

Ana Paula Caetano

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DE *Pinus glabra*  
WALT.**

Curitibanos

2017

Ana Paula Caetano

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DE *Pinus glabra* WALT.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Curitiba, como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Magnus Alan Vivian

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

Curitiba

2017

Caetano, Ana Paula

Caracterização tecnológica da madeira de Pinus glabra  
WALT / Ana Paula Caetano ; orientador, Magnos Alan Vivian,  
coorientadora, Karina Soares Modes, 2017.

53 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus  
Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal,  
Curitibanos, 2017.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Anatomia da madeira. 3.  
Propriedades físico-mecânicas. 4. Composição química. 5.  
Qualidade da madeira. I. Vivian, Magnos Alan. II. Modes,  
Karina Soares. III. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título.

Ana Paula Caetano

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DE *Pinus glabra* WALT.**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Florestal

Curitiba, 01 de dezembro de 2017.



Prof. Magnos Alan Vivian, Dr.

Coordenador do Curso

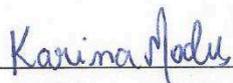
**Banca Examinadora:**



Prof.ª Magnos Alan Vivian, Dr.

Orientador

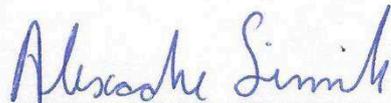
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.ª Karina Soares Modes, Dr.ª

Membro Titular

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Alexandre Siminski, Dr.

Membro Titular

Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus pais e amigos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e oportunidades.

Aos membros da minha família que de alguma forma colaboraram para realização deste trabalho, em especial a minha mãe Neiva, pelo incentivo, carinho, paciência e confiança que em mim depositou, ao meu pai João Ademir Caetano (em memória) que é meu ponto de luz, ao meu pai Osmar, pelo amor, carinho e paciência que recebo desde que cheguei em sua vida, e que foi de fundamental importância durante toda a graduação, e ao meu irmão Guilherme pelo amor e paciência.

À UFSC, pela oportunidade de aprendizado, crescimento profissional, e pela disponibilidade de laboratórios.

Aos meus Orientadores, Magnos Alan Vivian e Karina Soares Modes, pela ajuda e ensinamentos proporcionados durante a realização do trabalho, e por todo aprendizado repassado em sala de aula, colaborando para meu crescimento profissional e pessoal.

À empresa Florestal Gateados Ltda., por apoiar e disponibilizar o material utilizado no estudo.

À professora Cristiane Pedrazzi e ao Laboratório de Química da Madeira da UFSM, por permitir a realização das análises químicas deste trabalho.

Ao Ronan Corrêa, pela ajuda e realização das análises químicas do presente estudo.

Ao servidor André Lucio Fontana Goetten pelo auxílio na utilização do microscópio e lupa para aquisição das imagens morfológicas dos traqueídeos.

Aos meus amigos que de alguma forma colaboraram para realização deste trabalho em especial a Gabriela Carolina do Santos, pela ajuda nas análises morfológicas, ao William Gilberto Balbinot, pela ajuda nas análises estatísticas e a Kalindi Eduana Rossetto pelo apoio e companheirismo.

Aos professores e servidores que de alguma forma contribuíram durante todo o período de graduação.

Muito obrigada!

## RESUMO

A mais de um século as espécies de *Pinus* estão presentes no Brasil, com destaque para o *Pinus taeda* e o *Pinus elliottii*, com aplicações em diversos setores, como na indústria laminadora, de serrados, celulose e papel, resinagem, entre outros. No entanto o *Pinus glabra*, objeto do presente estudo, não conta com informações sobre o seu potencial tecnológico e qualidade de sua madeira. Com isso, o objetivo deste estudo é inferir sobre a qualidade da madeira da espécie de *P. glabra*, determinando assim suas propriedades anatômicas, físicas, químicas e mecânicas, a fim de compará-las com a espécie de *P. taeda*, que atualmente é a espécie de conífera de maior uso no cenário brasileiro. Para isso foram abatidas quatro árvores, das quais retiraram-se discos nas alturas de 0, DAP, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial, bem como toretes, para determinação das propriedades tecnológicas da madeira. Com base na caracterização morfológica dos traqueídeos obtiveram-se os valores médios de comprimento de 3,14 mm, largura de 27,18  $\mu\text{m}$ , diâmetro do lúmen de 15,39  $\mu\text{m}$  e espessura da parede de 5,89  $\mu\text{m}$ , além disso foram obtidos os valores médios de 44,72%, 55,28%, 0,90 e 120,72 para os parâmetros de fração parede, coeficiente de flexibilidade, índice de Runkel e índice de enfeltramento, respectivamente. Quanto as propriedades físicas a madeira de *P. glabra* apresentou densidade básica média e ponderada de 0,421 e 0,424  $\text{g/cm}^3$ , respectivamente, o que a classifica como de baixa densidade. Quanto a retratibilidade os valores de contração encontrados foram de 3,91%, 5,69% e 9,19% para contração radial, tangencial e volumétrica, respectivamente, resultando em um coeficiente de anisotropia igual a 1,46; o que classifica sua madeira como excelente. Em relação a composição química foram observados baixos teores de cinzas (0,25%) e extrativos (1,91%), e teores dentro do esperado, para coníferas, de lignina (29,93%) e holocelulose (67,91%). Para os testes mecânicos observou-se MOE de 5552,62 MPa e MOR de 62,45 MPa na flexão estática; 34,38 MPa de resistência máxima a compressão paralela, e 10,12 MPa para resistência máxima ao cisalhamento. De modo geral, quando comparadas as características tecnológicas da madeira de *P. glabra* com a de *P. taeda*, observa-se similaridade em relação a composição química, densidade básica e retratibilidade, porém menores valores de resistência mecânica e morfologia dos traqueídeos. Desta forma a madeira de *P. glabra* apresenta grande potencial de uso, se destacando quanto a sua estabilidade, considerada excelente nesse quesito, podendo ser destinada para construção civil leve e movelaria decorativa.

**Palavras chave:** Coníferas, anatomia da madeira, propriedades físico-mecânicas, composição química, qualidade da madeira.

## ABSTRACT

Pine species are present in Brazil for more than a century. *Pinus taeda* and *Pinus elliottii* are the two major species grown in the country and commonly serve as raw material to wood laminated manufacturing, paper making and pulp manufacturing industries among other destinations. However, when it comes to the pine species *Pinus glabra*, object of the present study, there isn't many resources of information about its technological potential and the quality of its wood. Therefore, the objective of this study is to infer about the wood quality of *P. glabra* species, thus determining its anatomical, physical, chemical and mechanical properties in order to compare them with the species of *P. taeda*, which is nowadays the most important species of conifer in the Brazilian wood production scenario. Four pine trees were harvested and had wood discs collected at the heights of 0, DBH, 25, 50, 75 and 100% of its commercial height. Small logs were also collected from the trees. These samples were used to determinate the technological properties of the wood. Based on morphological characterization of the tracheids, it was determined the averages values for length of 3.14 mm, width of 27.18  $\mu\text{m}$ , lumen diameter of 15.39  $\mu\text{m}$  and thickness of 5.89  $\mu\text{m}$ , in addition the averages values of 44.72%, 55.28%, 0.90 and 120.72 for the parameters of wall fraction, coefficient of flexibility, Runkel index and inflow index, respectively. As to the physical properties *P. glabra* wood presented average weighted of 0.421 and 0.424  $\text{g}/\text{cm}^3$ , respectively, which classifies it as low density. Regarding the shrinking, the contraction values were 3.91%, 5.69% and 9.19% for radial, tangential and volumetric contraction, respectively, resulting in an anisotropy coefficient equal to 1.46, what classifies its wood as excellent. In relation to the chemical composition, low levels of ashes (0.25%) and extractives (1.91%), and expected contents of lignin (29.93%) and holocellulose (67.91%) for conifers. For the mechanical tests it was observed a MOE of 5552.62 MPa and a MOR of 62.45 MPa in static bending; 34.38 MPa of resistance maximum to parallel compression, and 10.12 MPa for the shear test. So when comparing the technological characteristics of *P. glabra* wood with of *P. taeda*, it is observed similarity in relation to chemical composition, density and shrinking, but lower values for mechanical resistance and morphology of tracheids. In conclusion, the wood of *P. glabra* presents great potential of use, specially for its stability which is considered excellent for construction and furniture manufacturing purposes.

**Key words:** Conifers, wood anatomy, physical-mechanical properties, chemical composition, wood quality.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas de preparação do material para processo de maceração. (A) Baguetas, sentido medula-casca; (B) Palitos; (C) Tubos de ensaio já preparados com ácido acético, ácido nítrico e água. ....	22
Figura 2 - Microscópio Leica e Lupa Leica. ....	22
Figura 3 - Etapa de preparação do material para obtenção da densidade básica (A) confecção das cunhas; (B) Material mantido em água até completa saturação. ....	24
Figura 4 - Confecção dos corpos de prova para obtenção da retratibilidade. ....	25
Figura 5 - Esquema para o teste de flexão estática. ....	30
Figura 6 - Esquema do ensaio de compressão paralela. ....	31
Figura 7 - Dimensões dos traqueídeos da madeira de <i>P. glabra</i> .(A) Comprimento; (B) Largura; (C) Diâmetro do lúmen; (D) Espessura da parede. ....	33
Figura 8 - Parâmetros morfológicos da madeira de <i>Pinus glabra</i> . (A) Fração parede; (B) Coeficiente de flexibilidade; (C) Índice de Runkel; (D) Índice de enfeltramento. ....	35
Figura 9 - Densidade básica da madeira de <i>P. glabra</i> em diferentes posições. ....	37
Figura 10 - Corpos de prova após teste de flexão estática. ....	43
Figura 11 – Regressão linear relacionado a massa especifica aparente dos corpos de prova e o modulo de elasticidade (MOE). ....	43
Figura 12 - Regressão linear relacionado a massa especifica aparente dos corpos de prova e o modulo de ruptura (MOR) ....	44
Figura 13 - Teste realizado nas direções perpendicular e tangencial aos anéis de crescimento ....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização morfológica da madeira de <i>P. glabra</i> e comparação com a madeira de <i>P. taeda</i> .....	34
Tabela 2 - Comparação da retratibilidade da madeira de <i>P. glabra</i> e <i>P. taeda</i> .....	38
Tabela 3 - Caracterização química da madeira de <i>P. glabra</i> .....	39
Tabela 4 - Comparação da composição química entre o <i>P. glabra</i> e o <i>P. taeda</i> .....	40
Tabela 5 - Valores referentes aos ensaios de flexão estática (MOE e MOR), compressão paralela e cisalhamento para espécie de <i>Pinus glabra</i> .....	41
Tabela 6 - Quadro comparativo das propriedades mecânicas (flexão estática, compressão paralela e cisalhamento) entre a espécie do presente estudo ( <i>P. glabra</i> ) e a espécie de <i>P. taeda</i> .....	41

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

$\beta_R$  – Contração Radial

$\beta_T$  – Contração tangencial

$\beta_V$  – contração volumétrica

CA – Coeficiente de anisotropia

COPANT – Comissão Panamericana de Normas Técnicas

CV – Coeficiente de variação

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

MOE – Módulo de elasticidade

MOR – Módulo de Ruptura

REMADE – Revista da Madeira

RM – Resistencia máxima

TAPPI – Technical Association of the Pulp and Paper Industry

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.2	OBJETIVO .....	14
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>14</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	15
2.1	A ESPÉCIE <i>PINUS GLABRA</i> WALT.....	15
2.2	PROPRIEDADES ANATÔMICAS .....	16
2.3	PROPRIEDADES FÍSICAS .....	17
<b>2.3.1</b>	<b>Densidade básica</b> .....	17
<b>2.3.2</b>	<b>Retratibilidade</b> .....	17
2.4	PROPRIEDADES QUÍMICAS .....	18
2.5	PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	19
<b>2.5.1</b>	<b>Flexão estática, Compressão paralela e Cisalhamento</b> .....	19
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	21
3.1	COLETA DO MATERIAL.....	21
3.2	PROPRIEDADES ANATÔMICAS .....	21
<b>3.2.1</b>	<b>Morfologia dos traqueídeos</b> .....	21
3.3	PROPRIEDADES FÍSICAS .....	23
<b>3.3.1</b>	<b>Densidade básica</b> .....	23
<b>3.3.2</b>	<b>Retratibilidade</b> .....	25
3.4	PROPRIEDADES QUÍMICAS .....	26
<b>3.4.1</b>	<b>Determinação do teor de umidade</b> .....	27
<b>3.4.2</b>	<b>Determinação do teor de cinzas</b> .....	27
<b>3.4.3</b>	<b>Determinação do teor de extrativos totais</b> .....	28
<b>3.4.4</b>	<b>Determinação do teor de lignina Klason</b> .....	28
<b>3.4.5</b>	<b>Determinação do teor de holocelulose</b> .....	29
3.5	PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	30
<b>3.5.1</b>	<b>Flexão estática</b> .....	30
<b>3.5.2</b>	<b>Compressão paralela</b> .....	31
<b>3.5.3</b>	<b>Cisalhamento</b> .....	31
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	32
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	33
4.1	PROPRIEDADES ANATÔMICAS .....	33
<b>4.1.1</b>	<b>Caracterização morfológica dos traqueídeos da madeira de <i>Pinus glabra</i></b> .....	33

<b>4.1.2 Parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da polpa celulósica</b> .....	35
<b>4.2 PROPRIEDADES FÍSICAS</b> .....	37
<b>4.2.1 Densidade básica</b> .....	37
<b>4.2.2 Retratibilidade</b> .....	38
<b>4.3 PROPRIEDADES QUÍMICAS</b> .....	39
<b>4.3.1 Composição química da madeira de Pinus glabra</b> .....	39
<b>4.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS</b> .....	41
<b>4.4.1 Flexão estática, compressão paralela e cisalhamento</b> .....	41
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	47
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	49

## 1 INTRODUÇÃO

A mais de um século as espécies de *Pinus* estão presentes no Brasil, foram trazidas, em sua maioria, para fins ornamentais e para produção de madeira por imigrantes europeus. O primeiro contato, que se tem registro, do gênero *Pinus* com o solo brasileiro se deu pelo Rio Grande do Sul (SHIMIZU, 2008).

