

Raquel Lúcia Ludwig

**QUALIDADE DA MADEIRA DE *Pinus patula* SCHLTDL. & CHAM PARA
PRODUÇÃO DE CELULOSE**

Curitiba

2018



Raquel Lúcia Ludwig

**QUALIDADE DA MADEIRA DE *Pinus patula* SCHLTDL. & CHAM PARA
PRODUÇÃO DE CELULOSE**

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

Orientadora: Profa. Dra. Karina Soares Modes

Curitibanos

2018

Ludwig, Raquel Lúcia

QUALIDADE DA MADEIRA DE *Pinus patula*. Schltdl. &
Cham PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE / Raquel Lúcia
Ludwig ; orientador, Karina Soares Modes, 2018.
44 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus
Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal,
Curitibanos, 2018.

Inclui referências.

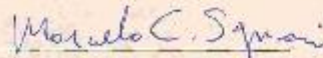
1. Engenharia Florestal. 2. Caracterização da
madeira de *P. patula*. 3. Densidade básica. 4.
Morfologia. 5. Composição química. I. Modes, Karina
Soares. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia Florestal. III. Título.

Raquel Lúcia Ludwig

**QUALIDADE DA MADEIRA DE *Pinus patula* Schltdl. & Cham. PARA PRODUÇÃO
DE CELULOSE**

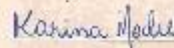
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de
"Bacharel em Engenharia Florestal" e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora

Curitiba, 26 de novembro de 2018.



Prof. Marcelo Callegari Scipioni, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



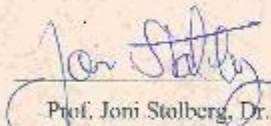
Profa. Karina Soares Modes, Dra.
Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Magnos Alan Vivian, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Joni Stolberg, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Á Deus, pela sabedoria, força e coragem para superar todos os momentos difíceis ao longo dessa caminhada.

Á Universidade Federal de Santa Catarina, pela estrutura, incentivo e recursos para que essa graduação fosse concretizada.

Aos meus pais Valdemar e Maria Elise pelo amor, incentivo e apoio incondicional, que foram os pilares que me sustentaram por estar longe de casa.

Á minha irmã Bianca por toda amizade, companheirismo e força em todos os momentos.

Á toda minha família, em especial aos meus avós Antenor e Ilse, por todo apoio e auxílio durante toda a trajetória acadêmica.

Á minha orientadora Prof^a Dr. Karina Soares Modes por todo carinho, dedicação, ensinamentos e correções durante toda a elaboração deste trabalho.

Á minha amiga Manoela, por todas as dicas e apoio durante a realização deste trabalho e construção de uma amizade durante todos esses anos de faculdade.

As minhas amigas Ariane e Carine por toda amizade, companheirismo e por serem minha segunda família durante todos esses anos. Que essa amizade se estenda para além da faculdade.

Á empresa FRP Florestal por disponibilizar o material para que este trabalho fosse realizado.

Aos funcionários do laboratório de Bioquímica e Química Orgânica, Cláudio e Ketlin por todo auxílio durante a realização com composição química.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da madeira de *Pinus patula* para a produção de polpa e papel. Para isso, foi realizado o abate de três árvores de 14 anos de idade, provenientes de um plantio localizado em Ponte Alta do Norte/ SC, das quais foram coletados discos da base, DAP, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial. A partir de cada disco foram confeccionadas cunhas para a determinação da densidade básica ponderada e sua variação longitudinal nas árvores. Também uma cunha por disco foi transformada em serragem em moinho tipo Willey e o material classificado em peneira de 60 mesh foi misturado gerando uma amostra composta por árvore para determinação da composição química. A caracterização anatômica da madeira se deu a partir de um disco extraído da posição da base de cada árvore amostrada, e levou em consideração a variação radial das características de morfológicas de traqueídes, tais como comprimento, espessura de parede, diâmetro de lume e largura, bem como a determinação dos índices de qualidade dos mesmos para produção de polpa celulósica. Os resultados obtidos para a densidade básica ponderada da madeira ($0,365\text{g.cm}^{-3}$) foram baixos quando comparados com outras espécies de mesmo gênero. Quanto à morfologia dos traqueídes, observou-se comprimento médio de 2,37 mm; espessura da parede de 5,49 μm ; largura de 40,32 μm e diâmetro do lume de 29,09 μm , os quais apresentaram qualidade muito boa para a produção de papel, com base nos coeficientes indicativos de qualidade enquadrando a espécie nos valores encontrados para espécies mais utilizadas nesse segmento. A composição química demonstrou elevados teores de extrativos (6,24%) e holocelulose (70,76%), porém baixos teores de lignina (25,06%) e cinzas (0,27%), características ainda pouco conhecidas sobre a espécie em estudo para o processo de formação de polpa e papel. Comparando a espécie *P. patula* com as principais espécies do gênero *Pinus*, esta ainda apresenta limitações para o processo de produção de polpa e papel, porém demonstra características positivas para este ramo, que devem ser levadas em consideração em estudos mais avançados sobre a espécie, diversificando sua utilização.

Palavras-chave: Polpa celulósica. Papel. Densidade básica. Composição química.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the quality of *Pinus patula* wood for pulp and paper production. In order to do so, three 14 - year - old trees were planted at Ponte Alta do Norte/SC, from which 25, 50, 75 and 100% commercial height discs were collected. From each disk wedges were constructed to determine the weighted basic density and its longitudinal variation in the trees. Also a wedge per disk was transformed into sawdust in Willey mill and the material classified in 60 mesh sieve was mixed generating a sample composed of tree to determine the chemical composition. The anatomical characterization of the wood was based on a disk extracted from the base position of each sampled tree and took into consideration the radial variation of the tracheid morphological characteristics, such as length, wall thickness, lumen diameter and width, as well as the determination of indices of quality for the production of cellulosic pulp. The results obtained for the weighted basic density of wood ($0,365\text{g.cm}^{-3}$) were low when compared to other species of the same genus. As to tracheid morphology, a length medium of 2.37 mm was observed; wall thickness of $5.49\ \mu\text{m}$; width of $40.32\ \mu\text{m}$ and diameter of $29.09\ \mu\text{m}$, which presented very good quality for the production of paper, based on the coefficients indicative of quality by fitting the species in the values found for species most used in this segment. The chemical composition presented high levels of extractives (6.24%) and holocellulose (70.76%), but low lignin (25.06%) and ashes (0.27%), characteristics not yet known by the process of formation of cellulose and paper. Comparing the species of *Pinus patula* with the main species of the genus *Pinus*, this one still presents limitations to the process of production of pulp and paper, but presenting positive characteristics for this branch, that must be taken into account in studies more advanced on the diversifying its use.

Keywords: Cellulosic pulp. Paper. Basic density. Chemical composition.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS.....	12
1.1.1	Objetivo Geral	12
1.1.2	Objetivos Específicos.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	MADEIRA DE <i>Pinus patula</i> Schltdl. & Cham.....	13
2.2	QUALIDADE DA MADEIRA PARA PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA .	14
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1	COLETA DO MATERIAL.....	18
3.2	DENSIDADE BÁSICA PONDERADA.....	19
3.3	CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA	20
3.4	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA	22
3.4.1	Teor de umidade	22
3.4.2	Teor de cinzas	23
3.4.3	Determinação do teor de extrativos totais.....	24
3.4.4	Teor de lignina de <i>Klason</i>.....	25
3.4.5	Teor de holocelulose	26
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1	DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA	27
4.2	MORFOLOGIA DOS TRAQUEÍDES	29
4.3	COMPOSIÇÃO QUÍMICA	34
5	CONCLUSÃO.....	37
6	RECOMENDAÇÕES.....	38
	REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a escassez, o maior rigor na extração e transporte de madeira procedente da exploração de florestas nativas levou a valorização cada vez maior de essências procedentes de florestas plantadas. Com este cenário aumenta a procura por espécies de rápido crescimento, plantadas e manejadas, como as do gênero *Pinus*, cujos plantios concentram-se na Região Sul do Brasil, especificamente nos Estados do Paraná e Santa Catarina (IPEF, 2006; MURARA JÚNIOR et al., 2013). O estado de Santa Catarina detém a segunda maior área com plantios de *Pinus* do Brasil, representando 34% do total de 1,6 milhões de hectares, segundo dados da Indústria Brasileira de Árvores (2017), sendo as maiores representantes do gênero no estado as espécies *P. taeda* L., seguida por *P. elliottii* Engelm.

No Brasil, o setor de árvores plantadas totalizam 7,84 milhões de hectares, e desse total 35% pertencem a empresas do setor de celulose e papel, representando 2,74 milhões de hectares. A produção de celulose atingiu 19,5 milhões de toneladas, sendo 3,7% superior ao ano anterior, colocando o país em segundo lugar entre os principais produtores mundiais de celulose. Já o segmento de papel obteve um volume de 1,9% a mais que o ano anterior, totalizando 10,5 milhões de toneladas (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2018).

A espécie *Pinus patula* Schlttdl. & Cham. em condições favoráveis ao seu desenvolvimento apresenta maior crescimento em altura do que o *P. elliottii* ou *P. taeda* e maior produtividade em madeira que o *P. taeda*. Presente em locais mais elevados como a Serra da Mantiqueira, no sudeste de Minas Gerais e nordeste do Estado de São Paulo, bem como no oeste de Santa Catarina e na região das serras do Rio Grande do Sul, caracterizando a madeira como sendo de alto rendimento industrial (EMBRAPA FLORESTAS, 2014).

As espécies de *Pinus* tropicais, como no caso do *P. patula*, de maneira geral apresentam resultados promissores para plantios em escala comercial, aumentando as opções de madeiras para os diversos fins da indústria madeireira (TRIANOSKI et al., 2013a).

