 48,87% e 46,76%. Duarte (2007) avaliando híbridos de *E. grandis* × *E. urophylla* apresentou os resultados mais próximos aos valores encontrados neste estudo, resultando em 42%, porém os indivíduos apresentavam idade inferior, de apenas 5 anos. Foelkel e Barrichelo (1975) comentam que as fibras com valores de até 40% demonstram maior resistência à tração e estouro, proporcionando maior resistência do

papel. O valor observado neste estudo (42,60%) foi muito próximo ao limite de 40% estabelecido pelos referidos autores, o que pode implicar na formação de papéis com fibras levemente rígidas e folhas mais volumosas como os papéis absorventes (FOELKEL, 2007).

O coeficiente de flexibilidade está relacionado ao grau de colapso das fibras durante a fabricação de papel, portanto quanto maior o seu valor maior será sua resistência à ruptura e a sua flexibilidade, uma vez que haverá uma maior ligação entre as fibras (FOELKEL; BARRICHELO, 1975). O valor médio obtido neste estudo (57,40%) é superior aos encontrados por Freitas *et al.* (2015) (50,40%) para a mesma espécie com 8 anos, e aos registrados por Carvalho (2000) e Talgatti (2020) para *E. grandis* × *E. urophylla* com 7 anos (51,13% e 53,26%) respectivamente. Os resultados mais próximos ao do presente estudo são relatados por Duarte (2007) (58%) que avaliou *E. grandis* × *E. urophylla* com 5 anos. Rodrigues (2010) cita que valores acima de 50% são desejáveis para que ocorra uma boa interligação entre as fibras. Diante disso, o resultado encontrado no presente estudo (57,40%) mostra-se satisfatório, indicando possibilidade de uso da madeira de *L. styraciflua* para a produção de papéis mais resistentes como os para escrita, impressão e embalagens (BALDIN *et al.*, 2017)

Para o índice de Runkel obteve-se média igual a 0,77. Quanto menor for esse índice, maior será o grau de colapso, proporcionando as fibras melhor superfície de contato e papéis com maior resistência a tração e estouro (AMPESSAN, 2015). A madeira de *L. styraciflua*, segundo a classificação apresentada por Vasconcelos (2005) para o índice de Runkel, pertence ao grupo III (0,50 a 1,00), indicando que o material apresenta boa qualidade para a produção de papel. Rodrigues (2010) comenta que valores de índice de Runkel próximos de 1 indicam matéria-prima de boa qualidade para a produção de papel absorvente, evidenciando uma das possíveis aplicações da madeira em estudo.

Dentre as espécies apontadas na tabela 6, verificou-se que para o índice de Runkel, os valores mais similares aos obtidos neste estudo (0,77) foram citados por Duarte (2007) (0,70) ao estudar a madeira do híbrido *E. grandis* × *E. urophylla*.

O índice de enfiamento é a relação entre o comprimento e a largura das fibras, e indica quanto as mesmas são afiladas, sendo que quanto maior este valor, melhor será a formação da folha (RODRIGUES, 2010; ALMEIDA, 2003). O valor médio encontrado no presente estudo foi de 65,22, valor semelhante ao aferido por Freitas *et al.* (2015) (65,51) para a mesma espécie na idade de 8 anos. Já quando comparada as espécies do gênero *Eucalyptus*, o *L. styraciflua* apresentou valores superiores aos obtidos por Carvalho (2000) (62,87), para a madeira de *E. grandis* × *E. urophylla*. O índice de enfiamento encontrado no presente estudo mostra uma tendência de produção de papéis para escrita e impressão de boa qualidade com boas

propriedades de resistência ao rasgo e dobras duplas do papel, visto que o valor encontrado está acima de 50 que é o mínimo exigido para a produção de papel com boas características (BALDI, 2001).

## 6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no presente estudo para *L. styraciflua* com 7 anos permitem concluir que a madeira apresenta:

- Densidade básica média e ponderada de 0,482 g/cm<sup>3</sup> e 0,484 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente, sendo considerada como leve ou de baixa densidade, sendo semelhante a encontrada para as espécies do mesmo gênero bem como do gênero *Eucalyptus* de mesma idade. A densidade não apresentou variação significativa ao longo do fuste das árvores, demonstrando homogeneidade desse parâmetro na madeira avaliada.

- Baixo teor de cinzas (0,29%) e lignina (24,71%), valor similar a literatura para o teor de holocelulose (70,88%) e superior de extrativos (4,40%), quando comparada com as principais espécies do gênero *Eucalyptus* sp. empregadas na produção de polpa celulósica e papel.