Desde então, a utilização do gênero *Pinus* na indústria madeireira brasileira tem grande representatividade, se mostrando fundamental para o fornecimento de matéria prima, com destaque para as regiões Sul e Sudeste (REMADE, 2009).

As espécies que se destacam são o *Pinus taeda* e o *Pinus elliottii*, por seus inúmeros usos, podendo ser destinadas a diversos fins, como para indústria laminadora, indústria de serrados, celulose e papel, MDF, resinagem, entre outros. Já o *Pinus glabra*, objeto do presente estudo, não conta com muitas informações, sendo que grande parte da literatura encontrada se direciona ao setor de papel e celulose, contendo poucas informações quanto a qualidade de sua madeira (REMADE, 2009).

Segundo Vivian (2009), toda madeira deve ser previamente estudada, para que se possa demonstrar seu potencial de uso, onde cada etapa deve ser conduzida cuidadosamente, para que a qualidade de uso não seja comprometida. Diferentes testes podem ser utilizados para a determinação destas propriedades, como a densidade básica, retratibilidade, além de ensaios mecânicos, que simulam sua real utilização.

Para Rezende (1995) e Trianoski et al. (2014), os estudos das propriedades da madeira são essenciais e implicam na utilização eficiente da mesma, pois oferecem importantes informações sobre o seu possível uso industrial. Mesmo que com relativa importância, o tema é pouco abordado na literatura, com escassez de trabalhos que apresentem as propriedades da madeira para determinadas espécies, como o *Pinus glabra*. As propriedades da madeira podem levar a uma gama de informações diferenciadas sobre a sua possível aplicação.

Nesse sentido o conhecimento das características anatômicas, físicas, químicas e mecânicas da madeira desta espécie é essencial, podendo através destas inferir sua qualidade e seu potencial tecnológico, visando inseri-la no mesmo rol de usos de espécies de coníferas tradicionais, ampliando as opções da indústria madeireira.

Em vista disso, o estudo adequado das propriedades da madeira visa maior ganho econômico para as plantações da espécie em estudo, justificando assim a expansão de plantios e seus diversos usos, como já mencionado.

## 1.2 OBJETIVO

### 1.2.1 Objetivo geral

Avaliar as características tecnológicas da madeira de *Pinus glabra*, visando compará-las com o *Pinus taeda*, que atualmente é a espécie de conífera de maior uso no cenário brasileiro, com intuito de avaliar seu potencial.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar a composição química da madeira;
- Avaliar a morfologia dos traqueídeos, e sua variação radial;
- Determinar a densidade básica da madeira, e sua variação longitudinal;
- Determinar a retratibilidade da madeira;
- Determinar as propriedades mecânicas da madeira.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A ESPÉCIE *Pinus glabra* WALT.

O *Pinus glabra* faz parte de um grupo de espécies com localização situada nos Estados Unidos, com latitudes entre 31°N e 33°N, abrangendo a costa da Carolina do Sul e Norte da Flórida, até Louisiana (MIROV, 1967 apud SHIMIZU; HIGA, 1980).

Segundo Gilman e Watson (1994), a árvore desta espécie pode chegar a aproximadamente 24m de altura e diâmetro com cerca de 76,2cm, é uma árvore de porte médio, que crescem em pântanos, vales de rios e ao longo de margens da planície costeira do sul.

De acordo com Coder e Care (2011), esta espécie tem crescimento moderado e seu tempo de vida pode chegar até 80 anos, é considerada madura sexualmente a partir dos 10 anos.

A madeira de *Pinus glabra* é considerada de baixa durabilidade natural, sua trabalhabilidade é razoável, devido a sua resina. O cerne possui cor marrom avermelhado, enquanto o alburno tem coloração semelhante a branco amarelado, além disso possui textura média com grã reta. Seu odor é característico do gênero *Pinus* (THE WOOD DATABASE, 2016).

A espécie é utilizada, em suas regiões de ocorrência, para lenha, óleos essenciais e também para usos medicinais, devido ao seu potencial ser pouco explorado (CODER; CARE, 2011). A madeira é vendida em um preço moderado, sendo também utilizada para produção de compensados. Sendo que sua densidade básica está definida entre 0,42 e 0,52g/cm<sup>3</sup> (THE WOOD DATABASE, 2016).

A espécie conta com poucos estudos, com isso sua importância econômica em seu local de origem também é restrita, no Brasil segundo Shimizu e Higa (1980), a espécie já foi incluída no programa de estudo para introdução, avaliando assim o potencial para o reflorestamento no Sul do Brasil.

## 2.2 PROPRIEDADES ANATÔMICAS

Segundo Burger e Richter (1991), muitos aspectos da madeira são de fácil identificação de forma macroscópica, porém para que características mais peculiares sejam identificadas é necessário recorrer a técnicas microscópicas. A microscopia requer de microtécnicas para que o estudo seja efetuado.

A maceração é uma das técnicas utilizadas para que estas características sejam avaliadas, através de produtos químicos, consiste em dissolver a lamela média que une as células. Através da maceração alguns elementos podem ser identificados, assim como largura e comprimento, espessura da parede celular, pontoações entre outros elementos (BURGER; RICHTER, 1991). Sendo assim, possível a caracterização anatômica da madeira.

A caracterização anatômica para Paula (2003) tem efeito fundamental sobre a qualidade e o destino final da madeira. Sendo que as propriedades anatômicas da madeira têm importante correlação para com as demais propriedades físicas e mecânicas. Desta forma a anatomia se mostra importante para determinar seu uso industrial, uma vez que a forma com que as propriedades da madeira se expressam estão relacionadas em como o arranjo e estrutura celular da mesma se associam.

As coníferas apresentam estrutura anatômica bastante simples onde são constituídas por traqueídeos axiais e células de raio, onde os traqueídeos axiais representam cerca de 90 a 95% de sua estrutura, enquanto as células de raio representam entre 5 e 10% (ANDRADE, 2006). Em algumas coníferas podem ocorrer traqueídeos radiais, canais resiníferos e parênquima axial.

Carvalho et al. (1998) ressalta que a qualidade da madeira depende de sua caracterização anatômica, física e química da matéria prima, onde a morfologia de traqueídeos, que se baseia em suas dimensões, comprimento, largura e espessura da parede, permite que haja uma correta interpretação quanto a variação que ocorre na madeira, tal como relações físico-mecânicas, quanto a sua utilização, tanto para celulose e papel, como para confecção de painéis.

## 2.3 PROPRIEDADES FÍSICAS

### 2.3.1 Densidade básica

Segundo Pinto (2007), a densidade da madeira tem ligação com os constituintes internos da mesma. É importante para a caracterização da madeira, tornando-se uma das principais propriedades que diz respeito a qualidade de determinada espécie, para seus diversos usos, assim como o industrial.

Para Silva et al (2004), a densidade varia de acordo com o gênero, entre espécies do mesmo gênero, além de variar entre árvores da mesma espécie, inclusive a diferença de densidade pode ocorrer inclusive em partes da mesma árvore.

A densidade pode sofrer variações de acordo com diferenças em sua estrutura anatômica, a quantidade de extrativos presentes na espécie, assim como sua idade, sitio, clima, localização geográfica e também pode depender do seu trato silvicultural (SILVA et al., 2004).

A densidade da madeira pode ser determinada através de medidas diretas de massa e volume, com auxílio de balança e paquímetro de precisão, imersão em água e também em mercúrio (REZENDE et al., 1999).

A densidade está, quase sempre, relacionada a retratibilidade, trabalhabilidade, durabilidade natural, além de estar ligada a várias propriedades mecânicas da madeira (CHIMELO, 1980; GÉRARD et al., 1995, apud PINTO, 2007).

### 2.3.2 Retratibilidade

A retratibilidade da madeira nada mais é do que a relação entre a variação dimensional da mesma de acordo com o teor de umidade do material com o meio em que se encontra, até que o equilíbrio seja atingido (REMADE, 2001).

É possível observar variações em suas dimensões a partir do momento em que se perde ou ganha umidade abaixo do ponto de saturação de fibras, que de modo geral, fica entorno de 28 a 30% de umidade (REMADE, 2001).

Segundo Oliveira et al. (2010), a retração da madeira varia de espécie para espécie, onde a condução de sua secagem diz muito a respeito ao comportamento da madeira, podendo levar a alterações em sua forma.

Através da retratibilidade é possível observar o quanto um determinado material se contrai ou expande em relação a umidade de equilíbrio, podendo assim prever seu uso e também seu espaçamento entre peças, quando necessário, evitando assim problemas na utilização de artigos madeireiros industrializados (MORESCHI, 2014).

Além disto, é necessário ressaltar a relação entre a retratibilidade e a densidade, onde a retratibilidade aumenta de acordo com densidade da madeira (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968 apud REZENDE et al., 1995).

## 2.4 PROPRIEDADES QUÍMICAS

Para Klock et al. (2005), a composição química elementar da madeira não difere entre espécies, tendo como principais elementos o Carbono (C), o Hidrogênio (H), Oxigênio (O) e o Nitrogênio (N). Quanto aos componentes químicos presentes na madeira, estes são divididos em fundamentais ou macromoleculares e acidentais ou minoritários. Entre os macromoleculares estão a celulose, poliose (hemicelulose) e a lignina, já entre os minoritários estão os extrativos e elementos inorgânicos (cinzas). Os componentes presentes na madeira podem variar de acordo com a espécie.

Segundo Santos (2008), a maior proporção de carboidratos da madeira é constituída por polímeros de celulose e hemicelulose, que são chamados de holocelulose. A celulose é o polissacarídeo mais abundante na natureza, composta por unidades de  $\beta$ -glicose, que formam um polímero de elevado peso molecular, com estrutura linear, sendo o principal constituinte da parede celular.

Santos (2008) caracteriza a hemicelulose como um polissacarídeo, porém com distinção a celulose por ser composto por vários açúcares e possuir uma estrutura ramificada. Ressaltando que assim como na celulose e lignina o seu teor pode mudar variando de espécie para espécie e também entre árvores da mesma espécie.

A lignina é constituída por um sistema aromático, composta por unidades de fenilpropano. As coníferas apresentam maior teor de lignina quando comparadas a folhosas, e está localizada na lamela média e nas paredes secundárias, sendo incorporada como o último elemento da parede, conferindo enrijecimento e fortalecimento a parede (KLOCK, 2005).

Já os componentes acidentais são responsáveis pelas propriedades sensitivas da madeira, como cor, brilho, cheiro e durabilidade natural a xilófagos. São compostos químicos formados a partir de terpenos, fenóis, resinas, ceras, entre outros compostos (SANTOS, 2008).

E as cinzas ou substâncias inorgânicas, são os componentes minerais encontrados na planta, e seu teor pode variar entre espécies e indivíduos (ANDRADE, 2006).