Em decorrência das condições climáticas favoráveis ao plantio de espécies do mesmo gênero no estado de Santa Catarina, é importante a condução de estudo que verifiquem a qualidade da madeira que vem sendo produzida a partir de espécies de uso não tradicional e com exigência distinta quanto às condições de crescimento.

A busca por alternativas na utilização das diferentes espécies do gênero *Pinus*, visando melhor aproveitamento da madeira e valorização da sua qualidade, aumenta a

possibilidade de substituição das espécies mais empregadas no ramo industrial madeireiro, por espécies pouco conhecidas, aumentando a diversificação de produtos gerados por grandes empresas e ampliando as informações referentes á espécie.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade da madeira de *Pinus patula* Schltdl. & Cham visando a produção de polpa e papel.

1.1.2 Objetivos Específicos

Determinar a densidade básica ponderada da madeira e sua variação longitudinal;

Determinar a composição química da madeira;

Caracterizar a variação da morfologia dos traqueídes da madeira no sentido medula-casca;

Verificar os coeficientes indicativos de qualidade dos traqueídes para produção de polpa e papel;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MADEIRA DE *Pinus patula* SCHLTDL. & CHAM

A ocorrência natural do *P. patula* abrange a América Central e em específico alguns países do México, abrangendo sua distribuição para a latitude 13° a 24° N e longitude 85° 100°W. Apesar de a espécie ser pouco difundida, sua madeira tem sido muito bem sucedida nos processos industriais tanto em climas tropicais quanto subtropicais (GILLESPIE, 1992).

Segundo Pinusletter (2009) o *P. patula* é de fácil identificação comparado às demais espécies do seu gênero, possui copa arredondada, aberta, a casca de coloração marrom-avermelhado, as acículas finas e pendentes (Figura 1) com coloração verde-pálida são a principal característica de diferenciação da espécie. A altura média varia de 20 a 40 m e com diâmetros de até 1m. Apresenta grande porte, boa forma e crescimento rápido (GILLESPIE, 1992).

Figura 1 – Visualização das acículas pendentes de *Pinus patula*.



Fonte: O autor.

A sua madeira apresenta densidade básica de $0,4 \text{ g.cm}^{-3}$, considerada leve, de fácil trabalhabilidade, secagem e impregnação, adequada para processamentos mecânicos e fabricação de papel e celulose (PINUSLETTER, 2009). Quanto a sua utilização, é indicada para madeira serrada, painéis compensados, aglomerados e peças de móveis (MELCHIORETTO; ELEOTÉRIO, 2003).

2.2 QUALIDADE DA MADEIRA PARA PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA

Segundo Santos et al. (2001) a celulose, branqueada ou não, é utilizada na fabricação de vários tipos de papel, que são classificados em relação a sua finalidade. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (2017) são eles, papeis para imprimir e escrever, papel cartão, para embalagens, para fins sanitários e especiais. Já a polpa ou também chamada de pasta celulósica resultado da polpação (polpa marrom) ainda não é ideal para a produção de determinados tipos de papel, devido à coloração escura, decorrente da presença de quantidades de lignina que não foram removidas, as quais devem passar pelo processo de branqueamento.

O gênero *Pinus* é a principal conífera para produção de celulose no mundo e seu uso tem crescido positivamente nos últimos anos. A madeira é constituída por uma grande quantidade de fibras longas, apresentando traqueídes em torno de 3 e 6 mm de comprimento, que dá origem a papéis com altas resistências físico-mecânicas importantes para a indústria brasileira de papel e celulose (BASSA et al., 2007; FOELKEL, 1976).

De acordo com Klock et al. (2005) a madeira de coníferas apresenta uma estrutura relativamente simples, constituída de 90 a 95% de traqueídes axiais, que possuem em suas características células compridas e delgadas, com extremidades fechadas e levemente afiladas, variando com cada espécie. Andrade (2006) acrescenta que os raios representam de 5 a 10% da madeira de coníferas.

O conhecimento das propriedades da madeira é de fundamental importância para o estudo da qualidade, que pode ser definido como a combinação de características físicas, químicas, mecânicas e anatômicas, que levam ao seu máximo aproveitamento e as mais variadas finalidades de utilização da madeira para fins produtivos (ANTUNES, 2009; GOMIDE et al., 2010; TRANOSKI, 2012). A grande variabilidade de estruturas anatômicas na madeira em diferentes espécies, ou até mesmo dentro de um mesmo gênero, resulta em comportamento e propriedades finais diferenciadas (TRANOSKI, 2012).

Segundo Gonçalves et al. (2009) entre as propriedades físicas, a densidade básica possui importante destaque para a produção tecnológica e utilização da madeira, sendo definida como a relação de massa seca por unidade de volume saturado, relacionando-se com muitas propriedades e características tecnológicas importantes para o setor florestal (SANTOS; SANSIGOLO, 2007).

A interação entre as propriedades químicas e anatômicas da madeira pode ser descrito como característica da densidade básica (TRUGILHO et al., 1996). Sua variação afeta a produtividade e qualidade da celulose, que promove aumento nos rendimentos bruto e depurado, teor de rejeitos e na resistência ao rasgo, à medida que diminui as resistências a tração e ao arrebentamento, juntamente com o peso específico do papel (ANDRADE, 2006; ANTUNES, 2009; FOELKEL; BARRICHELLO, 1975b).

Shimoyama (1990, apud BERGER, 2000) destaca a importância da densidade básica no rendimento e no custo dos processos de produção de polpa celulósica, pois as espécies que possuem alta densidade apresentam uma maior dificuldade de manuseio, prejudica a transformação das toras em cavacos, gerando um aumento no consumo de reagentes, aumentando os custos e dificultando o processo de deslignificação na obtenção de polpa celulósica, porém o aumento da densidade faz com que se utilizem menos toras e cavacos para uma mesma quantidade de massa. Assim, a capacidade de cozimento é aumentada em massa com o aumento da densidade básica, levando a um aumento do potencial de produção da indústria (ANTUNES, 2009).

As propriedades anatômicas, segundo Antunes (2009), contribuem para a qualidade da madeira e são importantes para a determinação de seu aproveitamento tecnológico (OLIVEIRA et al., 2006). O comprimento de traqueíde, espessura da parede, diâmetro do lúmen, faz com que esses elementos tenham grande influência nas propriedades físicas e químicas da madeira, facilitando depois na indústria de papel e celulose (LIMA et al., 2007; TRIANOSKI, 2012).

Para Costa (2011) as características anatômicas como comprimento, largura, diâmetro de lume e espessura da parede celular dos traqueídes são importantes para a determinação das propriedades físico-mecânicas da polpa celulósica e papel. Traqueídes maiores garantem maior resistência à polpa celulósica e influenciam nas características de resistência do papel (MENEGAZZO, 2012; NISGOSKI, 2016; SANTOS, 2005).

A largura é outra característica importante nas propriedades do papel, traqueídes com larguras elevadas têm maior potencial de colapso e facilidade de refino, com isso, proporciona maior área de contato entre os traqueídes para a formação de papel, causando maior resistência na folha produzida (PEDRAZZI et al., 2013).

A madeira é formada basicamente por componentes químicos como holocelulose (composta por celulose e hemicelulose), lignina, extrativos e compostos inorgânicos, sendo os

últimos presentes em menores quantidades (ANDRADE, 2006; GONÇALVES et al., 2009; TRIANOSKI, 2012).

As propriedades químicas desempenham um papel importante no rendimento da polpa celulósica. A lignina e os extrativos, por exemplo, influenciam diretamente no consumo de álcali, onde se passa o processo de deslignificação e o potencial de produção industrial. Devido a estes efeitos essas propriedades são importantes para a indicação da madeira para os mais diversos usos industriais (ANTUNES, 2009; LIMA et al., 2007; TRIANOSKI, 2012).

A lignina presente na madeira confere rigidez à parede celular e atua como um composto de ligação da celulose com hemiceluloses, gerando uma estrutura resistente a impacto, compressão e dobra (MORAIS et al., 2005a).

A remoção deste elemento é o principal objetivo dos processos de obtenção de polpa celulósica e branqueamento. Pois o alto grau de lignina na madeira requer períodos maiores de cozimento e utilização de reagentes (FOELKEL; BARRICHELO, 1975b). A determinação da lignina na madeira proporciona informações para avaliação dos processos industriais, em termos de rendimento e branqueabilidade (FENGEL; WEGENER, 1989 apud TRIANOSKI, 2012).

Os extrativos presentes em pequenas quantidades na madeira são também chamados de materiais acidentais, e são responsáveis pelas propriedades sensitivas/ organolépticas, influenciando fortemente na qualidade da madeira (KLOCK et al., 2005). Para a produção de polpa celulósica, os extrativos são compostos indesejáveis, pois reduzem o rendimento e aumentam o consumo de reagentes. No entanto, na produção de energia alguns contribuem para aumentar o poder calorífico da madeira (MORAES et al., 2005b).

A celulose é o componente mais abundante da madeira, correspondendo a mais ou menos a metade da sua composição. É composto por um políssacarídeo linear de peso molecular elevado, constituído de β -D-glucose, sendo o principal constituinte da parede celular dos vegetais (KLOCK et al., 2005; FOELKEL, 1977).

O termo “celulose” pelo ponto de vista técnico, compreende um resíduo de fibras, resultado do procedimento de deslignificação parcial ou total da madeira. A separação dessas fibras, também chamado de cozimento, se dá por processos químicos que agem sobre a lignina e é conduzido por controle de temperatura, tempo e composição do licor utilizado (FOELKEL; BARRICHELO, 1975a). Essas fibras são as que conferem resistência no processo de formação da polpa e do papel, contudo podem variar quando são refinadas dependendo das quantidades elevadas de celulose e baixas de hemicelulose (SANTOS, 2005).