- Fibras com comprimento médio de 1,82 mm; largura de 27,84 µm; diâmetro do lúmen de 16,10 µm e espessura de parede de 5,87 µm, apresentando destaque para o comprimento das fibras, que demonstrou valor superior em relação aos valores médios relatados para as espécies de folhosas, sendo considerado de boa qualidade para a produção de papel.

- Bons indicadores de qualidade para produção de polpa celulósica, sendo satisfatório para o coeficiente de flexibilidade (57,40%), bom para o índice de Runkel (0,77), índice de enfieltramento (65,22) e fração parede (42,60%).

De maneira geral a madeira de *L. styraciflua* apresenta grande potencial para a produção de polpa celulósica, apresentando características físicas, anatômicas e químicas interessantes. Destaca-se que a densidade da madeira foi próxima ao de madeiras de *Eucalyptus* priorizado pelas empresas nacionais de celulose, os indicadores anatômicos de qualidade que foram bons em quase todos os aspectos. Além dos resultados das dimensões das fibras que obtiveram vantagem ao apresentar fibras mais longas, conferindo menor possibilidade de rasgo ao papel (maior resistência).

Outro aspecto positivo foi a composição química da espécie, que apresentou baixa proporção de cinzas, característica desejável para o processo de polpação, baixo teor de lignina, que exigirá menores cargas de reagentes químicos para a deslignificação, proporcionando economia às indústrias papeleiras e o alto teor de holocelulose que tende a elevar o rendimento da polpação.

O único aspecto negativo foi o teor de extrativos que se apresentou superior ao mínimo preconizado, podendo reduzir o rendimento e qualidade da polpa.

Vale ressaltar que a espécie de *L. styraciflua* avaliada não passou por programas de melhoramento genético e foi comparada a clones de eucalipto de alta qualidade já submetidos diversos programas de seleção, e mesmo assim, apresentou características tecnológicas promissoras para produção de celulose e papel.

## 7 RECOMENDAÇÕES

A madeira *L. styraciflua* apresentou bons indicadores para produção de polpa celulósica assim recomenda-se realizar mais estudos com a espécie, como a análise anatômica qualitativa da mesma, o processo de polpação propriamente dito, a análise da curva de cozimento visando avaliar a demanda de álcali ativo para a produção de celulose, a produção do papel em si e a avaliação de suas características por meio de testes físicos e mecânicos.

Em virtude do alto teor de extrativos encontrado, recomenda-se também realizar a análise dos tipos de extrativos presentes na madeira, a fim de se obter informações quanto a sua classificação, aplicação e solubilidade nos reagentes utilizados no processo de polpação.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, I. C.N. **Potencial da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage visando à produção de celulose kraft.** 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.
- ALVES, I.C.N. *et al.* Caracterização Tecnológica da Madeira de *Eucalyptus benthamii* para Produção de Celulose Kraft. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p.167-174, jan./mar. 2011.
- 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. Dissertação (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- ALZATE, S.B.A. Estrutura anatômica da madeira de clones de *Eucalyptus*. **Revista Investigaciones Aplicadas**, Colombia , v. 3, n. 5 , p. 1-14, mar. 2009.
- AMPESSAN, C. G. M. **Idade da madeira na qualidade de polpa e do papel.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Estadual de Santa Catarina, Lages, 2015.
- ANDRADE, A. S. de. **Qualidade da Madeira, Celulose e Papel em *Pinus taeda* L.: Influência da Idade e Classe de Produtividade.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- ANDRADE, M.C.D. **Variação das características das fibras em função da densidade básica de cavacos de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.** 1987. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1987.
- ANTUNES, F. S. **Avaliação da qualidade da madeira das espécies *Acacia crassicarpa*, *Acacia mangium*, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus* e *Populus tremuloides*.** 2009. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11941:** Determinação da densidade básica em madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- BALDI, F. **II processo di produzione dele paste chimiche e il loro trattamento.** Verona: 8° Corso di Tecnologia per Tecnici Cartari Edizione. 41p. 2000/2001.
- 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**, Pelotas, v. 8, n. 2, p. 114 -126, maio. 2017.

BASSA, A.G.M.C.; SILVA JR.F.G., SACON, V.M. Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Pinus taeda* para produção de celulose kraft através do Processo Lo-Solids®. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 35, n.75, p.19-29, set. 2007.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. sob o efeito do espaçamento e da fertilização.** 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira.** São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CARPANEZZI, A. A. *et al.* **Zoneamento ecológico para plantios florestais do estado de Santa Catarina.** Curitiba: EMBRAPA-CNPq, 1988. 103 p. (Documento 21).