## 2.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS

### 2.5.1 Flexão estática, Compressão paralela e Cisalhamento

Segundo Gonçalves et al. (2009), uma madeira só pode ser usada como matéria prima após o conhecimento de suas propriedades mecânicas, sendo que esta propriedade pode ser afetada por diversos fatores, tal como sua posição na árvore, umidade, tempo e duração da carga além da estrutura da madeira. Testes como o de flexão estática, compressão paralela e cisalhamento auxiliam para a caracterização adequada da madeira, quanto ao seu uso final.

O teste de flexão estática é necessário para que a qualidade da madeira seja confirmada, uma vez que a relação entre a resistência mecânica e a rigidez de uma peça, é usada como critério para sua utilização (CARREIRA; DIAS, 2009).

Para Moreschi (2014), o ensaio de flexão estática está fundamentado em aplicar uma carga em um corpo de prova, no meio de seu comprimento, até que ocorra ruptura ou danos aparentes no mesmo, lembrando que o corpo de prova deve estar posto sobre dois apoios.

A compressão paralela indica, segundo Moreschi (2014), a pressão efetuada com a aplicação de uma carga, no sentido transversal do corpo de prova, onde sua velocidade é comedida, até que haja ruptura. É utilizada para que seja obtida sua resistência máxima, assim como seu limite de elasticidade.

Para Melo (2013), o módulo de elasticidade em compressão paralela é aproximadamente semelhante ao módulo de elasticidade na flexão, com teor de umidade acima do ponto de saturação das fibras.

O cisalhamento é definido como a separação das fibras por um esforço paralelo às mesmas, onde a resistência ao cisalhamento está diretamente ligada a densidade da madeira, e principalmente depende do sentido em que se aplica o esforço, se radial ou tangencial aos anéis de crescimento (HARA, 2011).

O plano tangencial da madeira sofre interferência da porcentagem presente de lenho inicial e tardio no momento de ruptura, onde quanto maior o lenho tardio maior a resistência ao cisalhamento, enquanto no plano radial os raios têm grande influência, madeiras que possuem raios espessos e em grande quantidade apresentam baixa resistência ao

cisalhamento, quando comparados aos com raios mais finos e com número reduzido (MORSCHI, 2014).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 COLETA DO MATERIAL

A coleta do material de *Pinus glabra* foi realizada no município de Campo Belo do Sul – SC, em uma fazenda pertencente a empresa Florestal Gateados Ltda., localizada nas coordenadas geográficas 27°54'01.25" S e 50°44'38.03" O.

Para o estudo foram utilizadas 4 árvores da espécie de *Pinus glabra*, o povoamento foi implantado em 1990, com espaçamento de 2,5 x 2,5 m, não havendo registros sobre o histórico de manejo na área, destas 4 árvores foram retirados 2 discos com 3 cm de espessura nas seguintes posições: 0 (base), DAP, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial considerada na posição de inserção do 1º galho vivo, bem como toretes de 1 metro de comprimento extraído entre a base e o DAP, para a confecção de corpos de prova para avaliação das propriedades mecânicas. Os discos retirados na posição do DAP foram utilizados para determinação da retratibilidade e composição química, e um dos discos da base para anatomia dos traqueídeos.

Os parâmetros dendrométricos médios das árvores coletadas foram: 26,23 cm de diâmetro (DAP), 27,68 metros de altura total, e 14,58 metros 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.

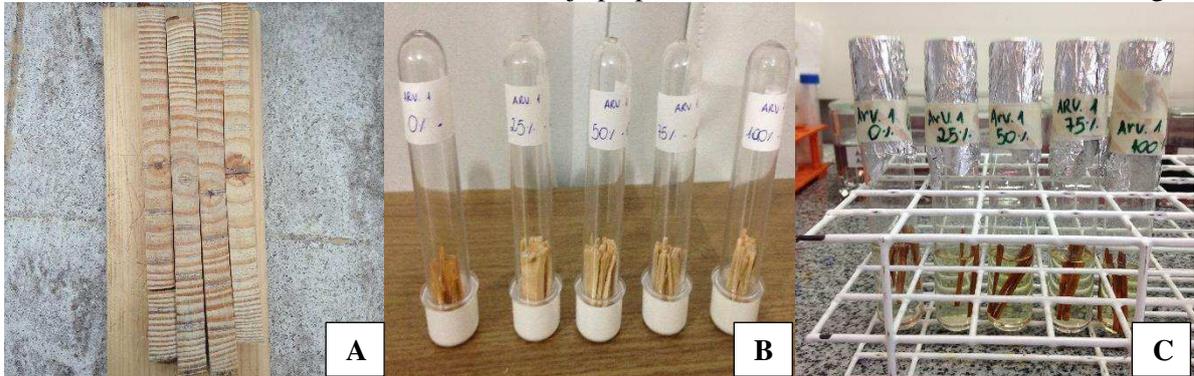
#### 3.2 PROPRIEDADES ANATÔMICAS

##### 3.2.1 Morfologia dos traqueídeos

Para a observação dos elementos anatômicos da madeira foram utilizados os discos retirados da altura referente a base, a qual contém todo o histórico de crescimento das árvores em geral.

Foram retiradas de cada disco amostras no sentido radial (medula-casca), nas seguintes posições 0, 25, 50, 75 e 100% (Figura 1A), das quais foram retirados pequenos palitos (Figura 1B). O processo de maceração se deu em ácido acético, ácido nítrico e água, na proporção 5:2:1 (Figura 1C), mantidos em banho maria (100°C) por um período de 1 hora para que os elementos se individualizem, seguindo a metodologia citada por Marchesan et al, (2007 apud BARRICHELO e FOELKEL, 1983).

Figura 1 - Etapas de preparação do material para processo de maceração. (A) Baguetas, sentido medula-casca; (B) Palitos; (C) Tubos de ensaio já preparados com ácido acético, ácido nítrico e água.



Fonte: O Autor (2017)

Após o procedimento o material macerado foi lavado com água destilada para remover as substâncias utilizadas na maceração. A partir do material macerado montaram-se lâminas com adição de 1 gota de safranina, 1 gota de glicerina e 1 gota de água. Com as lâminas montadas, foram obtidas imagens em microscópio e lupa Leica (Figura 2), dotados de uma câmera digital acoplada, e software específico para aquisição das imagens em computador.

Utilizou-se aumento de 400x no microscópio para aquisição da largura e diâmetro do lúmen dos traqueídeos para todas as posições medula-casca. Já para aquisição do comprimento dos traqueídeos utilizou-se o aumento de 40x no microscópio para as posições 0, 25 e 50%, e aumento 6,3x na lupa para as posições 75 e 100%, em função do aumento do comprimento dos elementos.

Figura 2 - Microscópio Leica e Lupa Leica.



Fonte: O Autor (2017).

Após, por meio do software Image Pro Plus, foram mensurados 30 traqueídeos para cada posição, totalizando 150 elementos por árvore, dos seguintes parâmetros: comprimento

(C), largura (L) e diâmetro do lúmen (DL). A partir das medições dos parâmetros calcularam-se as seguintes relações para cada elemento, conforme as Equações abaixo:

$$E = \left( \frac{L - DL}{2} \right) \quad (1)$$

$$FP = \left( \frac{2.E}{L} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

$$CF = \left( \frac{DL}{L} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

$$IE = \left( \frac{\frac{C}{L}}{1000} \right) \quad (4)$$

$$IR = \left( \frac{2.E}{DL} \right) \quad (5)$$

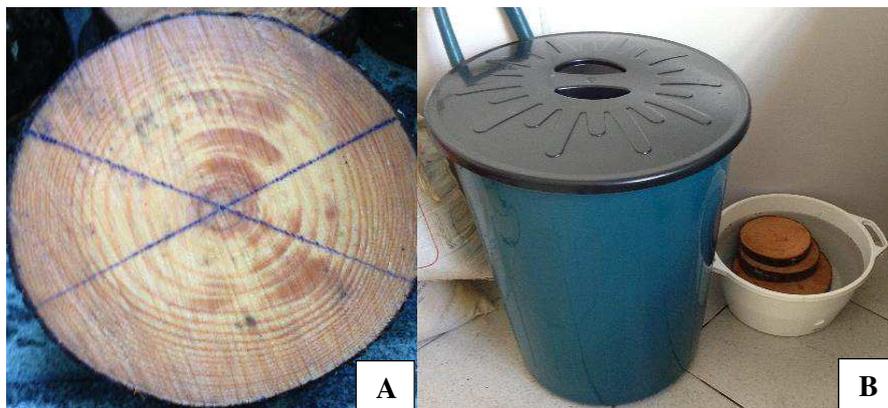
Onde: E = espessura da parede celular, em  $\mu\text{m}$ ; L = largura da fibra, em  $\mu\text{m}$ ; DL = diâmetro do lúmen, em  $\mu\text{m}$ ; C = comprimento da fibra, em mm; FP = fração parede, em %; CF = coeficiente de flexibilidade, em %; IE = índice de enfeltramento; IR = índice de Runkel.

### 3.3 PROPRIEDADES FÍSICAS

#### 3.3.1 Densidade básica

Para determinação da densidade básica utilizou-se os discos retirados nas posições de 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial, dos quais foram confeccionadas duas cunhas, simetricamente opostas (Figura 3A), conservando as mesmas em água até a completa saturação (Figura 3B).

Figura 3 - Etapa de preparação do material para obtenção da densidade básica (A) confecção das cunhas; (B) Material mantido em água até completa saturação.



Fonte: O Autor (2017)

Em seguida determinou-se o volume verde ( $\text{cm}^3$ ) para cada uma das cunhas, através do método de imersão, segundo a norma NBR 11941 (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 2003).

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 obteve-se o peso seco (g) de cada cunha.

A partir dos valores de massa e volume calculou-se a densidade básica para cada cunha (Equação 6).

$$D_b = \frac{P_s}{V_v} \quad (6)$$

Onde:  $D_b$  = densidade básica, em  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $P_s$  = peso seco, em g; e  $V_v$  = volume verde, em  $\text{cm}^3$ .

Após a obtenção dos valores de densidade para cada posição (através da média das duas cunhas), calculou-se a densidade básica ponderada, utilizando os diâmetros dos discos em diferentes alturas e sua densidade básica, conforme a Equação 7:

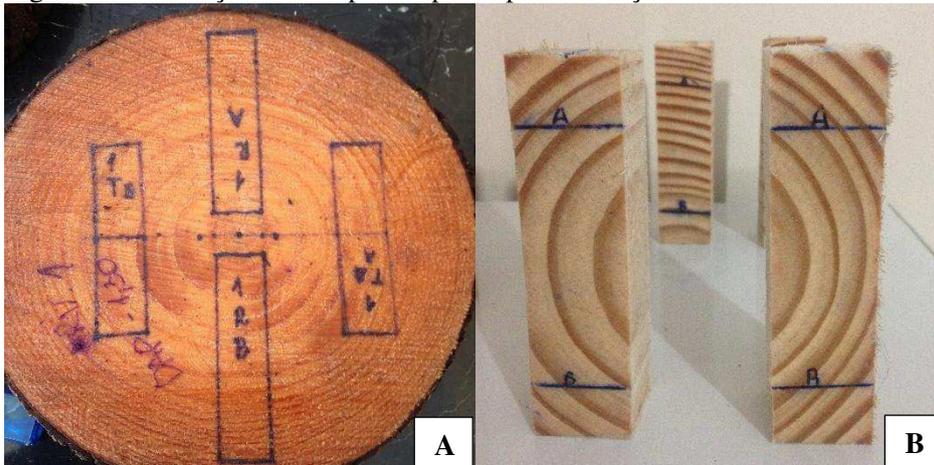
$$D_{bp} = \frac{1}{2} \frac{(D_B^2 + D_{25\%}^2) \cdot (d_B + d_{25\%}) \cdot (D_{25\%}^2 + D_{50\%}^2) \cdot (d_{25\%} + d_{50\%}) \cdot (D_{50\%}^2 + D_{75\%}^2) \cdot (d_{50\%} + d_{75\%}) \cdot (D_{75\%}^2 + D_{100\%}^2) \cdot (d_{75\%} + d_{100\%})}{D_B^2 + D_{100\%}^2 + 2 \cdot (D_{25\%}^2 + D_{50\%}^2 \cdot D_{75\%}^2)} \quad (7)$$

Onde:  $D_{bp}$  = densidade básica ponderada, em  $g/cm^3$ ;  $D_{(base)}$ ,  $D_{(25\%)}$ ,  $D_{(50\%)}$ ,  $D_{(75\%)}$  e  $D_{(100\%)}$  = diâmetros dos discos em diferentes alturas, em cm; e  $d_{(base)}$ ,  $d_{(25\%)}$ ,  $d_{(50\%)}$ ,  $d_{(75\%)}$  e  $d_{(100\%)}$  = densidade básica em diferentes alturas, em  $g/cm^3$ .