As hemiceluloses são polímeros, também chamados de polioses, numerosos e variam na sua estrutura, sendo encontrados juntamente com a celulose na parede celular. São constituídos por cinco açúcares: glucoses, manose e galactose (hexoses) xilose e arabinose (pentoses) (ANDRADE, 2006; FOELKEL, 1977; KLOCK et al., 2005). As hemiceluloses interferem o rendimento na produção de polpa e papel, pois afetam interações químicas entre as fibras, a água e outros produtos químicos que são degradados para a formação do papel. (SANTOS, 2005).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 COLETA DO MATERIAL

Para a realização do presente estudo foram abatidas três árvores de *P. patula*, com 14 anos de idade, provenientes de um povoamento da empresa FRP Florestal, localizada no município de Ponte Alta do Norte, SC (Figura 1). Para o corte foram selecionadas aleatoriamente árvores de boa forma florestal, que após o abate tiveram determinados com trena o DAP, altura total e comercial (Figura 2) que resultaram em valores médios de 25,5 cm, 21,4 m e 17,6 m, respectivamente. Para mensuração da altura comercial considerou-se a posição do tronco correspondente ao diâmetro na ponta fina de 8,0 cm.

Figura 1 – Localização do município de Ponte Alta do Norte – SC.



Fonte: Google Maps.

Figura 2 – Abate das árvores a campo (A); Determinação da altura total e comercial (B).



Fonte: O autor.

3.2 DENSIDADE BÁSICA PONDERADA

Para esta determinação foram amostrados discos de 3,0 cm de espessura nas posições correspondentes à base, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial e um disco adicional na posição do DAP (1,30 m) (Figura 3A). De cada disco foram extraídas duas cunhas que foram empregadas nos procedimentos de determinação da densidade básica dos discos (Figura 3B), realizados no Laboratório de Recursos Florestais I – CEDUP.

Figura 3 – Discos extraídos das posições ao longo do fuste das árvores de *P. patula* (A); Confeção das cunhas a partir dos discos (B).



Fonte: O autor.

Para a determinação da densidade básica as cunhas após confecção permaneceram imersas em água por aproximadamente 30 dias a fim de garantir a completa saturação do material. Após tiveram a casca removida e o volume saturado determinado pelo método da balança hidrostática. Na sequência foram postas para secar em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de $103^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ até massa constante para determinação da massa seca. A densidade básica de cada cunha foi determinada com auxílio da equação 1.

$$Db = \frac{Ms}{Vu} \quad (1)$$

Em que: D = Densidade básica, g/cm^3 ; Ms = Massa da madeira após secagem a $103^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$, g; Vu = Volume saturado após imersão em água, cm^3 ;

A densidade básica de cada disco foi determinada a partir da média da densidade básica das duas cunhas e por fim a densidade básica de cada torete foi determinada a partir da média aritmética da densidade básica dos discos de suas extremidades. Esses valores foram ponderados em função do volume dos toretes gerados pela extração dos discos, segundo equação 2.

$$Dbp = \frac{((Dbt (0 - 25\%) * Vt (0 - 25\%) + \dots + (Dbt (75 - 100\%) * Vt (75 - 100\%)))}{Vt ((0 - 25\%) + \dots + Vt (75 - 100\%))} \quad (2)$$

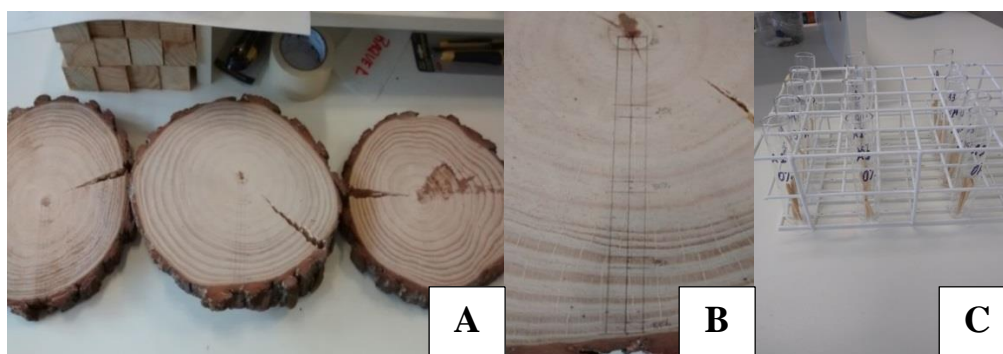
Em que: Dbp =densidade básica média ponderada da árvore, g/cm³; Dbt (0 – 25%) = densidade básica do torete entre as posições 0 – 25%; Vt (0 – 25%) = volume do torete entre as posições 0 –25%; Dbt (75 – 100%) = densidade básica do torete entre as posições 75 – 100%; Vt (75 – 100%) = volume do torete entre as posições 75 –100%;

3.3 CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA

Para este procedimento foi amostrado um disco da base de cada árvore (Figura 4A) e destes confeccionada uma bagueta radial, passando pela medula, para extração de fragmentos nas posições referentes a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% do comprimento do raio dos discos para posterior maceração (Figura 4B).

Os fragmentos foram depositados no interior de tubos de ensaio, identificados de acordo com cada posição no sentido medula-casca (Figura 4C), e adicionada uma solução contendo ácido nítrico, ácido acético e água (5: 2: 1). O material foi coberto com papel alumínio e colocado em banho-maria a aproximadamente 100°C por 1 hora, a fim de favorecer o processo de individualização dos traqueídes.

Figura 4 – Discos da base utilizados nos procedimentos de caracterização anatômica (A); Demarcação das posições de amostragem nos discos (B); Fragmentos de madeira de *P. patula* em tubos de ensaio (C).

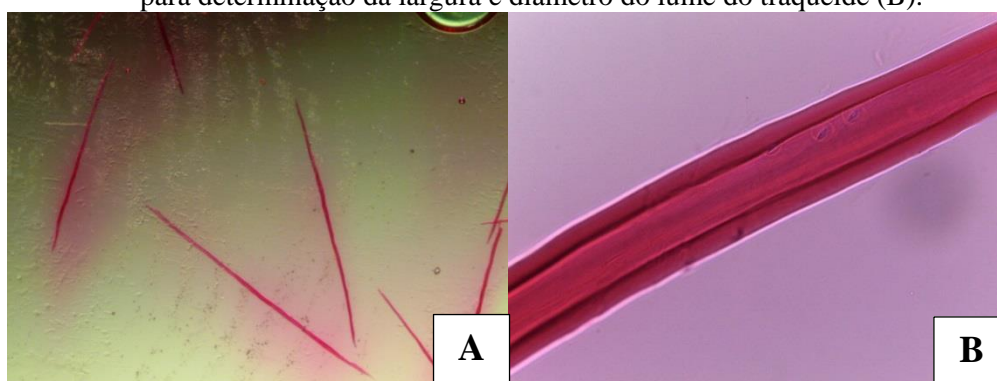


Fonte: O autor.

Após o processo de maceração o material foi lavado com água destilada para a retirada total da solução macerante, em seguida foram confeccionadas lâminas com amostras de cada posição radial, utilizando safranina 1% e glicerina. Para a obtenção das imagens utilizou-se o

software ToupView com auxílio da lupa e o *software* LAS EZ com auxílio do microscópio com câmera digital acoplada. Foram medidos para cada árvore e em cada posição do comprimento do raio dos discos 30 traqueídes, que foram determinados os parâmetros de comprimento (mm) (Figura 6A) e 25 traqueídes para a determinação da largura (μm) e diâmetro do lume (μm) (Figura 6B), totalizando 275 repetições por árvore, sendo 825 repetições no total, baseados nas normas da IAWA (IAWA COMMITTEE, 1989), utilizando um *software* específico para mensuração.

Figura 6 – Imagem captada para determinação do comprimento de traqueídes (A); Imagem captada para determinação da largura e diâmetro do lume do traqueíde (B).



Fonte: O autor.

Após a determinação dos referidos parâmetros foram calculadas: espessura de parede celular, fração parede, coeficiente de flexibilidade e Índice de Runkel para cada traqueíde, conforme as equações 3, 4, 5 e 6, respectivamente.

$$E = \left(\frac{L-DL}{2} \right) \quad (3)$$

$$FP = \left(\frac{2 \times E}{L} \right) \times 100 \quad (4)$$

$$CF = \left(\frac{DL}{L} \right) \times 100 \quad (5)$$

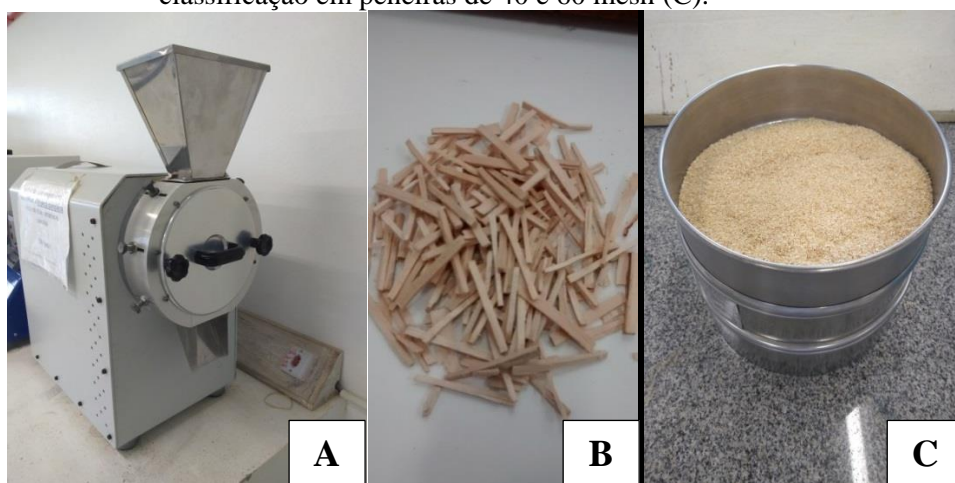
$$IR = \left(\frac{2 \times E}{DL} \right) \times 100 \quad (6)$$

Em que: E = espessura da parede celular, μm ; L = largura do traqueíde, μm ; DL = diâmetro do lume, μm ; FP = fração parede, %; CF = coeficiente de flexibilidade, %; IR = Índice de Runkel.