CARDOSO, G.V. *et al.* Efeito do teor de lignina da madeira de *Eucalyptus globulus* Labill. no desempenho da polpação kraft. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 133-147. 2011.

CARDOSO, G. V. *et al.* Adequação de metodologia amostral de madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus globulus* para determinação do teor de cinzas. In: 34º Congresso Anual de Celulose e Papel, 2001, São Paulo, SP. **Anais [...]** São Paulo: ABTCP, 2001. p.7.

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. Espécies introduzidas alternativas às dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* para reflorestamento no centro sul do Brasil. In: GALVÃO, A.P.M. **Espécies não tradicionais para plantios com finalidades produtivas e ambientais.** Colombo, 1998. p.75-99.

CARVALHO, A.M. **Valorização da madeira do híbrido *E. grandis* × *E. urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha.** 2000. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

CASTELO, P. A. R. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios e espaçamentos através do método não destrutivo de ondas de tensão.** 2007. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

CIT, J. E. **Qualidades da folha de polpa kraft em diferentes proporções de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* M.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

COELHO, U. M. **Avaliação tecnológica da madeira de *Pinus maximinoi* visando sua utilização industrial na produção de celulose kraft.** 2017. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

DIDONÉ, C. L. S. **Crescimento inicial de *Araucaria angustifolia* estabelecidas em Curitibanos, SC: uma análise do potencial produtivo.** 2015. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Catarina,

Curitiba, 2015.

DINUS, R. J.; WELT, T. Tailoring fiber properties to paper manufacture: recent developments. **Tappi Journal**, Peachtree Corners, v. 80, n. 4, p. 127-139, 1997.

DUARTE, F.A.S. **Avaliação da madeira** de *Betula pendula*, *Eucalyptus globulus* e de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* **destinadas a produção de polpa celulósica Kraft**. 2007. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

DURLO, M. A. **Tecnologia da madeira: peso específico**. Santa Maria: Editora da UFSM, 1991. 29 p. (Série Técnica, 8).

FAVARO, J.S.C. **Estudos da Polpação Kraft, Branqueamento e Refino de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015.

FLÓRSHEIM, S. M. B. ; TOMAZELLO FILHO, M. Variação da densidade básica da madeira de aroeira *Myracrodruon urundeuva* F.F. & M.F. Allemão (Anacardiaceae). **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 53-61, 1998.

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**, n. 2/3, p. 65-74, 1971.

FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELO, L.E.G. Relações entre características da madeira e propriedades da celulose e papel. **O Papel**, São Paulo, v. 36, n. 9, p. 49- 53, 1975.

FOELKEL, C. E. B.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: Sua verdadeira utilização como índice de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de celulose. **O papel**, São Paulo, v. 53, n. 5, p. 35-40, maio. 1992.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. 2010. **Wood handbook—Wood as an engineering material**. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 508 p.

FREDDO, A. *et al.* Elementos minerais em madeiras de Eucaliptos e Acácia Negra e sua influência na indústria de celulose Kraft branqueada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 193-209, jan. 1999.

FREITAS, T. P. *et al.* Caracterização anatômica e físico-mecânica da madeira de *Liquidambar* sp. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 4, p. 723 - 734, out./dez. 2015.

FREITAS, T. P. *et al.* Potencial de uso da madeira de *Liquidambar* sp. Para a produção de polpa celulósica e papel. **Ciências Agrárias**, Amazônia, v. 60, n. 4, p. 328-334, out./dez. 2017.

FOELKEL, C. **As fibras dos eucaliptos e as qualidades requeridas na celulose kraft para a fabricação de papel**. In: *Eucalyptus Online Book & Newsletter*, 2007.

GOMES, F.A. **Avaliação das características da madeira e da polpa de *Eucalyptus* mediante a aplicação de métodos não destrutivos na árvore viva.** 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2007.

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

GONÇALVES, F. G. *et al.* Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 501-509, mar. 2009.

HECKLER, C. *et al.* Densidade básica da madeira de *Cecropia* sp e sua influência na produção de celulose Kraft. **Revista científica eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, v. 23, n. 1, p.11-19, fev. 2014.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório anual IBÁ 2020 ano base 2019.** São Paulo: IBÁ, 2020. 66 p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório anual IBÁ 2019 ano base 2018.** São Paulo: IBÁ, 2019. 80 p.

JUTTEL, L.G **Influência do desbaste nas propriedades tecnológicas da madeira de *Pinus taeda* L.**2018. Trabalho de conclusão de curso – (Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2019.