### 3.3.2 Retratibilidade

Para determinação da retratibilidade da madeira foram confeccionados corpos de prova (dos discos retirados do DAP) nas dimensões de 2,5 x 10,0 x 2,5cm e 2,5 x 2,5 x 10,0 cm, longitudinal (L), tangencial (T) e radial (R), respectivamente, (Figura 4A e B). Estes corpos de prova foram mantidos em um recipiente com água até a completa saturação dos traqueídeos. Após este procedimento obteve-se o peso e as medidas saturadas nas três direções estruturais da madeira longitudinal (L), tangencial (T) e radial (R), com auxílio de um paquímetro digital.

Figura 4 - Confeção dos corpos de prova para obtenção da retratibilidade.



Fonte: O Autor (2017).

Em seguida, as amostras foram submetidas a secagem em estufa a temperatura de  $103 \pm 2^\circ C$ . Depois deste período, as medidas nas três direções estruturais foram novamente obtidas, desta vez com as amostras completamente secas.

Com os dados, determinou-se a contração linear em cada direção (radial e tangencial) através da Equação 8.

$$C(R,T) = \frac{D_u - D_s}{D_s} \cdot 100 \quad (8)$$

Onde: C = Contração linear em cada direção, em %; Du = Dimensão úmida, em mm; Ds = Dimensão seca, em mm.

Após todas as medições também foi possível a determinação da contração volumétrica, conforme a Equação 9.

$$\beta V = \frac{V_u - V_s}{V_s} \cdot 100 \quad (9)$$

Onde:  $\beta V$  = Contração volumétrica, em %;  $V_u$  = volume úmido, em  $\text{cm}^3$ ;  $V_s$  = Volume seco, em  $\text{cm}^3$ .

Por fim, realizou-se o cálculo referente ao coeficiente de anisotropia para contração, de acordo com a seguinte Equação 10.

$$C. A. = \frac{\beta T}{\beta R} \quad (10)$$

Onde: C.A. = Coeficiente de anisotropia;  $\beta T$  = Contração tangencial, em %;  $\beta R$  = Contração radial, em %.

### 3.4 PROPRIEDADES QUÍMICAS

Para determinação da composição química utilizou-se os discos do DAP, os quais foram transformados em cavacos e misturados para formar uma amostra composta das quatro árvores. Após esta etapa os cavacos foram transformados em serragem em moinho do tipo Willey, a qual foi classificada em peneiras vibratórias, selecionando a fração que ficou retida entre 40 e 60 mesh.

Determinaram-se os seguintes parâmetros, em triplicata: teores de cinzas, extrativos totais, lignina Klason e holocelulose, seguindo as normas estabelecidas pela Technical Association of the Pulp and Paper Industry – TAPPI, com exceção do teor de holocelulose. Para as quantificações utilizou-se o método de perda de massa, ou seja, o resultado foi determinado pelo desconto do material lixiviado em relação à composição natural da madeira. Todas as etapas da caracterização química da madeira foram conduzidas no Laboratório de

Química da Madeira, da Universidade Federal de Santa Maria, localizado em Santa Maria, RS.

### 3.4.1 Determinação do teor de umidade

O teor de umidade foi obtido através da norma TAPPI (T210 cm – 93), no qual placas de petri foram colocadas em estufa a 105°C por um período de 8 horas. Na sequência foram retiradas e mantidas em um dessecador para resfriarem para que então fossem pesadas e anotadas com precisão, após obtenção destes valores, pesou-se 2 g da amostra de serragem seca ao ar nas mesmas placas.

As placas com o material foram levadas novamente a estufa a 105°C por mais 8 horas, após o período foram resfriadas no dessecador e pesadas em balança analítica. O teor de umidade foi obtido a partir da Equação 11.

$$TU = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 \quad (11)$$

Onde: TU = Teor de umidade, em %; P1 = Peso da amostra seca ao ar (peso inicial da amostra), em g; P2 = peso da amostra seca em estufa, em g.

### 3.4.2 Determinação do teor de cinzas

O teor de cinzas foi determinado seguindo a norma TAPPI (T211 om – 93), onde se fez necessário a utilização de cadinhos de porcelana, que foram mantidos na mufla por um período de 3h a uma temperatura correspondente a 525°C, para obter o peso preciso dos mesmos. Em seguida, foi adicionado nos mesmos 2g de amostra devidamente seca e novamente levada a mufla em temperatura de 525°C durante 3h, afim de se obter amostras incineradas. Após este período o material foi mantido na mufla desligada por mais 8h para que ocorresse o resfriamento parcial, e em seguida o material foi levado ao dessecador para resfriamento total, para posterior pesagem.

Para realização dos cálculos utilizou-se a Equação 12 a seguir:

$$TC = \frac{PC}{P} \times 100 \quad (12)$$

Onde: TC = teor de cinzas, em %; PC = Peso de cinzas, em g; P = Peso da amostra absolutamente seca, em g.

### 3.4.3 Determinação do teor de extrativos totais

A determinação dos extrativos totais foi realizada seguindo a norma TAPPI (T264 cm – 97 adaptada pelo laboratório de Química da Madeira, UFSM).

Foram pesadas 2 g de amostra completamente seca em uma balança analítica, e então transferidos para cartuchos de extração, elevadas em seguida a um extrator de Soxhlet, onde foram mantidos por um período de aproximadamente 7 horas (a partir do primeiro refluxo) onde foi extraído em uma solução de 170 mL de álcool etílico e tolueno na proporção 1:2. Em sequência, extraiu-se somente em álcool etílico 95% por mais 5 horas (a partir do primeiro refluxo).

As amostras foram lavadas e filtradas em bomba de vácuo com 300 mL de água deionizada quente, após a extração. Em seguida foram transferidas para béqueres e adicionado 400 mL de água deionizada, e levados a banho-maria à 100°C por 1 hora. Após este período as amostras foram novamente lavadas e filtradas em bomba de vácuo com 100 mL de água deionizada quente. Os materiais foram deixados secando ao ar, em sequência.

Os materiais livres de extrativos ficaram 24h secando ao ar, e após este período foram transferidos para béqueres, já devidamente esterilizados e pesados, e levados a estufa onde ficaram mantidos por 24h a temperatura de 105°C. Após o tempo estabelecido, os materiais foram retirados e levados a um dessecador para resfriamento dos mesmos, e posteriormente pesados. Para determinação do teor de extrativos totais utilizou-se a Equação 13.

$$TE = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 \quad (13)$$

Onde: TE = Teor de extrativos totais, em %; P1 = Peso inicial da amostra, em g; P2 = Peso da amostra livre de extrativos seca em estufa, em g.

### 3.4.4 Determinação do teor de lignina Klason

A análise de lignina Klason foi realizada seguindo a metodologia TAPPI (T222 om – 98). Para análise de lignina foram utilizadas amostras livres de extrativos. Foi então pesado 1

g de amostra em béqueres de 600 mL e adicionou-se 15 mL de ácido sulfúrico 72% na amostra. A mistura (amostra + ácido) foi mantida em banho-maria por 2 horas a uma temperatura de 20°C. Após este período adicionou-se 560 mL de água deionizada nas amostras e foi novamente levada a banho-maria em uma temperatura de aproximadamente 90°C por mais 4 horas.

As amostras foram posteriormente transferidas para um cadinho filtrante onde foram lavadas com 560 mL de água deionizada quente em bomba de vácuo. Em seguida, as amostras foram levadas a estufa a 105°C por um período de 8 horas, logo após os recipientes foram resfriados no dessecador e pesados em balança analítica.

Para determinação do teor de lignina utilizou-se a Equação 14.

$$TL = \frac{P_1}{P_2} \times 100 \quad (14)$$

Onde: TL = Teor de lignina, em %; P1 = Peso do resíduo, em g; P2 = Peso inicial da amostra seca livre de extrativos, em g.

A Equação 16 considera o teor de extrativos inserido no teor de lignina residual. Portanto, fez-se necessário a correção do cálculo a fim para que fosse possível obter-se o valor real da porcentagem de lignina na amostra, através da Equação 15.

$$\%L_{cor} = \frac{P_1}{P_2} \times (100 - TE\%) \quad (15)$$

Onde: %L<sub>cor</sub> = Teor de lignina corrigida, em %; P1 = Peso do resíduo, em g; P2 = Peso inicial da amostra seca livre de extrativos, em g; TE% = Teor de extrativo da amostra, em %.

### 3.4.5 Determinação do teor de holocelulose

O teor de holocelulose foi determinado a partir da diferença do total de 100% dos componentes da madeira, descontando-se os componentes quantificados anteriormente, representando na Equação 16.

$$\text{Holocelulose (\%)} = 100 - (TC + TE + TL) \quad (16)$$

Onde: TC = Teor de cinzas, em %; TE = Teor de extrativos totais, em %; TL = Teor de lignina, em %.

### 3.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Os ensaios para a caracterização das propriedades mecânicas (flexão estática, compressão paralela, e cisalhamento) da madeira de *Pinus glabra*, foram realizados na Máquina Universal de Ensaio Mecânico, foram avaliados corpos de prova confeccionados a partir de toretes, extraídos entre as posições da base e DAP. Os corpos de prova foram condicionados em câmara climática à temperatura de 20°C e umidade relativa de 65% até peso contante. Os resultados foram obtidos em kgf e kgf/cm<sup>2</sup> e depois convertidos para MPa.

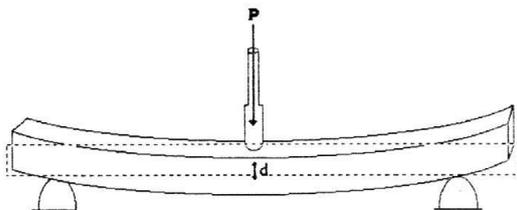
#### 3.5.1 Flexão estática

O teste de flexão estática foi realizado com 30 corpos de prova de dimensões 2,0 x 2,0 x 30,0 cm e velocidade de 1,3 mm/min, de acordo com a norma COPANT 30:1-006 (Comissão Panamericana de Normas Técnicas).

As amostras foram posicionadas de modo em que a medula ficasse posicionada para cima e a carga aplicada na face tangencial (Figura 5), ao meio do seu comprimento, para causar tensões e deformações, cujos valores foram registrados pelo software da máquina de ensaio.

Os corpos de prova tiveram o volume e massa mensurados antes do teste, para determinação da massa específica aparente. Para que assim haja a informação dos seus valores de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR).

Figura 5 - Esquema para o teste de flexão estática

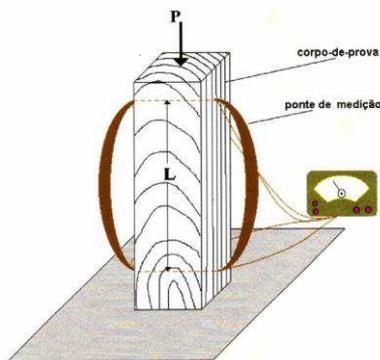


Fonte: MORESCHI (2014).

### 3.5.2 Compressão paralela

Para a realização do teste de compressão paralela utilizou-se 30 corpos de prova com as seguintes dimensões: 5,0 x 5,0 x 20,0 cm (Figura 6) e velocidade de 0,6 mm/min, segundo a norma COPANT 30:1-008 (Comissão Panamericana de Normas Técnicas).

Figura 6 - Esquema do ensaio de compressão paralela.



Fonte: MORESCHI(2014).

No teste foi registrada a carga máxima, que relacionada a área de aplicação da força permitiu o cálculo da resistência máxima à compressão axial utilizou-se a Equação 17.

$$R_{\text{máx}} = \frac{C_{\text{máx}}}{A} \quad (17)$$

Onde:  $R_{\text{máx}}$  = resistência máxima, em kgf/cm<sup>2</sup>;  $C_{\text{máx}}$  = carga máxima, em kgf;  $A$  = área da aplicação da carga, em cm<sup>2</sup>.

### 3.5.3 Cisalhamento

Para determinação de resistência ao cisalhamento foram utilizados os parâmetros estabelecidos pela Norma Pan-Americana COPANT 463-72 (Comision Panamericana de Normas Tecnicas, 1972), a partir de 32 corpos de prova, com dimensões 5 x 5x 6,5 cm, sendo a última dimensão no sentido da grã, obedecendo a orientação de corte da madeira metade dos corpos de prova foram submetidos ao cisalhamento tangencial aos anéis de crescimento e a outra metade perpendicularmente aos anéis de crescimento.