3.4 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

Para determinação da composição química da madeira foram extraídos discos das mesmas posições de amostragem da densidade básica (base, DAP, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial das árvores). De cada disco foram confeccionadas uma cunha e estas transformadas em cavacos (Figura 7B) e em seguida em serragem utilizando o moinho do tipo Willey (Figura 7A). A serragem resultante das cunhas extraídas em cada posição longitudinal (Figura 7C) foi misturada gerando uma amostra composta de cada árvore. Após esse processo as amostras foram classificadas em peneiras de 40 e 60 mesh, e utilizado o material retido na peneira de 60 mesh.

Figura 7 – Moinho do tipo Willey (A); Cavacos de madeira de *P. patula* (B); Serragem para classificação em peneiras de 40 e 60 mesh (C).



Fonte: O autor.

Foram realizadas triplicatas na determinação dos teores de cinzas, extrativos totais, lignina Klason e holocelulose para cada árvore, seguindo as normas estabelecidas pela Technical Association of the Pulp and Paper Industry – TAPPI (2007).

3.4.1 Teor de umidade

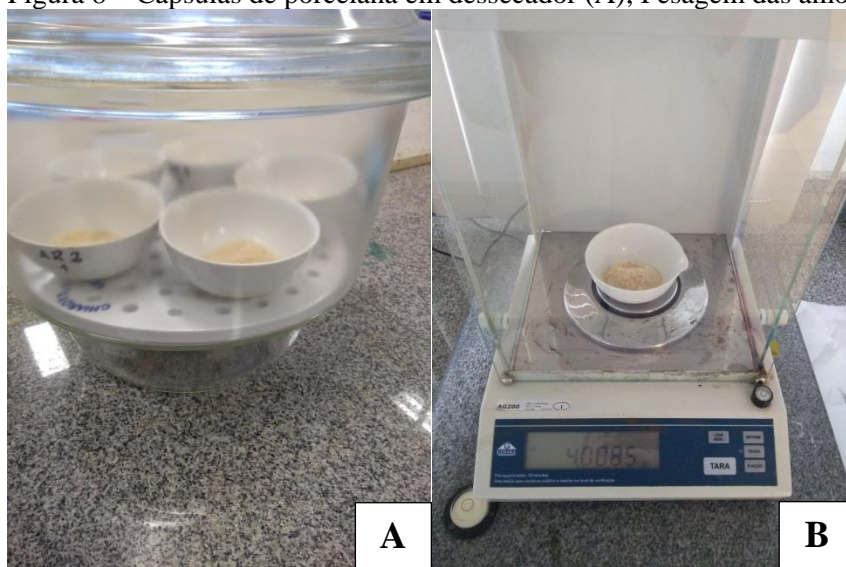
Para avaliação do teor de umidade contido nas amostras de serragem foi utilizada a metodologia da Norma NBR 8112/1986, em que o teor de umidade da madeira (TU) corresponde à relação entre a massa da água nela contida e a massa da madeira seca, de acordo com a equação 7.

$$TU (\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (7)$$

Em que: TU = Teor de umidade, %; m1 = massa inicial da madeira, g; m2 = massa de madeira seca, g;

Para esta determinação foram utilizadas 3 cápsulas de porcelana para cada árvore que foram submetidas ao aquecimento em estufa a uma temperatura de $102^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ por 60 minutos com objetivo de obter seu peso com precisão. Na sequência em cada cápsula foram depositados aproximadamente 4,0 g de amostra de madeira (m1) que foram colocadas para secagem em estufa, com a mesma temperatura até a massa constante ser atingida. Em seguida as cápsulas foram submetidas ao resfriamento em dessecador e então pesadas em balança analítica para obtenção do respectivo valor de massa seca (m2) (Figura 8).

Figura 8 – Cápsulas de porcelana em dessecador (A); Pesagem das amostras em balança analítica (B).



Fonte: O autor.

3.4.2 Teor de cinzas

O procedimento de determinação do teor de cinzas foi conduzido segundo a norma TAPPI (T211 cm – 93). Para isso cadinhos de porcelana foram mantidos em mufla, a uma temperatura de 525°C por 3 horas, para calcinação, a fim de eliminar qualquer resíduo. Os cadinhos foram colocados em dessecadores para que resfriassem e após foram pesados, adicionando-os 2 g de amostra de serragem de cada árvore absolutamente seca nos mesmos (P). Em seguida foram novamente colocados na mufla a temperatura de 525°C por

aproximadamente 3 horas para que as amostras fossem incineradas. A partir da diferença entre o peso do cadinho e o peso registrado foi determinado o peso de cinzas (PC) (Equação 8).

$$TC = \frac{PC}{P} \times 100 \quad (8)$$

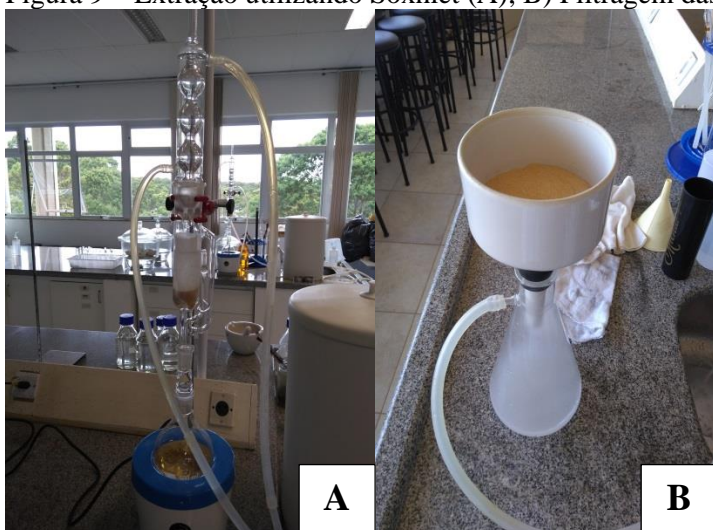
Em que: TC = Teor de cinzas, %; PC = Peso de cinzas, g; P = Peso da amostra absolutamente seca, g;

3.4.3 Determinação do teor de extrativos totais

Esse procedimento seguiu a norma TAPPI (T264 cm – 97). Foram pesados 4,0 g de amostra de serragem absolutamente seca (P1), ou seja, aquela obtida da determinação do teor de umidade, e transferidos para cartuchos de extração, que foram colocados em um extrator de Soxhlet onde permaneceram durante aproximadamente 4 horas extraindo em uma solução de 250 mL de álcool etílico e tolueno na proporção 1:2. Posteriormente extraiu-se somente em álcool etílico 95% por mais 4 horas (Figura 9A).

Após os procedimentos acima, as amostras foram lavadas e filtradas em uma bomba de vácuo contendo 300 mL de água deionizada quente (Figura 9B). 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 esse período as amostras foram lavadas e filtradas novamente em bomba de vácuo com 100 mL de água deionizada quente.

Figura 9 – Extração utilizando Soxhlet (A); B) Filtragem das amostras (B).



Fonte: O autor.

Realizada a filtragem, as mesmas foram transferidas para placas de petri já devidamente pesadas e levadas à estufa onde permaneceram por 24 horas a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Passado este período foram colocados em um dessecador para resfriamento e em seguida pesados (P2). O teor de extrativos foi calculado com auxílio da equação 9.

$$TE = \frac{P1-P2}{P1} \times 100 \quad (9)$$

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

3.4.4 Teor de lignina de *Klason*

Para a análise de lignina *Klason* seguiu-se a metodologia TAPPI (T222 cm – 98). Foi pesada 1 g de amostras livres de extrativos (P2) em béqueres e adicionaram-se 15 mL de ácido sulfúrico 72% em cada amostra. Essa mistura permaneceu em banho-maria por 2 horas à 20°C . Em seguida adicionou-se 560 mL de água deionizada nas amostras que foram novamente colocadas em banho-maria a uma temperatura de aproximadamente 90°C por 4 horas (Figura 10).

Figura 10 – Amostras em banho-maria.



Fonte: O autor.

Posteriormente as amostras foram filtradas e lavadas com 300 mL de água deionizada quente em bomba de vácuo. Em seguida foram levadas para a estufa a uma temperatura de 105°C onde permaneceram por 8 horas, após o período os recipientes foram resfriados no dessecador e pesados em balança analítica (P2). A determinação do teor de lignina se deu pela equação 10.

$$TL = \frac{P_1}{P_2} \times 100 \quad (10)$$

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

A equação anterior considera o teor de extrativos inserido no teor de lignina residual. Para isso realizou-se a correção do cálculo (Equação 11) a fim de obter o valor real da porcentagem de lignina na amostra.

$$\%Ligc = \frac{P_1}{P_2} \times (100 - TE\%) \quad (11)$$

Em que: %Ligc = Teor de lignina corrigida, %; P1 = Peso do resíduo, g; P2 = Peso inicial da amostra seca livre de extrativos, g; TE% = Teor de extrativo da amostra, %.