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

KOASKI, D. **Qualidade energética da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maiden.** 2019 Trabalho de conclusão de curso – Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2019.

KORMANIK, P. P. ***Liquidambar styraciflua* L. Sweetgum.**In: Burns RM, Honkala BH (Eds.). *Silvics of North America: Hardwoods.* Washington; 1990, p. 400 - 405.

LORENZI, H. *et al.* **Árvores Exóticas no Brasil:** madeireiras, ornamentais e aromáticas. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003.

LOEWE MUÑOZ, V. Apuntes sobre algunas latifoliadas de maderas valiosas: Liquidambar (*Liquidambar styraciflua* L.). **Ciência e Investigación Forestal**, Santiago, v. 6, n. 2, p. 335-348, 1992.

MATTOS, P. P. *et al.* Características da madeira de *Liquidambar styraciflua*. **Circular Técnica Embrapa Florestas**, Colombo, v. 49, p. 1 - 4, 2001.

MELO, R. R. *et al.* Variação radial e longitudinal da densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. com diferentes idades. **Ciência da madeira (Braz. J. Wood Sci.)**, Pelotas, v. 4, n. 01, maio. 2013.

MIRANDA, M. C.; CASTELO, P. A. R. Avaliações anatômicas das fibras da madeira de *Parkia gigantocarpa* Ducke. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 3, n. 2, p. 55-65, nov. 2012.

- MORAES, F.A.B. **Modelo para avaliação do consumo específico de madeira e insumos energéticos no processo de produção de celulose e papel.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário de Araraquara, Araraquara, 2010.
- MORESCHI, J.C. **Propriedades da madeira.** Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Curitiba –PR, 2005.
- 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.
- NISGOSKI, S. *et al.* Características anatômicas da madeira e índices de resistência do papel de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake proveniente de plantio experimental. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 94, p.203-211, jun. 2012.
- NISGOSKI, S. *et al.* Variação Dimensional dos traqueóides axiais ao longo do fuste de *Sequoia sempervirens* Endl (Lamb.). **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 16, n. 4, p. 510 - 515, out/dez 2017.
- NONES, D. L. *et al.* Determinação das propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal produzido a partir de *Eucalyptus Benthamii*. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 1, p. 57 - 64, jan. / mar. 2015.
- OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 381-385, 2003.
- PANSHIN, A. J. & DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology.** 3 ed. New York; McGraw-Hill.1970.705p.
- PENALBER, A. M. C. **Estudos tecnológicos da polpação de *Eucalyptus grandis*, pelo processo sulfito neutro, com e sem adição de antraquinona.** 1983. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1983.
- PINTO, M. L. **Propriedades e Características da Madeira de Teca (*Tectona grandis*) em função da idade.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.
- 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. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 901-909, 2004.
- ROSA, C. A. B. **Influência do teor de lignina da madeira de *Eucalyptus globulus* na produção e na qualidade da celulose kraft.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.
- RODRIGUES, B. P. **Utilização de parâmetros anatômicos da madeira de dois clones de híbridos naturais de *Eucalyptus grandis* como índices de qualidade para a produção de**

**papel.** 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

SANTOS, S. R. dos. **Influência da qualidade de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e do processo Kraft de polpação na qualidade da polpa branqueada.** 2005. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Curso de Engenharia Florestal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2005.

SANTOS, S. R.; SANSÍGOLO, C. A. Influência da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* na qualidade da polpa branqueada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 1, p. 53-63, mar. 2007.

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetais de cinco espécies lenhosas do Cerrado.** 2008. Dissertação – (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

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

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira.** 2002. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVA JÚNIOR, F.G. **Efeito do ritmo de produção sobre a eficiência de processos modificados de polpação para *Eucalyptus grandis* e *Populus tremuloides*.** 2005. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SILVA, J. C. et al. Influência da idade e da posição ao longo do tronco na composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 455-460, 2005.

SHIMIZU, J. Y. Liquidambar para a produção de madeira no sul e sudeste do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 50, n. 1, p. 127-138, jan/jul. 2005.

SHIMIZU, J. Y.; SPIR, I. H. Z. Produtividade de madeira de Liquidambar (*Liquidambar styraciflua* L.) de diferentes procedências em Quedas do Iguaçu, PR. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 487-491, ago. 2004.

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

TALGATTI, M. *et al.* Caracterização anatômica de clones comerciais de *Eucalyptus* para a produção de papel. **BIOFIX Scientific Journal**, Curitiba, v. 5 n. 1 p. 65-70, ago. 2020.