A partir da relação entre a carga máxima e área de aplicação da força, foi possível determinar a resistência ao cisalhamento utilizando a Equação 18 (MORESCHI, 2014).

$$\sigma = P_{\text{máx}} / b \cdot h \quad (18)$$

Onde:  $\sigma$  = resistência ao cisalhamento, em kgf/cm<sup>2</sup>;  $P_{\text{máx}}$  = carga máxima resistida pela peça de madeira, em kg; b e h = largura e altura que definem a área sujeita ao esforço aplicado, em cm.

### 3.6 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 SISVAR.

A retratibilidade e composição química compreenderam apenas uma análise descritiva, assim não foi aplicada análise estatística. Já para densidade e morfologia dos traqueídeos aplicou-se a análise de variância (ANOVA) e quando significativo aplicou-se o teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, nos valores axiais (densidade) ou sentido medula-casca (morfologia) da madeira. Para as propriedades mecânicas foi realizado análise de regressão no programa Excel®, para obtenção de modelo matemático para estimar os parâmetros de resistência da espécie em estudo em função da sua densidade aparente a umidade de 12%.

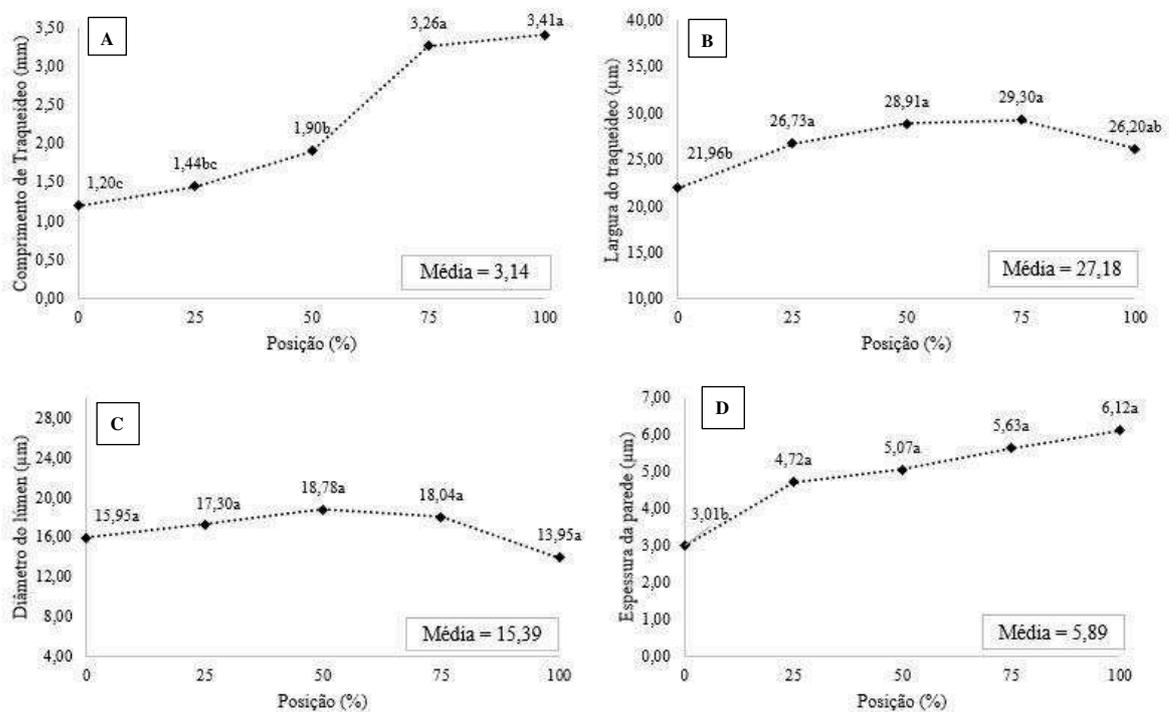
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 PROPRIEDADES ANATÔMICAS

#### 4.1.1 Caracterização morfológica dos traqueídeos da madeira de *Pinus glabra*

Quando se analisa a morfologia dos traqueídeos no sentido medula-casca (Figura 7A e 7D) nota-se que o comprimento (mm) e a espessura da parede ( $\mu\text{m}$ ) aumentam no sentido radial, sendo valores menores próximos a medula enquanto que os valores maiores mais próximos a casca. Tal comportamento é justificado por Nigoski (2015 apud Foelkel et al., 1975), onde tanto para coníferas como para folhosas, os elementos fibrosos tendem a ser maiores mais próximos a casca, comparado aos próximos a medula.

Figura 7 - Dimensões dos traqueídeos da madeira de *P. glabra*. (A) Comprimento; (B) Largura; (C) Diâmetro do lúmen; (D) Espessura da parede.



Fonte: O autor (2017).

Ainda na Figura 7 (B e C), nota-se que as médias encontradas para largura ( $\mu\text{m}$ ) e diâmetro do lúmen ( $\mu\text{m}$ ), tendem a decrescer à medida que se aproxima da casca, apresentando assim medida inversa ao comprimento dos traqueídeos. Andrade (2006) também encontrou essa característica em seus estudos, e explica que estes fatos podem ocorrer em

função da maior porcentagem de lenho tardio encontrado a medida que a árvore se desenvolve. Klock (2000) relata em seu estudo que o lenho tardio se caracteriza por apresentar maiores comprimentos e menores diâmetros em relação ao lenho inicial.

Estatisticamente, as dimensões diferiram no sentido medula-casca, com exceção do diâmetro do lúmen, enquanto que para comprimento do traqueídeo nota-se que há uma estabilidade quando a posição se aproxima da casca, onde as posições de 75 e 100% não diferem estatisticamente para comprimento, e a espessura de parede não apresenta em sua média diferença desde a posição de 25 até 100%. Para a largura e diâmetro do lúmen, a posição de 100% não difere das demais posições, enquanto que a posição 0% não difere apenas da posição de 100% em relação a largura do traqueídeo.

Analisando o comportamento do comprimento dos traqueídeos (Figura 8A), a tendência de estabilização da posição 75 para a 100%, pode indicar a transição de madeira juvenil para adulta. Em média a posição de 75% representava 14 anos (com base na contagem dos anéis de crescimento). Desta forma a partir de 14 anos inicia-se a formação de madeira adulta, que microscopicamente é representada pela estabilização do comprimento dos traqueídeos.

Na Tabela 1 é possível observar os resultados da caracterização morfológica dos traqueídeos da madeira de *P. glabra*, bem como a comparação com a madeira de *Pinus taeda*, espécie de fibra longa mais utilizada no Brasil.

Tabela 1 - Caracterização morfológica da madeira de *P. glabra* e comparação com a madeira de *P. taeda*.

<b>Espécie</b>	<b>Idade</b>	<b>Comprimento (mm)</b>	<b>Largura (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Diâmetro do lúmen (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Espessura da parede (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
<i>Pinus glabra</i> <sup>1</sup>	26	3,14	27,18	15,39	5,89
<i>Pinus taeda</i> <sup>2</sup>	21	3,50	40,55	27,71	6,41
<i>Pinus taeda</i> <sup>3</sup>	20	2,78	36,60	-	-
<i>Pinus taeda</i> <sup>4</sup>	17	3,32	40,42	27,09	6,67

<sup>1</sup>Presente estudo; <sup>2</sup>VIVIAN et al. (2015); <sup>3</sup>ANDRADE (2006); <sup>4</sup>NISGOSKI (2005).

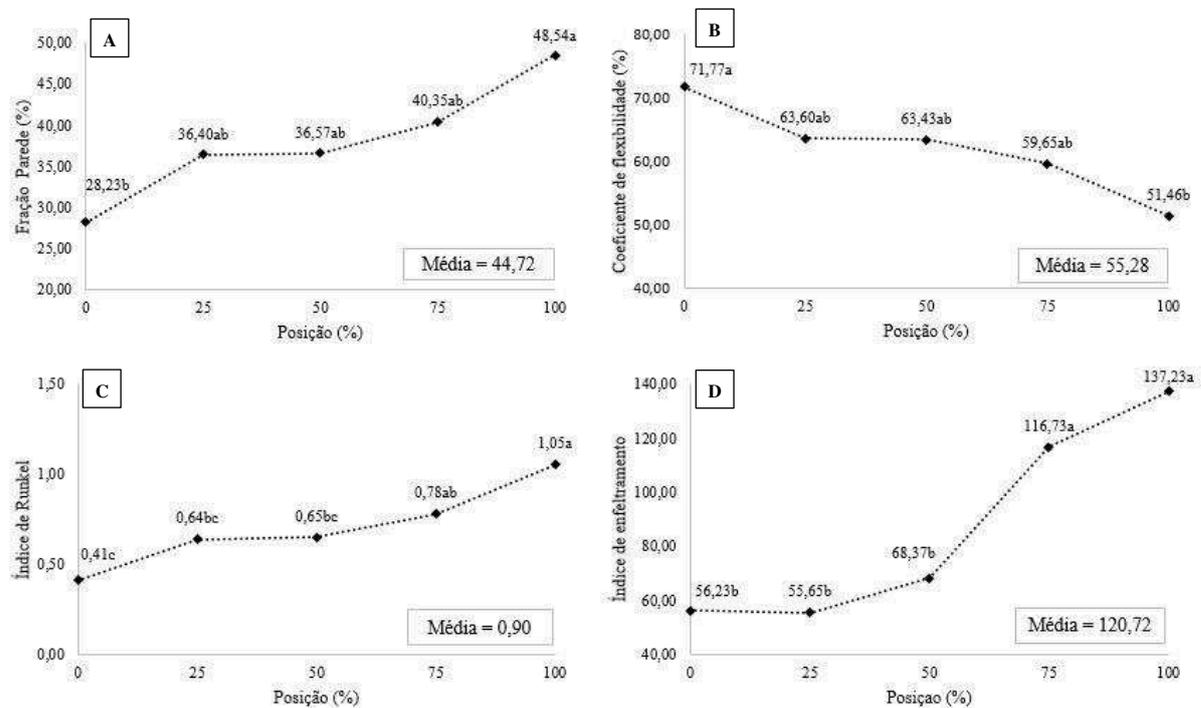
Para a espécie de *P. glabra* os valores médios encontrados para comprimento, largura, diâmetro do lúmen e espessura da parede, foram 3,14 mm, 27,18  $\mu\text{m}$ , 15,39  $\mu\text{m}$  e 5,89  $\mu\text{m}$ . Comparando ao estudo desenvolvido por Vivian et al. (2015), para espécie de *P. taeda*, nota-se que todas as dimensões encontradas para espécie de *P. glabra* são inferiores ao citado pelos autores. Já quando comparada com o estudo feito por Andrade (2006) é possível analisar que a média do comprimento dos traqueídeos foi superior, enquanto que a largura se apresentou

inferior, as demais medições não foram apresentadas no estudo do autor. Nigoski (2005) utilizou a espectroscopia no infravermelho próximo para determinar as características morfológicas da madeira de *P. taeda* encontrando, para árvores de 17 anos, dimensões maiores as encontradas para espécie de *P. glabra* no presente estudo.

#### 4.1.2 Parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da polpa celulósica

Na Figura 8 estão representados os valores médios encontrados para os índices de Runkel, enfieltramento, coeficiente de flexibilidade (%) e fração de parede (%) para a espécie em estudo.

Figura 8 - Parâmetros morfológicos da madeira de *Pinus glabra*. (A) Fração parede; (B) Coeficiente de flexibilidade; (C) Índice de Runkel; (D) Índice de enfieltramento.



Fonte: O autor (2017).

As médias encontradas para os parâmetros de fração parede, coeficiente de flexibilidade, índice de Runkel e índice de enfieltramento, foram de 44,72%, 55,28%, 0,90 e 120,72, respectivamente.

A fração parede encontrada para a madeira de *P. glabra* foi superior aos valores observados por Ampessan (2015) para espécie de *P. taeda* aos 19 anos (35,12%), bem como por Vivian et al (2015) também para espécie de *P. taeda* com 21 anos (32%).

A fração parede é avaliada de forma inversa ao coeficiente de flexibilidade, Nigoski (2015) ressalta que os valores médios para a fração parede de até 40% é indicada como satisfatória para celulose de qualidade e para produção de papel de embalagem, a média encontrada no presente é superior ao citado pela autora.