3.4.5 Teor de holocelulose

A determinação do teor de holocelulose foi calculada a partir da diferença do total de componentes da madeira, subtraindo os componentes calculados anteriormente (cinzas, extrativos e lignina), seguindo a equação 10.

$$Holocelulose (\%) = 100 - (TC + TE + Ligc) \quad (10)$$

Em que: TC = Teor de cinzas, %; TE = Teor de extrativos totais, %; Ligc= Teor de lignina corrigida, %;

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise dos dados de variação longitudinal da densidade básica e variação radial dos parâmetros morfológicos da madeira foi conduzida análise de variância (ANOVA) e a diferenciação entre as médias de deu pelo teste Tukey a 95% de confiabilidade, utilizando o programa SPSS “*Statistical Package for Social Science*” (versão 15.0 para Windows). A composição química compreendeu uma análise estatística descritiva.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA

Na tabela 1 estão indicados valores de densidade básica da madeira obtidos no presente estudo, bem como a comparação com as diferentes espécies do gênero *Pinus* registrados na literatura.

Tabela 1 – Comparativo da densidade básica (DB) da madeira de *Pinus patula* avaliada com espécies do gênero *Pinus* disponíveis na literatura.

Autor	Procedência	Espécie	Idade (anos)	DB (g.cm⁻³)
Presente estudo	SC	<i>P. patula</i>	14	0,365
Juizo et al. (2015)	Moçambique	<i>P. patula</i>	38	0,370
Suardi Junior (2016)	SP	<i>P. tecunumannii</i>	6,5	0,361
Tavares (2017)	PR	<i>P. patula</i>	12	0,320
Pereira (2014)	SC	<i>P. patula</i>	8	0,320
Xavier (2009)	PR	<i>P. taeda</i>	16	0,384
Mattos et al. (2011)	PR	<i>P.taeda</i>	13	0,413
Trianoski et al. (2013a)	SP	<i>P. chiapensis</i>	17-18	0,373
Vale; Rocha; Del Menezzi (2009)	DF	<i>P. caribea</i> var. <i>hondurensis</i>	13	0,507
Rezende et al. (2007)	SP	<i>P. tecunumannii</i>	14	0,433

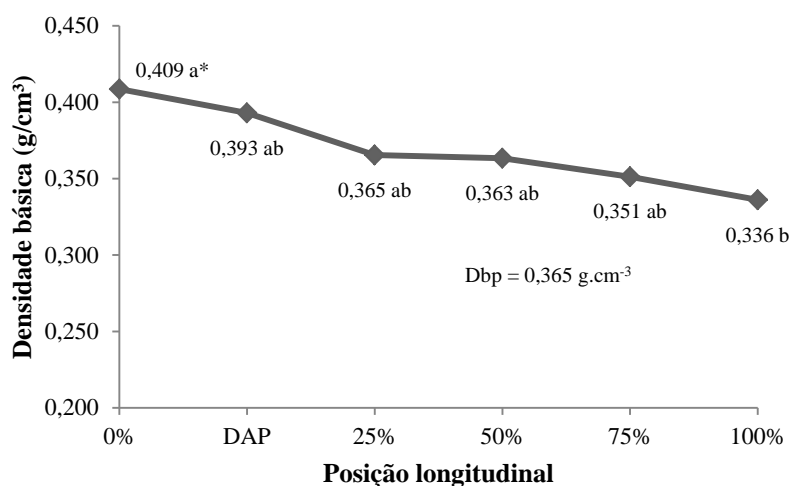
O valor encontrado para a densidade básica ponderada (0,365 g.cm⁻³) (CV=8,614%) está dentro da faixa observada para outras espécies do gênero *Pinus*, sendo mais próximo daquele registrado por Suardi Junior (2016) para a madeira de *P. tecunumannii* em idade inferior. Para a madeira da espécie *P. patula* o valor no presente estudo foi superior ao registrado no estudo de Tavares (2017) e Pereira (2014) em madeira de idade inferior, e muito próxima da verificada por Juizo et al. (2015) em idade bastante superior, procedente de Moçambique . As diferenças registradas nos referidos estudos com esta mesma espécie podem ser atribuídas às condições climáticas dos locais em que se deu o crescimento dos indivíduos.

Já levando em consideração os demais estudos com espécies de *Pinus* em idade próxima, a madeira de *P. patula* avaliada apresentou valores sempre inferiores. A densidade do plantio, fatores climáticos e interação destes com a genética da espécie, são fatores que podem influenciar na variação da densidade básica entre indivíduos de mesma espécie ou de idades diferentes. Segundo Nisgoski (2005) espécies de *P. taeda* plantadas no Brasil apresentam crescimento mais rápido, produzindo uma madeira de menor densidade

comparada com espécies cultivadas no sul dos Estados Unidos, o que elucida a influência da interação do fator genético e ambiental nessa característica.

Em relação à variação longitudinal da densidade básica (Figura 11) observa-se uma tendência de redução desta da posição basal das árvores em direção ao topo, comportamento comum em espécies de coníferas. Suardi Junior (2016) constatou esse mesmo comportamento em seu estudo, onde há o decréscimo da densidade no sentido longitudinal, em espécies de *P. taeda* com 6,5 anos de idade. Este fato é justificado por Siqueira (2004) pela maior presença de lenho de compressão e maior quantidade de lenho adulto na base das árvores em relação ao topo.

Figura 11 – Densidade básica da madeira de *P. patula* ao longo do fuste e densidade básica ponderada (Dbp) calculada para o volume comercial da espécie.



*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey a 95% de probabilidade.

O teste de média indicou diferença entre os valores de densidade básica das posições extremas do fuste da espécie (posições 0% e 100% das árvores), que não diferiram estatisticamente das posições intermediárias. Esse mesmo comportamento das médias foi registrado por Trianoski et al. (2013b) utilizando o teste de Tukey em seu estudo com as espécies *P. caribaea var. hondurensis* e *P. oocarpa* com idades entre 17 e 18 anos. Este fator se dá provavelmente pela presença de lenho de compressão, maior quantidade de lenho adulto na base das árvores e menor no topo (SIQUEIRA, 2004).

A homogeneidade presente ao longo do fuste na espécie de *P. patula* é uma característica importante para o uso da madeira, podendo estar associada à presença de lenho juvenil com densidades relativamente mais baixas (VALE et al., 2009). Segundo Trianoski et

al. (2013b) não existe um padrão definido que explique o comportamento da densidade no sentido longitudinal e, embora o decréscimo ao longo do fuste seja mais comum principalmente em coníferas, existem modelos de variação em que a densidade decresce na base e há um acréscimo no topo da árvore.

Melo et al. (2013) em estudos com *P. elliottii* verificaram a variação longitudinal da densidade básica com espécies de 14 anos, em que se observou uma redução da base ($0,370 \text{ g.cm}^{-3}$) para o topo ($0,322 \text{ g.cm}^{-3}$).

A densidade básica da madeira possui efeito direto sobre o desempenho de processos industriais, sendo eles o consumo específico de madeira e qualidade dos produtos. Com isso, tem sido a mais utilizada para monitorar e controlar a qualidade das madeiras industriais para a fabricação de celulose e papel, carvão vegetal, biomassa energética, painéis e chapas de madeira e produtos serrados, embora não deva ser a única propriedade a ser avaliada e monitorada (FOELKEL, 2015).

Segundo Foelkel (2015) fábricas brasileiras de celulose e papel utilizam madeiras com densidade básica entre $0,4$ a $0,6 \text{ g.cm}^3$, enquadrando a espécie estudada abaixo da margem mínima dessa classificação. Madeiras com densidades mais baixas, de maneira geral, favorecem a impregnação dos cavacos, necessitam carga de álcali menor em determinada temperatura e tempo de cozimento, com isso, a baixa carga de álcali proporciona uma menor solubilização dos carboidratos da madeira, resultando em maior rendimento e, sem considerar outras características da madeira, facilitam a operação de polpação. Por outro lado, densidades mais altas propiciam o processamento de maior peso de madeira no digestor, favorecendo a produção da fábrica (FANTUZZI NETO, 2012; FOELFEL, 2015).

A densidade da madeira pode também se converter em um fator de melhoria dos resultados do negócio celulósico-papeleiro, não apenas pela redução de custos de fabricação, mas de aumento de produtividade florestal, redução de áreas florestais a serem plantadas, diferenciação de produtos, inovações na rede de valor, incluindo clientes e fornecedores (FOELKEL, 2015).

4.2 MORFOLOGIA DOS TRAQUEÍDES

Na tabela 2 podem ser observados os valores referentes à caracterização anatômica dos traqueídes da madeira de *P. patula*.

Tabela 2 – Dimensões mínima, máxima e média do comprimento, espessura de parede, largura e diâmetro de lume dos traqueídes da madeira de *P. patula*.

	Dimensões			
	Comprimento (mm)	Espessura de parede (μm)	Largura (μm)	Diâmetro do lume (μm)
Mínimo	1,31	3,50	33,12	19,04
Máximo	3,74	10,03	46,89	35,21
Média	2,37	5,49	40,32	29,09
DP	0,79	1,89	4,43	4,60
CV (%)	33,33	34,43	10,99	15,81

Fonte: O autor.

Em relação às informações disponíveis na literatura com o mesmo gênero, Andrade (2006) em seu estudo com *P. taeda* encontrou valores médios de 2,41 mm para o comprimento de traqueídes em madeira de mesma idade, assemelhando-se, portanto a registrada no presente estudo. Nisgoski (2005) obteve também para *P. taeda* valores superiores ao *P. patula* do presente estudo (3,47 mm e 3,38 mm) com idades de 14 e 15 anos, respectivamente. A mesma autora relata que a grande variação do comprimento dos traqueídes na árvore e entre as árvores pode ser influenciada pela posição do fuste, densidade da população, sítio, localização geográfica e práticas silviculturais.