TOMAZZELO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *E. saligna* e *E. grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n. 29, p. 37-45, abr. 1985.

THOMAZ, C. F. **Caracterização anatômica macroscópica e dimensionamento de fibras de madeiras folhosas com potencial para polpa celulósica**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso, (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, 2019.

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

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: SIF, 1984. 21 p.

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) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2015.

WEHR, T. R. **Variações nas características da madeira de *Eucalyptus grandis* HILL Ex Maiden e suas influências na qualidade de cavacos em cozimentos kraft**. 1991. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

WILKES, J. Variations in wood anatomy with in of *Eucalyptus*. Austrália. **IAWA Bulletin**, v. 9, n. 1, p.13-23. 1988.

ZANUNCIO, A. J. V. *et al.* Composição química da madeira de eucalipto com diferentes níveis de desbaste. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 755–760, 2013.

## ANEXO A – Determinação do teor de extrativos totais e lignina da madeira

FONTE: VIVAN, 2015.

### Extrativos Totais

1. Pesar o equivalente a 1g absolutamente seco (a.s.) de serragem e transferir para saquinho de papel filtro;
2. Colocar a amostra no corpo do extrator;
3. Fazer a extração com álcool:tolueno (1:2) e álcool 96 ° GL, durante 8 horas em cada solvente, deixando secar ao ar após cada extração;
4. Ligar o banho-maria e mantê-lo em ebulição;
5. Transferir toda a serragem do saquinho para erlenmeyer de 250 mL;
6. Adicionar 100 mL de água destilada e colocar o erlenmeyer no banho-maria (que já deverá estar fervendo) e cobri-lo;
7. Agitar suavemente a cada 15 minutos;
8. Após uma hora filtrar através de cadinho de vidro sinterizado tarado, transferindo toda a serragem do erlenmeyer para o cadinho;
9. Lavar o cadinho com 250 mL de água quente;
10. Levar o cadinho à estufa a  $103 \pm 2$  °C até peso constante;
11. Pesar o cadinho seco;
12. Calcular o teor de “Extrativos Totais” através da fórmula:

$$E.T.(%) = (1 - \text{massa a.s. serragem}) \times 100$$

Em que: Massa a.s. serragem: massa de serragem seca já descontando a tara do cadinho, em g.

### Lignina

13. Pesar 300 mg da serragem livre de extrativos seca e transferir para erlenmeyer de 250 mL;
14. Adicionar 3 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72 % resfriado a 10 – 12 °C;
15. Manter em banho-maria a  $30 \pm 2$  °C durante 1 hora, misturando frequentemente com auxílio de bastonete;

16. Retirar do banho-maria e adicionar 84 mL de água destilada quente, transformando o  $\text{H}_2\text{SO}_4$  72 % em  $\text{H}_2\text{SO}_4$  3 %;
17. Colocar o erlenmeyer em autoclave, devidamente vedado com papel alumínio, a  $118\text{ }^\circ\text{C}$  (27 psi) durante 60 minutos;
18. Filtrar através de cadinho sinterizado tarado, fazendo um fundo com papel de filtro, e transferir toda a lignina do erlenmeyer para o cadinho;
19. Lavar com 700 mL de água quente;
20. Levar o cadinho à estufa a  $103 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$  até peso constante;
21. Pesar o cadinho seco;
22. Calcular o teor de lignina residual (L.R.) através da fórmula:

$$\text{L.R.}(\%) = \left( \frac{\text{Massa a.s. final}}{\frac{0,3}{1 - \frac{\text{E.T.}}{100}}} \right) \times 100$$

Em que: Massa a.s. final: massa de lignina seca já descontando a tara do cadinho, em g.

23. Transferir o filtrado obtido nos itens 18 e 19 para balão volumétrico de 1000 mL, completando o volume com água destilada;
24. Preparar prova em branco, diluindo 3 mL de ácido sulfúrico 72 % para 1000 mL;
25. Utilizando cubeta de quartzo e a prova em branco, ajustar o espectrofotômetro em 0 de absorvância no comprimento de onda 215 nm e 280 nm;
26. Prosseguir com a leitura dos filtrados
27. Calcular os teores de lignina solúvel (L.S.) e lignina total (L.T.) através das fórmulas:

$$\text{L.S.}(\%) = \left[ \frac{4.53 \times L_{215} - L_{280}}{300 \times \left( \frac{0,3}{1 - \frac{\text{E.T.}}{100}} \right)} \right] \times 100 \qquad \text{L.T.}(\%) = \text{L.R.}(\%) + \text{L.S.}(\%)$$