O coeficiente de flexibilidade é a relação entre o diâmetro do lúmen e a largura da fibra/traqueídeo, quanto maior seu valor, mais flexibilidade, dando possibilidade de maior ligação entre elas, o que aumenta a resistência a tração e ao estouro do papel (AMPSSAM, 2015).

Como já mencionado a média do coeficiente de flexibilidade encontrado neste estudo foi de 55,28%, valor este inferior ao encontrado por Ampessan (2015), que encontrou uma média de 64,88%, para *P. taeda*, 19 anos, e também inferior ao encontrado por Vivian et al. (2015), que foi de 68%, para *P. taeda* com 21 anos.

Para o índice de Runkel obteve-se média igual a 0,90. Este índice avalia o grau de colapso dos traqueídeos, onde quanto mais baixo for o índice, maior será o grau de colapso e melhor será a superfície de contato, resultando em maior resistência ao rasgo e estouro do papel (AMPESSAN, 2015).

O índice encontrado é superior aos valores citados por Ampessan (2015) e Vivian et al (2015), que observaram para o *Pinus taeda*, índice de Runkel igual a 0,63 e 0,46, respectivamente. A madeira de *P. glabra*, segundo a classificação de Caumo (2003), para o índice de Runkel se encontra no grupo III (0,50 a 1,00) – indicando que as fibras que estão nesse grupo são boas para produção de papel.

Já o índice de enfilamento, que nada mais é que a relação entre o comprimento e a largura das fibras, aponta que quanto maior for o índice maior será a flexibilidade das fibras/traqueídeos (NIGOSKI, 2005). A média encontrada no presente estudo foi de 120,72, valor este superior ao encontrado por Nigoski (2005), para espécie de *P. taeda*, 17 anos, que foi de 82,23, e também ao encontrado por Vivian et al., (2015), que foi de 86,0, aos 21 anos, e próximo ao encontrado por Ampessan (2015), que encontrou média igual a 108,97, aos 19 anos.

No entanto o valor encontrado no presente estudo é considerado alto, sendo superior ao mínimo exigido para o índice que é igual a 50, e próximo ao esperado para coníferas que é de 100. Apresentando assim boa qualidade e resistência para produção de papel (NIGOSKI, 2005).

Quanto a estatística é possível notar que todas as posições apresentaram diferenças no sentido medula-casca. Onde os parâmetros de fração parede, índice de Runkel e

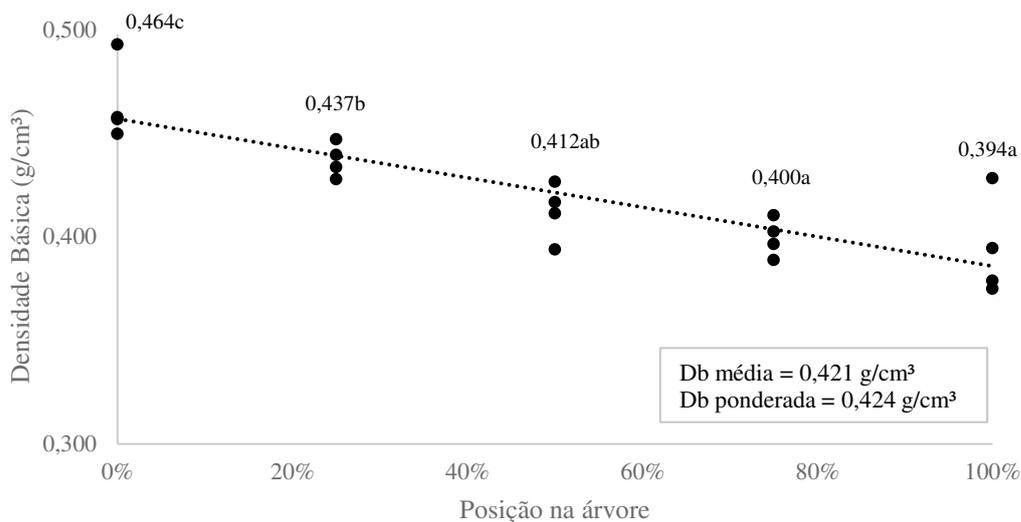
enfeltramento, aumentaram à medida que se aproximaram da casca e o coeficiente de flexibilidade diminuiu à medida que se aproximou da posição de 100%. Também é possível analisar que para todos os parâmetros as posições de 0 e 100% diferiram estatisticamente.

## 4.2 PROPRIEDADES FÍSICAS

### 4.2.1 Densidade básica

Na Figura 9 é possível observar a variação da densidade básica da madeira de *P. glabra* no sentido longitudinal base-topo, bem como o valor médio e ponderado.

Figura 9 - Densidade básica da madeira de *P. glabra* em diferentes posições.



Fonte: O autor (2017).

A densidade básica média para a espécie foi de 0,421 g/cm<sup>3</sup>, já a ponderação da densidade em função da altura e diâmetros dos discos correspondeu a 0,424 g/cm<sup>3</sup>, não diferindo assim da média.

É possível notar que a densidade decresce no sentido base – topo, para Siqueira (2004) este comportamento está relacionado a fatores como presença de lenho de compressão e também o maior crescimento de lenho adulto na base e menor a medida que a árvore vai ficando mais alta, característica normal desse gênero.

A espécie demonstra densidade básica semelhante a encontrada por Santini et al. (2000), para a espécie de *Pinus taeda*, o valor encontrado pelos autores foi de 0,41 ± 0,02 g/cm<sup>3</sup>, em um povoamento de 13 anos, portanto em idade bastante inferior.

De acordo com o IBAMA (1991, apud MORI et al., 2003), baseando-se na amplitude (0,13 - 1,90 g/cm<sup>3</sup>) de variação da densidade básica em espécies florestais pode-se dizer que a madeira de *Pinus glabra* apresenta baixa densidade.

#### 4.2.2 Retratibilidade

As médias dos valores encontrados para contração da madeira da espécie de *P. glabra* podem ser analisados na Tabela 2, assim como a comparação entre as espécies de *P. glabra* e *P. taeda* quanto a contração linear, volumétrica e coeficiente de anisotropia.

Tabela 2 - Comparação da retratibilidade da madeira de *P. glabra* e *P. taeda*

Espécie	Idade	Procedência	Contração linear (%)		$\beta V$ (%)	C.A
			$\beta R$	$\beta T$		
<i>Pinus glabra</i> <sup>1</sup>	26	SC	3,91	5,69	9,19	1,46
<i>Pinus taeda</i> <sup>2</sup>	21	SC	3,55	6,89	10,36	2,04
<i>Pinus taeda</i> <sup>3</sup>	11	PR	3,85	6,77	10,56	1,85

Fonte: <sup>1</sup>Presente estudo; <sup>2</sup>CHIES (2005); <sup>3</sup>POTULSKI (2010).  $\beta R$  = Contração radial;  $\beta T$  = Contração tangencial;  $\beta V$  = Contração volumétrica; C.A. = Coeficiente de anisotropia.

É possível observar que a média da contração tangencial (5,69%), é maior que a média da contração radial (3,91%), entrando assim em concordância com a literatura, onde a contração tangencial é sempre maior que a radial, podendo atingir até o dobro dos valores encontrados na contração radial (REMADE, 2001). Enquanto que a média da contração volumétrica apresentou valor igual a 9,19%, representando assim a contração total que ocorreu após a variação higroscópica.

Quanto ao coeficiente de anisotropia o valor encontrado foi de 1,46; o que segundo Moreschi (2005) classifica a madeira como excelente, podendo ser utilizada para materiais que necessitem de estabilidade dimensional. Loiola (2015) ressalta que valores baixos de anisotropia predizem baixa incidência de defeitos quanto ao processo de secagem da madeira.

Quando comparado os valores referentes a contração linear (radial e tangencial), contração volumétrica e coeficiente de anisotropia com outros autores é possível notar que os valores encontrados para a espécie de *Pinus glabra*, embora próximos do encontrado por Chies (2005) e Potulski (2010), são inferiores aos valores para a espécie de *P. taeda*, com exceção da contração radial.

As diferenças encontradas são consideradas comuns, pois são modificadas de acordo com a porcentagem de lenho juvenil e adulto encontrado em cada espécie tal como as

diferenças anatômicas nas mesmas, que acabam afetando as propriedades físicas e de resistência da madeira (MUNIZ, 1993).

### 4.3 PROPRIEDADES QUÍMICAS

#### 4.3.1 Composição química da madeira de *Pinus glabra*

Os valores encontrados referentes a caracterização química da madeira de *P. glabra* podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 - Caracterização química da madeira de *P. glabra*

Parâmetro	Média (%)	CV (%)
Teor de cinzas	0,25	9,58
Teor de extrativos	1,91	21,07
Teor de lignina Klason	29,93	0,64
Holocelulose	67,91	0,50

Fonte: O autor (2017). CV = coeficiente de variação

O teor de cinzas encontrado para a espécie corresponde a 0,25%, valor inferior ao encontrado por Balloni (2009), que foi de 0,41% para espécie de *P. taeda*, porém dentro da faixa esperada para espécies coníferas que pode variar de 0,10 a 1% (BALLONI, 2009 apud FENGEL e WEGENER, 1984).

Já o teor de extrativos encontrado para a espécie de *P. glabra* foi de 1,91%, valor este abaixo do encontrado em literatura, onde para coníferas o mesmo deve se encontrar entre 2 e 10%, os quais podem interferir diretamente na qualidade da madeira (BORTOLETTO JUNIOR, 1999).

O teor de lignina encontrado (29,93%) está dentro do valor esperado para coníferas (28 a 30%) de acordo com Klock et al. (2005). Balloni (2009) menciona que é importante conhecer as propriedades químicas para determinação do uso da madeira, onde o teor de lignina do pinus é consideravelmente alto, e sua madeira não é indicada para a celulose branqueada. O mesmo autor ainda justifica que o alto teor de lignina explica o elevado poder calorífico do gênero.

A lignina confere rigidez a parede celular, atuando como um agente cimentante de ligação entre células, tornando-as mais resistentes a tensões mecânicas e nas características de inchamento da madeira (DEL MENEZZI, 2004).

Quanto ao teor de holocelulose foi encontrado o valor de 67,91%, enquadrando-se assim, segundo Klock et al (2005), nos valores esperados para coníferas, onde a madeira pode ser constituída de 65 a 75% de holocelulose.

A Tabela 4 refere-se à comparação entre as médias da composição química entre o *P. glabra* e o *P. taeda*.

Tabela 4 - Comparação da composição química entre o *P. glabra* e o *P. taeda*.

<b>Espécie</b>	<b>Idade (anos)</b>	<b>Procedência</b>	<b>Cinzas (%)</b>	<b>Extrativos (%)</b>	<b>Lignina (%)</b>	<b>Holocelulose (%)</b>
<i>Pinus glabra</i> <sup>1</sup>	26	SC	0,25	1,91	29,93	67,91
<i>Pinus taeda</i> <sup>2</sup>	20	PR	0,23	2,40	26,55	72,73

Fonte: <sup>1</sup>Presente estudo; <sup>2</sup>ANDRADE (2006);

É possível observar que o teor de cinzas para *P. glabra* é maior quando comparado ao resultado encontrado por Andrade (2006), para a madeira de *P. taeda* de 20 anos, já para os extrativos totais, o valor encontrado por Andrade (2006), 2,40%, foi maior, apesar das médias de teor de cinzas e extrativos se aproximarem as diferenças podem ser decorrentes da idade, condições ambientais e também localização geográfica das espécies em questão (KLOCK, 2000).

Em relação a lignina o *P. glabra* apresenta maior teor, com 29,93%, enquanto que o estudo feito por Andrade (2006) aponta uma porcentagem de 26,55%, para Coelho (2017), a porcentagem de lignina presente na composição química da madeira é consequência de fatores como origem, condições de plantio, entre outros fatores.

Quanto ao teor de holocelulose foi encontrado o valor de 67,91%, valor este inferior ao encontrado por Andrade (2006) para espécie de *P. taeda*, que foi de 72,73% para idade de 20 anos. Bortoletto Junior (1999) também encontrou uma maior porcentagem quanto ao teor de holocelulose, 69,60%, para a madeira de *P. taeda* com 23 anos, tal fato pode ser justificado pelas condições de sitio, onde quanto maior o ritmo de crescimento da madeira, menores os teores de holocelulose encontrados (ANDRADE, 2006).

#### 4.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS

##### 4.4.1 Flexão estática, compressão paralela e cisalhamento

Na Tabela 5 estão expressos os valores mínimos, médios e máximos, bem como o desvio padrão e coeficiente de variação referentes aos ensaios de flexão estática (MOE e MOR), compressão paralela e cisalhamento, para a espécie de *Pinus glabra*.