Já em comparação com indivíduos em idade superior observam-se valores inferiores ao registrado por Vivian et al. (2015) (3,50 mm) para a madeira de *P. taeda* aos 21 anos e de 3,10 mm para a madeira de *P. sylvestris* aos 45 anos. Importante observar em relação ao estudo de Vivian et al. (2015) a influência da espécie visto que a madeira de maior idade apresentou um comprimento de traqueídes inferior.

Quanto à espessura de parede, o valor médio registrado (5,49 μm) foi inferior ao encontrado por Trianoski (2012) (8,44 μm) em *Pinus* tropicais com idades entre 17 e 18 anos, com procedências do Paraná e São Paulo, podendo este fato estar associado à idade e ao ritmo de crescimento diferenciado. Para a espécie de *P. taeda* aos 15 anos Nisgoski (2005) encontrou em seu estudo 5,90 μm para a espessura de parede, valor próximo ao mencionado neste estudo.

Quanto à largura das fibras, a média encontrada é compatível com o verificado por Foelkel et al. (1976) em indivíduos de *P. elliotii* de mesma idade (40,62 μm) e também ao registrado por Nisgoski (2005) em indivíduos de *P. taeda* (38,94 μm) com 14 anos. Contudo, em comparação com o relatado por Trianoski (2012) o valor do presente estudo é inferior ao encontrado em *Pinus* tropicais com idades entre 17 e 18 anos (46,43 μm).

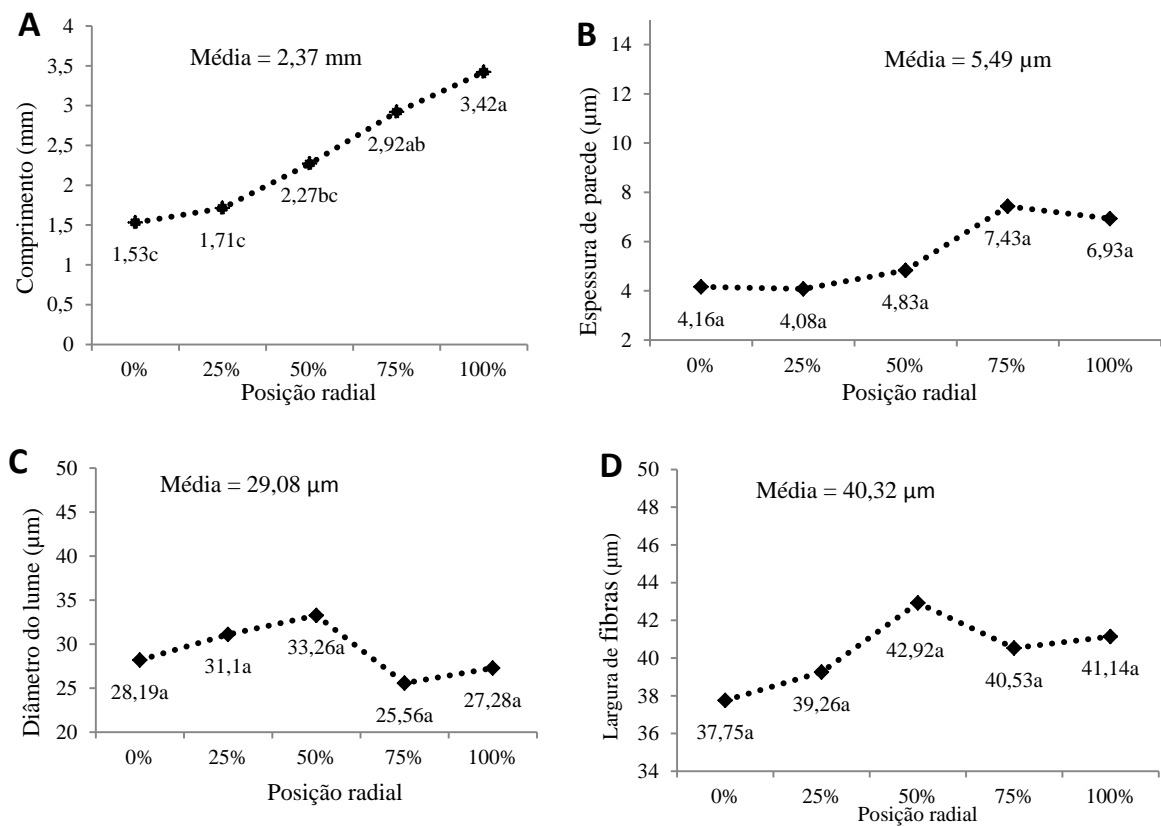
No que se refere ao diâmetro do lume dos traqueídes, foi obtido valor médio de 29,09 μm , próximo ao encontrado em um povoamento de 45 anos de *P. sylvestris* (28,15 μm) por Vivian et al. (2015), e superior ao encontrado por Foelkel et al. (1976) em *P. elliotii* (25,4 μm) com 14 anos de idade.

Traqueídes mais largos e mais curtos, com espessura de parede mais fina e com maior diâmetro de lume, possuem maior poder de permeabilidade do licor ao cozimento, facilitando também a penetração dos reagentes químicos na madeira (RIGATTO et al., 2004).

Sousa et al. (2007) para a madeira de *P. taeda* aos 13 anos observaram valores de 3,11 mm, 53,14 μm e 8,31 μm para o comprimento, diâmetro de lume e espessura de parede, respectivamente. Em árvores de *P. taeda* com 14 e 15 anos Nisgoski (2005) encontrou valores inferiores ao estudo para diâmetro de lúmen (26,80 μm e 23,36 μm) respectivamente.

Na figura 8 está descrito o comportamento radial dos parâmetros morfológicos da madeira de *P. patula* avaliada, juntamente com o teste de médias.

Figura 8 – Variação radial do comprimento (mm), espessura (μm), largura de fibras (μm) e diâmetro de lume (μm) de fibras para a madeira de *P. patula* aos 14 anos.



Em relação ao comprimento de traqueídes (Figura 8A), observa-se um aumento das médias no sentido radial, sem uma tendência de estabilização, conforme pode ser verificado pelo teste de médias. A justificativa para esta variação pode ser atribuída a presença de madeira juvenil e de transição compondo a madeira desta espécie na idade considerada, uma vez que a tendência de estabilização dos valores deste parâmetro em específico é um dos indicativos de formação de madeira adulta, formada pelo câmbio a partir de uma situação de menor influência da ação hormonal da copa.

Ballarin e Palma (2003) ao avaliar a extensão radial da madeira adulta e juvenil na espécie *P. taeda*, tomando por base o comprimento dos traqueídes axiais, observaram que na referida espécie, de mesmo gênero que a avaliada no presente estudo, a região de madeira juvenil ocorreu desde o centro da árvore até o 14º anel de crescimento, e a madeira de transição passando a ocorrer entre este e o 18º anel.

Embora deva-se levar em consideração que as condições de crescimento influenciam as características da madeira formada por determinada espécie, antecipando ou prolongando a idade de formação da madeira adulta, o estudo relatado e conduzido com a madeira de mesmo gênero pode ajudar a elucidar o comportamento de ausência de estabilização do comprimento de traqueídes entre a madeira das porções avaliadas. Pode-se, portanto atribuir este resultado ao fato das posições avaliadas para a madeira de *P. patula* aos 14 anos de idade estar supostamente englobadas no intervalo de formação da madeira juvenil, que no estudo de Ballarin e Palma (2003) se estendeu até os 14 anos.

As médias encontradas para largura de fibras (μm), diâmetro do lume (μm) e espessura de parede (μm), não diferiram estatisticamente entre as posições radiais. Segundo Trianoski (2012) a largura das fibras está associada à taxa de crescimento das árvores, em que períodos de elevado crescimento resultam em elementos celulares mais largos e com maiores diâmetros de lume. Assim, o pico registrado na posição (Figura 8D) correspondente a 50% de distância radial da medula em relação aos parâmetros citados, pode ser atribuído ao fato de que a referida posição de amostragem foi alocada em uma região correspondente a um anel de crescimento de lenho inicial em face da elevada proporção desse tipo de anel em resposta a condições favoráveis de crescimento.

Melo et al. (2013) no estudo com *P. elliottii* com idades variando de 8 a 15 anos afirmam que o aumento da espessura de parede (Figura 8B) está diretamente relacionado a maior quantidade de lenho tardio presente nos anéis de crescimento próximos a casca, conforme tendência observada no presente estudo ao longo das posições medula casca. A

espessura de parede esta diretamente correlacionada com a densidade da madeira e com o rendimento da pasta celulósica, considerando-se um bom índice de qualidade da madeira. Porém fibras com paredes mais espessas apresentam maior rigidez, não apresentando bom colapso durante a formação do papel, o que pode prejudicar a união entre as células e com isso, reduzir a resistência à tração e ao estouro, além de alta opacidade (FOELKEL; BARRICHELLO, 1975b).

Andrade (2006) em estudo com *P. taeda*, nas idades de 8, 14 e 20 anos observou o aumento do comprimento de traqueídes e redução do diâmetro do lume ao longo da distância medula-casca, e justificou esta tendência em função da maior formação de lenho tardio a medida que a árvore se desenvolve, sendo este caracterizado pela maior espessura de parede, conforme observado no presente estudo. Klock (2000) também relata em seu estudo com *Pinus maximinoi* (11 anos) que o lenho tardio se caracteriza por apresentar maiores comprimentos e menores diâmetros em relação ao lenho inicial.

Na produção de celulose e papel as dimensões dos traqueídes exercem influência direta nas variáveis do processo, principalmente no grau de refino, na qualidade da pasta e consequentemente nas propriedades físico-mecânicas do papel (TRIANOSKI, 2012).

Na Tabela 5 se encontra a média dos coeficientes indicativos de qualidade da madeira de *P. patula* para a produção de polpa e papel.

Tabela 5 – Coeficientes indicativos de qualidade da fibra de *P. patula* aos 14 anos em função da posição radial.

Indicativos	Posição radial					Média	Desvio Padrão	CV (%)
	0%	25%	50%	75%	100%			
FP (%)	23,01	21,04	23,00	37,49	35,07	27,92	8,94	32,02
CF (%)	76,99	78,96	77,00	62,51	64,93	72,08	8,94	12,40
IR	0,30	0,27	0,32	0,66	0,60	0,43	0,22	51,16

FP= Fração parede; CF= Coeficiente de flexibilidade; IR= índice de Runkel; CV= Coeficiente de variação.

De acordo com a tabela 5, observa-se o que o índice de Runkel calculado esta entre 0,25 – 0,50, enquadrando a madeira de *P. patula* aos 14 anos no grupo II conforme Vasconcelos (2005). Madeiras pertencentes a esse grupo de classificação as definem como sendo muito boa para a qualidade na fabricação do papel. Assim os traqueídes da madeira da espécie em estudo estão sujeitas a um maior grau de colapso, o que faz com que possuam uma maior superfície de contato entre si, promovendo maior resistência à tração e ao estouro na produção de papel, diferindo das espécies de maior índice de Runkel. O elevado valor médio

do coeficiente de flexibilidade (72,08%) confirma a maior susceptibilidade dos traqueídes ao achatamento na produção do papel, com ganhos em resistência para o produto obtido.

A qualidade dos traqueídes de *P. patula* para a finalidade de produção de polpa e papel é confirmada pelo valor médio da fração parede calculado, já que Foelkel e Barrichelo (1975b) mencionam que valores acima de 40% não produzem celulose de boa qualidade, pois as fibras são extremamente rígidas e pouco flexíveis. Segundo Watson e Dadswell (1961) quanto menor for a fração parede maior será o esticamento, resistência ao estouro e à tração do papel, tornando as fibras mais flexíveis e facilitando a ligação entre elas.

Trianoski (2012) em estudo com a madeira de *P. taeda* entre 17 e 18 anos observou uma fração parede de 36,82%, um coeficiente de flexibilidade de 63,18% e um índice de Runkel de 0,63, distantes dos valores encontrados no estudo, ou seja, todos os índices revelam a menor adequabilidade desta espécie nesta idade para aplicação na fabricação do papel. Já os valores encontrados por Nisgoski (2005) para a espécie *P. taeda* nas idades de 14 e 15 anos em relação a fração parede (31,20% e 30,92%), coeficiente de flexibilidade (68,80% e 69,08%) e índice de Runkel (0,45 para ambas as idades) respectivamente, estão próximas aos valores encontrados para a espécie de *P. patula* do presente neste estudo. No estudo de Foelkel et al. (1976) com a espécie *P. elliottii* de mesma idade da espécie em estudo, observou-se valores de índice de Runkel de 0,62, fração parede de 38% e coeficiente de flexibilidade de 63%. Com isso, a madeira de *P. patula* se enquadra nos valores relatados nas avaliações conduzidas com as principais espécies de coníferas empregados no ramo da produção de polpa e papel.

4.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Na tabela 6 podem ser observados os valores médios da composição química da madeira de *P. patula* com as demais espécies do gênero *Pinus*.

Tabela 6 – Comparativo da caracterização química da madeira de *P. patula* com outras espécies do gênero *Pinus*.

Autores	Espécie	Cinzas	Extrativos	Lignina (%)	Holocelulose
Presente estudo	<i>P. patula</i>	0,27	6,24	25,06	70,76
Vivian et al. (2015)	<i>P. sylvestris</i>	-	6,40	25,61	67,99
Vivian et al. (2015)	<i>P. taeda</i>	-	2,83	26,71	70,46
Moraes et al. (2005a)	<i>P. oocarpa</i>	-	-	25,18	-
Picinatto Filho (2015)	<i>P. oocarpa</i>	0,32	6,08	33,43	60,49
Rodrigues et al. (2009)	<i>P. oocarpa</i>	0,03	10,35	24,41	65,21

Os valores obtidos no presente estudo estão de acordo com os já descritos na literatura para espécies de mesmo gênero. Vivian et al. (2015) encontraram para *P. sylvestris* com 45 anos de idade valores próximos ao presente estudo para extrativos e lignina, e o mesmo foi observado para a madeira de *P. taeda* com 21 anos, para holocelulose. Moraes et al. (2005a) encontraram para *P. oocarpa* valores semelhantes de lignina e Picinatto Filho (2015) obteve valores de extrativos e cinzas próximos ao estudo com *P. patula*. Rodrigues et al. (2009) obtiveram valores superiores ao do presente estudo na análise dos extrativos em *P. oocarpa* porém, valores inferiores foram constatados para lignina, holocelulose e cinzas.

Para madeira de coníferas, o teor de lignina varia de 20 a 30%, desta forma a madeira de *P. patula* com teor de lignina de 25,06% enquadra-se dentro da referida faixa. Em relação ao teor de holocelulose que varia de 50 a 85% dependendo da espécie, segundo Rodrigues et al. (2009), observa-se também a adequação do resultado verificado no presente estudo (70,76%).

Os teores de lignina presente em madeiras de coníferas devem ser baixos, pois estão diretamente ligadas as condições de cozimento, para que se obtenha uma polpa adequada. O valor de 25,06% é baixo comparado com as espécies de *P. taeda* (33,43%) (PICINATTO FILHO, 2015) e *P. elliottii* (28,00%) (BALLONI, 2009). Pois o alto grau de lignina na madeira requer períodos maiores de cozimento e utilização de reagentes. Por possuírem altas concentrações de lignina as madeiras do gênero *Pinus* não são indicadas para celulose branqueada e sim para polpa não branqueada.

De acordo com Vasconcelos (2005) o valor de holocelulose esta relacionado com o rendimento do processo, com isso, seu valor deve ser alto, estando o estudo (70,76%) condizente com os valores encontrados pelo autor citado (70,26%) em indivíduos de *P. taeda* com 9 anos. Observa-se ainda que o teor de holocelulose registrado para *P. patula* foi superior ao relatado para as espécies *P. sylvestris*, *P. taeda*, *P. oocarpa* e *P. caribaea* sendo eles,

67,99%, 60,49%, 65,21% e 67,03%, respectivamente. (MORAES, et al., 2005b; PICINATTO FILHO, 2015; POUBEL et al. 2013; VIVIAN et al., 2015);

Os extrativos representam entre 4 e 10% da massa total da madeira seca, podendo variar entre as diversas espécies madeireiras (MORAES et al. 2005b), enquadrando a espécie *P. patula* (6,24%) na referida faixa, porém altos teores de extrativos são indesejáveis no processo de polpação, gerando os chamados “pitch” que se depositam na polpa celulósica e geram incrustações nos equipamentos industriais, com conseqüente redução da produção (BARBOSA et al. 2005). O teor de extrativos obtido é alto comparado com *P. taeda* (2,83%) (VIVIAN et al. 2015), *P. elliottii* (3,00%) (BALLONI, 2009) e *P. oocarpa* (4,38%) (MORAES et al. 2005). Porém, o elevado teor de extrativos pode contribuir para aumentar o poder calorífico da madeira (MORAES et al., 2005).

O teor de cinzas (0,27%) pode ser considerado baixo comparado com estudos de *P. taeda* (0,32%) (PICINATTO FILHO, 2015) e de *P. elliottii* (0,41%) (BALLONI, 2009). Esse resíduo de minerais podem causar problemas como entupimentos, corrosões e incrustações nos equipamentos industriais, sendo, portanto esperado teor de cinzas baixo evitando problemas nas operações (FREDDO et al., 1999).

Mesmo tendo conhecimento da composição química da madeira, é difícil prever o seu comportamento durante a polpação, uma vez que os componentes encontram-se arrançados de forma complexa, tornando o comportamento diferente quando estão isolados. De qualquer forma, o conhecimento da composição química da madeira (holocelulose, lignina e extrativos) é importante para interpretar o comportamento da madeira no processo de polpação e qualidade da polpa produzida (SANTOS, 2005).

5 CONCLUSÃO

A madeira de *P. patula* possui densidade básica baixa para a produção de celulose, podendo este fato estar associado a grande presença de lenho juvenil.

A variação da densidade básica no sentido longitudinal do fuste é decrescente com apenas as médias dos valores extremos diferindo estatisticamente entre si o que demonstra a homogeneidade desse parâmetro na madeira avaliada.

A composição química da espécie mostrou baixos teores de lignina e cinzas, porém alto teor de extrativos, comparado com as principais espécies do gênero *Pinus* spp. empregadas na produção de polpa celulósica e papel.

Os traqueídes da madeira de *P. patula* avaliada apresentaram comprimento médio de 2,37 mm; largura de 40,32 μm ; diâmetro do lume de 29,09 μm e espessura de parede de 5,49 μm , sendo que com exceção do comprimento, as demais dimensões não diferiam entre as posições radiais amostradas.

O comprimento de traqueídes aumentou no sentido medula-casca sem tendência de estabilização dos valores o que é indicativo de ausência da formação de madeira adulta no fuste da espécie na idade e condições de crescimento avaliadas.

Os parâmetros indicadores de qualidade da madeira para produção de papel indicam bom potencial da madeira de *P. patula* para este fim, que se enquadra nos valores encontrados para a espécie *P. taeda* tradicionalmente empregada nesse segmento.

A madeira de *P. patula* apresenta características desejáveis para a produção de polpa e papel em relação aos coeficientes indicativos de qualidade calculados. Embora, a espécie possua potencial de adaptação as condições climáticas do estado de Santa Catarina, é escassa sua utilização nos diversos segmentos da indústria papeleira.