Tabela 5 - Valores referentes aos ensaios de flexão estática (MOE e MOR), compressão paralela e cisalhamento para espécie de *Pinus glabra*

	Flexão estática		Compressão Paralela	Cisalhamento
	MOE	MOR	RM	RM
Mínimo (MPa)	2124,60	14,46	18,00	7,39
Médio (MPa)	5526,62	62,45	34,38	10,12
Máximo (MPa)	12342,56	99,92	48,57	13,58
Desvio Padrão	3429,23	23,78	8,69	1,33
CV (%)	62,05	38,08	25,26	13,12

Fonte: O autor (2017). MOE = módulo de elasticidade; MOR = módulo de ruptura; RM = resistência máxima; CV (%) = coeficiente de variação.

A partir destes valores é possível comparar os valores médios de cada teste com os valores encontrados na literatura para espécie de *P. glabra* e também para a espécie de *P. taeda* que como já mencionado neste estudo, é a conífera de maior uso no cenário brasileiro (Tabela 6).

Tabela 6 - Quadro comparativo das propriedades mecânicas (flexão estática, compressão paralela e cisalhamento) entre a espécie do presente estudo (*P. glabra*) e a espécie de *P. taeda*.

Espécie	Idade (anos)	Procedência	Flexão estática		Compressão paralela	Cisalhamento
			MOE	MOR	RM	RM
MPa						
<i>P. glabra</i> <sup>1</sup>	26	SC	5526,62	62,45	34,38	10,12
<i>P. glabra</i> <sup>2</sup>	-	-	9690,00	71,00	-	-
<i>P. taeda</i> <sup>3</sup>	-	RJ	13150,00	-	-	-
<i>P. taeda</i> <sup>4</sup>	12 a 20	SP	13225,30	83,80	44,40	12,90
<i>P. taeda</i> <sup>5</sup>	30	PR	12198,08	77,48	42,76	-
<i>P. taeda</i> <sup>6</sup>	11	PR	7025,10	60,59	24,80	9,38
<i>P. taeda</i> <sup>7</sup>	13	PR	5840,94	54,52	28,54	8,53
<i>P. taeda</i> <sup>8</sup>	25	SC	6329,60	49,00	-	11,90

Fonte: <sup>1</sup>Presente estudo (2017); <sup>2</sup>THE WOOD DATABASE (2016); <sup>3</sup>OLIVEIRA et al. (2003); <sup>4</sup>BORTOLETTO JUNIOR e LAHR (2003); <sup>5</sup>MUNIZ (1993); <sup>6</sup>KLOCK (2000); <sup>7</sup>SANTINI et al. (2000); <sup>8</sup>MELCHIORETTO e ELEOTÉRIO (2003);

Tanto as médias encontradas para MOE (5526,62 MPa) como para MOR (62,45 MPa) na flexão estática, demonstram valores abaixo dos relatados na literatura quando comparados a mesma espécie, bem como para o *P. taeda*.

Oliveira et al. (2003) estudando a madeira de *P. taeda* encontraram para o MOE na flexão estática um valor de 57,97% superior ao encontrado para a espécie de *P. glabra* do presente estudo. Bortoletto Junior e Lahr (2003) encontraram valores para MOE e MOR, 58,21% e 25,41% superiores, respectivamente. O mesmo ocorre nos estudos realizados por Muniz (1993), que encontrou valor para MOE 54,69% superior e para MOR 19,39% superior a espécie do presente estudo.

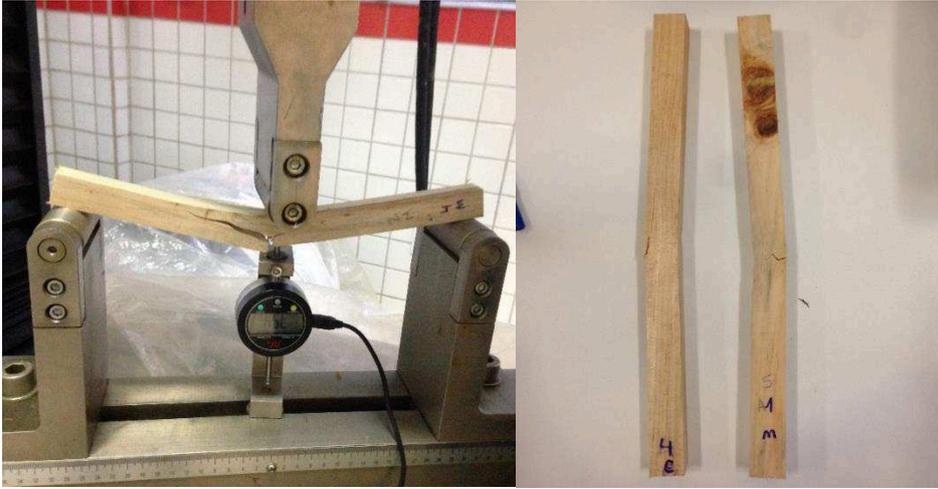
No entanto Klock (2000) e Santini (2000), encontraram valores bastante aproximados, sendo que o estudo realizado por Klock (2000) observou-se 21,33% superior para o MOE e 3,02% inferior para o MOR, em comparação ao presente estudo. Santini (2000) encontrou também valores bastante aproximados de MOE, sendo apenas 5,38% superior ao *P. glabra*, quanto ao valor de MOR o autor encontrou valor 12,65% inferior ao encontrado para espécie do presente estudo.

Melchiorretto e Eleotério (2003) encontraram para espécie de *P. taeda* valores aproximados ao encontrado no presente estudo, sendo estes com idades aproximadas, e no mesmo estado, apontando então MOE 12,68% superior e MOR 21,53% inferior ao encontrado para espécie de *P. glabra*.

As diferenças são comuns e dependem das intervenções silviculturais, tal como manejo aplicado na área e diferença de clima de uma região para outra, variando entre espécies e dentro a mesma espécie. Deve-se levar em consideração a madeira avaliada, onde nos estudos mencionados acima, foram realizados em madeiras provenientes de plantios manejados, tal como madeira com ausência de defeitos nas peças. Já a madeira de *P. glabra* foi obtida de plantio sem registros de manejo e algumas de suas peças apresentavam nodosidade, o que pode ter contribuído para redução da sua resistência mecânica (SANTINI et al. 2000).

Na Figura 10, é possível observar os corpos de prova após terem sido submetidos ao teste de flexão estática.

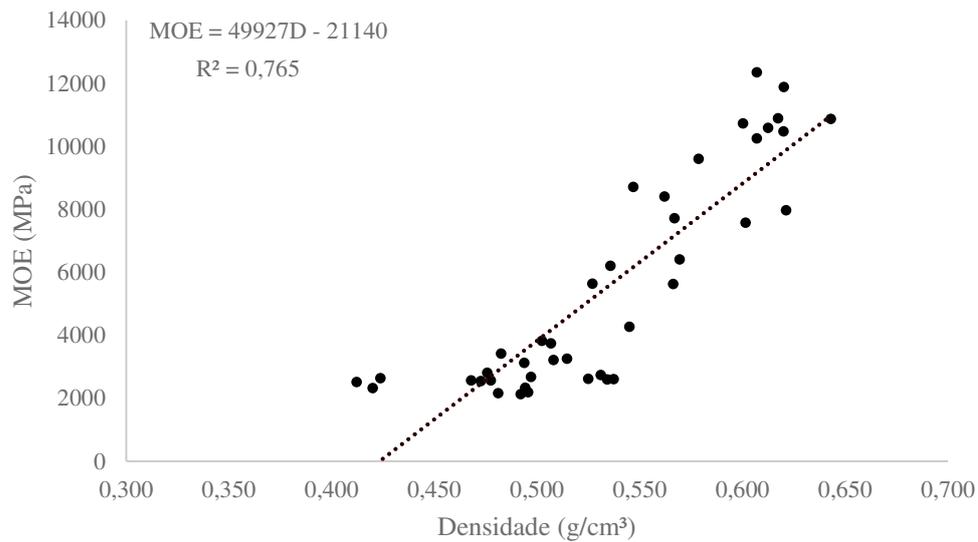
Figura 10 - Corpos de prova após teste de flexão estática.



Fonte: O autor (2017).

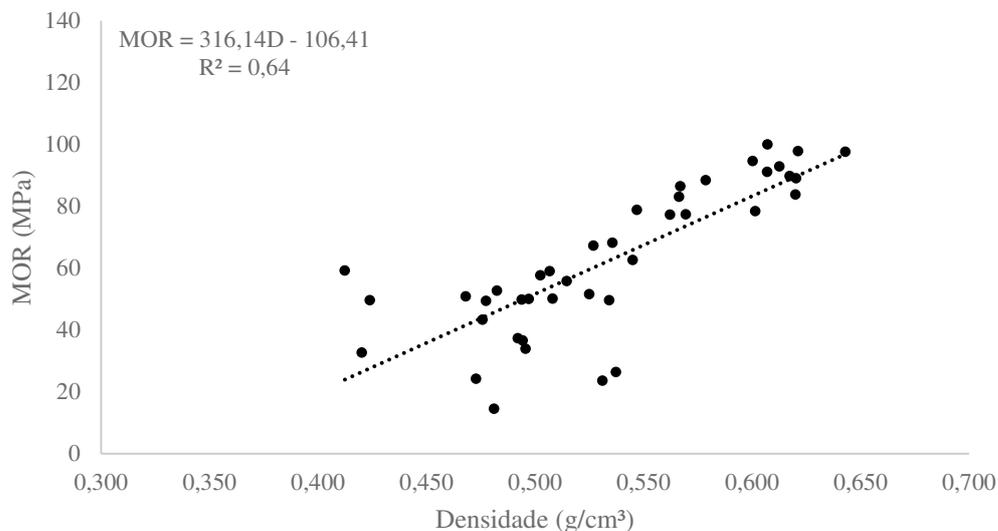
Nas Figuras 11 e 12 é possível observar as equações de regressão ajustadas, para a estimativa de MOE e MOR na flexão estática em relação a densidade da madeira de *P. glabra*. De acordo com as figuras nota-se que tanto o MOE como o MOR, aumentaram na mesma proporção em que a densidade dos corpos de prova aumentou.

Figura 11 – Regressão linear relacionado a massa especifica aparente dos corpos de prova e o modulo de elasticidade (MOE).



Fonte: O autor (2017).

Figura 12 - Regressão linear relacionado a massa especifica aparente dos corpos de prova e o modulo de ruptura (MOR)



Fonte: O autor (2017).

Quanto ao coeficiente de determinação ( $R^2$ ), nota-se que os dados obtidos para MOE apresentam melhor relação com a densidade, onde o seu valor foi de 0,76, enquanto que o  $R^2$  para MOR apresentou valor igual a 0,64, Ballarin e Palma (2003) encontraram para madeira adulta de *P. taeda* (37 anos) um coeficiente de determinação de 0,55 para MOE e 0,44 para MOR. Os valores encontrados no presente estudo são superiores, 39,1% para MOE e 44,9% para MOR, ao encontrado por Ballarin e Palma (2003), porém apresentam a mesma linha de tendência dos dados.

Para o teste de compressão paralela o valor médio para resistência máxima obtido foi de 34,38 MPa, valor este 22,56% e 19,59% inferior ao encontrado por Bortoletto Junior e Lahr (2003) e Muniz (1993), respectivamente, para *P. taeda*. Já Klock (2000), também para espécie de *P. taeda*, encontrou o valor de 24,80 MPa, valor este 27,86% inferior ao encontrado para espécie de *P. glabra*.

Santini et al. (2000) encontraram em seu estudo, onde comparava as espécies de *P. taeda*, *Araucaria angustifolia* e *P. elliottii*, resistência máxima igual a 291 kgf/cm<sup>2</sup> (28,54 MPa) para espécie de *P. taeda*, onde as outras duas espécies não diferiram estatisticamente.

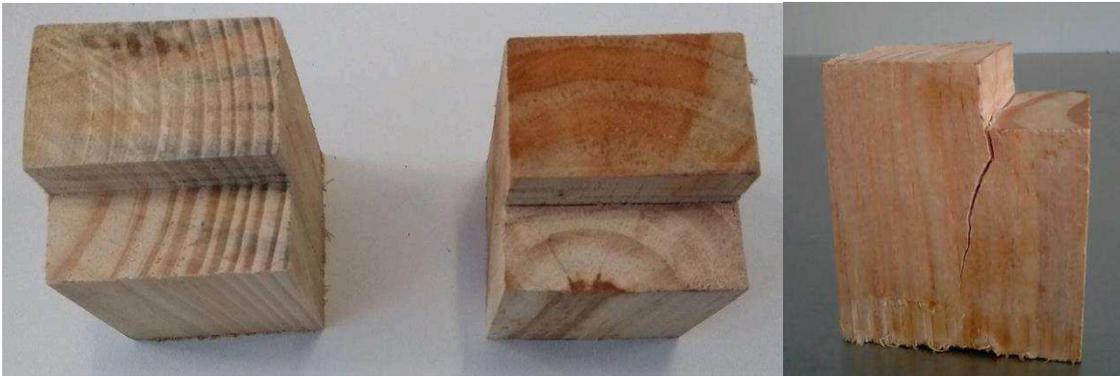
Os valores encontrados por Santini et al. (2000) e Klock (2000) para compressão paralela são bastante semelhantes, porém apresentam idades inferiores à da espécie do presente estudo, enquanto que os valores encontrados por Muniz (1993) e Bortoletto Junior e Lahr (2003) diferem consideravelmente dos outros dois autores, porém se aproximam dos

valores encontrados para *P. glabra*, o que pode estar relacionado a idade dos plantios em questão, já que possuem idades aproximadas.

Outros fatores podem acarretar diferenças entre a resistência máxima das espécies, tal como a porcentagem de lenho juvenil, massa específica, nodosidade, proximidade a medula e também a umidade em que o a madeira se encontra (MUNIZ, 1993).

Para a propriedade mecânica de cisalhamento, foram feitos testes nos sentidos perpendicular e tangencial aos anéis de crescimento (Figura 13), a partir daí obteve-se a média para os dois sentidos da madeira que foi de 10,12 MPa.

Figura 13 - Teste realizado nas direções perpendicular e tangencial aos anéis de crescimento



Fonte: O autor (2017).

Melchiorretto e Eleotério (2003) em seu estudo encontraram resistência de 11,9 MPa para espécie de *P. taeda*, enquanto que Bortoletto Junior e Lahr (2003) encontraram o valor de resistência de 12,9 MPa. Quando comparadas as médias encontradas no presente estudo e para os dois autores mencionados, nota-se que o *P. glabra* apresenta média muito próxima ao encontrado pelos autores, sendo inferior 14,96% do primeiro autor, e 21,55% para o segundo.

Já quando comparado com os estudos feitos por Klock (2000) e Santini et al (2000), o *P. glabra* apresenta-se 7,88% e 18,64%, respectivamente, mais resistente que a espécie de *P. taeda*. Alguns fatores devem ser levados em conta, como a idade dos povoamentos, já que os estudos feitos por Klock (2000) e Santini et al. (2000) são de madeiras muito mais jovens, e como Santini et al (2000) mesmo propõe em seu estudo, isso pode apresentar diferenças elevadas para madeiras maduras.

De acordo com Santos (2016), fatores como a presença ou não de defeitos na madeira podem afetar significativamente os resultados, tal como a diferença anatômica no sentido de aplicação da carga, o que justifica as diferenças encontradas quando se comparara a espécie do presente estudo com as demais encontradas na literatura.



## 5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no estudo de caracterização da madeira de *P. glabra* é possível concluir que:

- Os parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da madeira para produção de papel, indicam boa qualidade para este fim, assemelhando-se aos valores encontrados para *P. taeda* na literatura;

- A densidade básica média (0,421 g/cm<sup>3</sup>) e ponderada (0,424 g/cm<sup>3</sup>) da espécie permitem classificá-la como leve (baixa densidade), sendo semelhante a encontrada para o *P. taeda*;

- A espécie apresenta madeira de excelente qualidade e estabilidade dimensional, sendo indicada para construção civil leve, com um coeficiente de anisotropia baixo (1,46), semelhante aos valores encontrados na literatura para o *P. taeda*;

- A espécie apresenta baixos teores de cinzas (0,25%) e extrativos (1,91%), e valores similares a literatura para os teores de lignina (29,93%) e holocelulose (67,91%), dentro do esperado para espécies de coníferas;

- A espécie apresenta madeira com menor resistência mecânica (Flexão estática: MOE de 5552,62 MPa e MOR de 62,45 MPa; Compressão paralela de 34,38 MPa; Cisalhamento de 10,12 MPa) quando compara com os valores citados na literatura para o *P. taeda*, a elevada presença de defeitos, tais como os nós podem ter contribuído para este resultado.

De modo geral a madeira de *P. glabra* apresenta grande potencial de uso, se destacando quanto a sua estabilidade, considerada excelente nesse quesito, podendo ser destinada para construção civil leve e movelaria. Aliado a isso, apresenta densidade compatível as espécies mais utilizadas para este fim. Outro ponto positivo é o baixo teor de extrativos e cinzas, que beneficiam o seu processamento mecânico, de polpação e queima. Entretanto deve-se ter cuidado com usos que necessitem de elevada resistência mecânica.



## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. S. de. **Qualidade da Madeira, Celulose e Papel em *Pinus taeda* L.: Influência da Idade e Classe de Produtividade**. 2006. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- AMPESSAN, C. G. M. **Idade da madeira na qualidade de polpa e do papel**. 2015. 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Estadual de Santa Catarina, Lages, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11941: Madeira: Determinação da Densidade Básica**. Rio de Janeiro, 2003. 6p.
- BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.3, p.371-380, 2003.
- BALLONI, C. J. V. **Caracterização Física e Química da Madeira de *Pinus elliottii***. 2009. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Itapeva, 2009.
- BORTOLETTO JUNIOR, G. **Estudo da qualidade da madeira de *Pinus taeda* l. proveniente de árvores adultas atingidas por incêndio florestal**. 1999. 190f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.
- BORTOLETTO JUNIOR, G; LAHR, F. A. R. Aplicação da madeira de Pinus na construção Civil. **Madeira: arquitetura e engenharia**, n. 2, p. 13-18, 2000.
- BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154p.
- CARREIRA, M. R; DIAS, A. A. Avaliação da Rigidez á flexão de toras de madeira por meio de vibração transversal. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**. São Carlos, v. 11, n. 53, p. 75-79, 2009.
- CAUMO, M. **La raffinazione**. Verona: 10° Corso di Tecnologia per Tecnicicartari Edizione 2002/2003. 47p.
- CARVALHO, H. G; OLIVEIRA, R. C; GORNIDE, J. L; COLODETTE, J. L. **Efeito da idade de corte da madeira e de variáveis de refino nas propriedades da celulose kraft branqueada de eucalipto**. Congresso Anual de Celulose e Papel. São Paulo, p. 367-381, 1998.
- CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- CODER, K.D; CARE, H. *Pinus glabra*. **Spruce pine**. Warnellschool of forestry and natural recuses, 2011. Georgia. 3p. (Tradução nossa).

COELHO, M. U. **Avaliação tecnológica da madeira de *Pinus maximinoi* visando sua utilização industrial na produção de celulose kraft.** 2017. 94f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

COMISSION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Maderas: método de determinación de flexión estática. 30: 1- 006. COPANT, 1972.

COMISSION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Maderas: método de determinación de lacompresión axial, o paralela al grano. 30: 1- 008. COPANT, 1971.

COMISSION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Maderas: método de determinación de la dureza, 30:1-009. COPANT, 1973.

DEL MENEZZI, C. H. S. **Estabilização dimensional por meio do tratamento térmico e seus efeitos sobre as propriedades de painéis de partículas orientadas (OSB).** 2004. 242f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

GILMAN, E. F; WATSON, D. *Pinus glabra*. Spruce pine. **Forest Service**, 1994. Florida. 3p. (Tradução nossa).

GONÇALVES, F. G; OLIVEIRA, J. T. S; DELLA LUCIA, R. M; SARTÓRIO, R. C. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.3, p.501-509, 2009.

HARA, M. M. **Proposta de método de ensaio para determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras de madeiras mediante esforço induzido por pulcionamento do corpo de prova.** 2011. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* h. E. Moore.** 2000. 321f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

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

LOIOLA, P. L. **Secagem da madeira de teca (*Tectona Grandis L. F*) sob diferentes condições.** 2015. 222f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

MELO, J. E. **Sistemas estruturais em madeira.** Universidade de Brasília, Departamento de tecnologia. Brasília, 2013.

MELCHIORETTO, D. ELEOTÉRIO, J. R. Caracterização, classificação e comparação da madeira de *Pinus patula*, *P. elliottii* e *P. taeda* através de suas propriedades físicas e mecânicas.2003. In: CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 18., 2003, Blumenau. **Anais...** Blumenau: FURB, 2003. 5p.

MORI, C. L. S. O.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M. Caracterização da Madeira de Angico-Vermelho (*Anadenanthera Peregrina* (Benth) Speng) para Confecção de Móveis. **Revista Brasil Florestal**. Brasília, n. 77, p. 2936, 2003.

MUNIZ, G. I. B. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** 1993. 235f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira.** Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Curitiba –PR, 2014

NIGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L.** 2005. 160f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

OLIVEIRA, F. G. R; CANDIAN, M; LUCCHETTE, F. F; CALIL JUNIOR, C; SALES, A. **Avaliação de propriedades mecânicas de madeira por meio de ultra-som.** Rio de Janeiro, 2003.

OLIVEIRA, J. T. S; TOMAZELLO FILHO, M; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 34, n. 5, p. 929-936, 2010.

PAULA, J. E. Caracterização anatômica da madeira de sete espécies Amazônicas com vistas à produção de energia e papel. **Acta Amazonica**, Manaus, v.33, n.2, p. 243-262, 2003.

POTULSKI, D. C. **Densidade e retratibilidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore e *Pinus taeda* L.** 2010. 49f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

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. Florianópolis, 2007.

REVISTA DA MADEIRA. **A retratibilidade da madeira.** 2001. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=26&subject](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=26&subject)>. Acesso em: 05 dez. 2017.

REVISTA DA MADEIRA. **Pinus.** 2009. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=1381&subject=Pinus&title=Indica%20E7%F5es%20para%20escolha%20de%20esp%E9cies%20de%20pinus](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1381&subject=Pinus&title=Indica%20E7%F5es%20para%20escolha%20de%20esp%E9cies%20de%20pinus)>. Acesso em: 05 dez. 2017.

REZENDE, M. A; SAGLIETTI, J. R. C; GUERRINI, I. A. Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade. **IPEF**, Botucatu – SP, n. 48/49, p. 133-141, 1995.

REZENDE, M. A; SEVERO, E. T. D; QUINTAVA, I. R. Estudo das variações da massa específica em *Pinus oocarpa* através da técnica de atenuação da radiação gama. **Revista Floresta**, v. 29, n. 1/2, p. 67-84, 1999.

SANTINI, E. J; HASELEIN, C. R; GATTO, D. A. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.10, n.1, p.85-93, 2000.

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. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SANTOS, C. V. F. **Método de ensaio para a determinação da resistência ao cisalhamento em elementos estruturais da madeira de *Pinus* spp.** 2016. 82f. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

SHIMIZU, J. Y; HIGA, A. R. **Comportamento de procedências de *Pinus glabra* Want. em relação ao *P. elliottii* Engelm. em Irati, PR.** EMBRAPA. Curitiba –PR, 1980. 7p.

SHIMIZU, J. Y. **Pinus na silvicultura brasileira**. Embrapa Florestas. Colombo –PR, 2008.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; KEINERT JÚNIOR, S.; MATOS, J. L. M de. Influência da idade e da posição radial na massa específica básica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 1, p. 13-22, 2004.

SIQUEIRA, K. P. **Variabilidade da massa específica de *Pinus taeda*. Em diferentes classes de sítio**. 2004. 54f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

THE WOOD DATABASE. **Spruce Pine**. S.d. Disponível em: <<http://www.wood-database.com/lumber-identification/softwoods/spruce-pine/>>. Acesso em: 19 abr. 2016. (Tradução nossa).

TRIANOSKI, R; MATOS, J. L. M; IWAKIRI, S; PRATA, J. G. Avaliação das propriedades mecânicas da madeira de espécies de pinus tropicais. **Scientias Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 21-28, 2014.

VIVIAN, M. A. **Propriedades tecnológicas da madeira de Canafítula (*Peltophorumdubium* (Spreng.) Taub.)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria –RS, 2009.

VIVIAN, M. A; SEGURA, T. E. S; BONFATTI JUNIOR, E. A. et al. Qualidade das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus sylvestris* para a produção de polpa celulósica kraft. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 48, n. 105, p.183-191, 2015.