6 RECOMENDAÇÕES

Mesmo com resultados satisfatórios na avaliação da espécie *P. patula* para a produção de polpa celulósica, recomendam-se outros estudos analisando as propriedades químicas da madeira ao longo do comprimento comercial do fuste, com vistas a determinar a influência da densidade básica na composição química da madeira estudada.

Condução de estudos relacionados à morfologia dos traqueídes em indivíduos de maior idade para verificar a ocorrência de formação de lenho adulto.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. S. de. **Qualidade da Madeira, Celulose e Papel em *Pinus taeda* L.: Influência da Idade e Classe de Produtividade.** 2006. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- ANTUNES, F. S. **Avaliação da qualidade da madeira das espécies *Acacia crassicarpa*, *Acacia mangium*, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus* e *Populus tremuloides*.** 2009. 82 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 371-380, 2003.
- BALLONI, C. J. V. **Caracterização física e química da madeira de *Pinus elliottii*.** 2009. 41 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Itapeva, 2009.
- BARBOSA, L. C. A.; MALTHA, C. R. A.; CRUZ, M. P. Composição química de extrativos lipofílicos e polares de madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Ciência & Engenharia**. Viçosa, v. 15, n. 2, p. 13-20, 2005.
- BASSA, A. G. M. C.; SILVA JUNIOR, F. G. da; SACON, V. M. Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus Urophylla* e *Pinus taeda* para produção de celulose kraft pulp production by Lo-Solids® process. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, 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. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.
- COSTA, J. A. de. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus urograndis*, plantado no Distrito Federal, para produção de celulose kraft.** 2011. 76f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.
- EMBRAPA FLORESTAS. **Espécies de pinus mais plantadas no Brasil.** Sistema de Produção. 2014. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaoof6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3715&p_r_p_-996514994_topicoId=3229>. Acesso em: 02 set. 2017.
- FANTUZZI NETO, H. **Qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft.** 2012. 105f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
- FOELKEL, C. E. B.; BARRICHELO, L.E.G. **Tecnologia de celulose e papel.** Piracicaba: Departamento de Silvicultura, 1975a. 199 p.

_____. Relações entre características da madeira e propriedades da celulose e papel. **O Papel**, São Paulo, v. 36, n. 9, p. 49-53, 1975b.

FOELKEL, C. E. B. et al. Celulose kraft de madeiras juvenil e adulta de *Pinus elliottii*. **IPEF**, [São Paulo], n. 12, p. 127-142, jun. 1976.

FOELKEL, C. E. B. Celulose kraft de pinus spp. **O papel**, São Paulo, v. 38, n.01, p. 49-67, 1976.

_____. **Qualidade da Madeira**. 1977. Disponível em: < <http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ufv/02.%20Qualidade%20da%20Madeira.%201977.1979.pdf>>. Acesso em: 24 out. 2018.

FOELKEL, C. **Qualidade da madeira do eucalipto**: Reflexões acerca da utilização da densidade básica como indicador de qualidade da madeira no setor de base florestal. 2015. Disponível em: < http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT41_Densidade_Basica_Madeira.pdf>. Acesso em: 24 out. 2018.

FREDDO, A. et al. Elementos minerais em madeiras de eucaliptos e acácia negra e sua influência na indústria de celulose Kraft branqueada. **Ciência Florestal**, v.9, n.1, p.193-209, 1999.

GILLESPIE, A. J. R. *Pinus patula Schiede and Deppe*. New Orleans, LA: Forest Service, 1992. 5 p.

GOMIDE, J. L.; F. NETO, H.; REGAZZI, A. J. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft. **Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 339-344, out. 2010.

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

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório anual 2017**: Report 2017. 2017. Disponível em: <https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: 30 set. 2018.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório Ibá 2018**. 2018. Disponível em: < <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/digital-sumarioexecutivo-2018.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS (IPEF). Indicações para a escolha de espécies de Pinus. 2006. Disponível em: < http://www.ipef.br/silvicultura/escolha_pinus.asp>. Acesso em: 20 fev. 2018.

IAWA COMMITTEE. List of microscopic features for hardwood identification, with an appendix on non-anatomical information. **IAWA Bulletin**, Leiden, v.10, n.3, p. 219-332. 1989

- JUIZO, C. G. F. et al. Variação radial das propriedades físicas da madeira de *Pinus patula* plantados em Moçambique. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.35, n.83, p. 285-292, jul./set. 2015.
- KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 2000. 291f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- KLOCK, U. et al. **Química da madeira**. 3. ed. Curitiba: UFPR, 2005. 86 p.
- LIMA, C. et al. Características anatômicas e químicas da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 123-129, jun. 2007.
- MATTOS, B. D. et al. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 121-126, jan./mar. 2011.
- 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. In: CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 18., 2003, Blumenau. **Anais...** Blumenau: FURB, 2003. 5p.
- MELO, R. R. et al. Variação radial e longitudinal da densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* engelm. com diferentes idades. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 04, n. 01, p. 83-92, maio 2013.
- MENEGAZZO, M. L. **Características morfológicas de celuloses branqueadas de *Pinus* e *Eucalyptus* em analisador óptico automático de fibras**. 2012. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2012.
- MORAIS, S. A. L.de.; NASCIMENTO, E. A. do.; MELO, D. C. Análise da madeira do *Pinus oocarpa* Parte II: caracterização estrutural da lignina de madeira moída. **Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 471-478, jun. 2005a.
- _____. Análise da madeira de *Pinus oocarpa* parte I: estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Árvore**, Viçosa, v. 29, n.3, p. 461-470, 2005b.
- MURARA JUNIOR, M. I.; ROCHA, M. P. da; TRUGILHO, P. F. Estimativa do rendimento em madeira serrada de pinus para duas metodologias de desdobro. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 20, p. 556-563, dez. 2013.
- NISGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L.** 2005. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- NISGOSKI, S. **Anatomia da madeira**. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, 2016. 62 p.

OLIVEIRA, E. et al. Estrutura anatômica da madeira e qualidade do carvão. **Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 311-318, 2006.

PEDRAZZI, C. et al. Avaliação morfológica das fibras de polpas Kraft de Eucalipto com diferentes conteúdos de xilanas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 515-522, dez. 2013.

PEREIRA, G. F. **Comparação das propriedades físicas de painéis de madeira aglomerada de *Pinus patula* e *Pinus sp.* de origem industrial**. 2014. 43f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2014.

PINUSLETTER. Os Pinus no Brasil: *Pinus patula*. **Grau Celsius**, Porto Alegre, n. 15, p. 04 – 06, maio 2009.

PICINATTO FILHO, V. et al. Composição química da madeira de *Pinus taeda* L. atacada por roedores silvestres. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 2., 2015, Belo Horizonte. **Anais eletrônicos...** Belo Horizonte: UESC, 2015. Disponível em: <<http://www.sbctem.org.br/cbctem/2/quimica/arquivo7.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2018.

POUBEL, D. S. da. et al. Efeito da termorreificação nas propriedades físicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea*. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 391-398, 2013.

REZENDE, M. A. et al. Estudo das variações de densidade da madeira do *Liquidambar styraciflua* e do *Pinus tecunumannii*, como parâmetros de qualidade para a produção de móveis. **HOLOS Environment**, Botucatu, v. 7, n. 1, p. 60-71, jun. 2007.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATOS, J. L. M. de. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para a produção de celulose kraft. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 267-273, 2004.

RODRIGUES, C. K.; HILLIG, E. MACHADO, G. O. de. Análise química da madeira de *Pinus oocarpa*. In: SEMANA DE INTEGRAÇÃO ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 1., 2009, [S.I.]. **Anais eletrônicos...** [S.I.]: UECO, 2009. Disponível em: <https://anais.unicentro.br/siepe/isiepe/pdf/resumo_617.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2018.

SANTOS, P. C. et al. Papel: Como se fabrica. **Química e Sociedade**, São Paulo, n. 14, p.1-5, nov. 2001.

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. 178 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - 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.

SIQUEIRA, K. P. **Variabilidade da massa específica de *Pinus taeda* L. em diferentes classes de sítio**. 2004. 43f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SOUSA, R. de C. et al. Efeito da idade e da posição radial na densidade básica e dimensões dos traqueídeos da madeira de *Pinus taeda* L. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 119-127, dez. 2007.

SUARDI JUNIOR, L. M. M. **Avaliação da qualidade da madeira de cinco espécies de pinus destinadas à produção de celulose**. 2016. 52f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2016.

TAVARES, E. L. **Madeira de *Pinus patula* e de *Pinus taeda* para laminação e produção de painéis multilaminados**. Irati, 2017. 89f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2017.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI: Test methods**. Atlanta: TAPPI Press, 2007. 2 v. Não paginado.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos**. 2012. 553 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

TRIANOSKI, R. et al. Avaliação da estabilidade dimensional de espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, Curitiba, v. 20, n. 03, p. 398-406, jul./set. 2013a.

_____. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de espécies de pinus tropicais. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 503-510, jul./set. 2013b.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94 -111, 1996.

VALE, A. T.; ROCHA, L. R.; DEL MENEZZI, C. H. S. Massa específica básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cultivado em cerrado. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 387-394, dez. 2009.

VASCONCELOS, F. S. R. **Avaliação do processo SuperBatch™ de polpação de *Pinus taeda***. 2005. 106 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

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

XAVIER, J. A. **Variabilidade da massa específica básica de *Pinus taeda* L. em diferentes idades de plantio**. 2009. 26f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

WATSON, A.J.; DADSWELL, HE. Influence of fibre morphology on paper properties – Part 1. Fibre length. **APPITA**, Carlton, v.14, n.5, p. 168-178, mar. 1961.