

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

Gabriel Meireles Borenstein

**Efeito de desbastes no comprimento dos traqueídeos e na densidade básica da madeira
de *Pinus taeda* L.**

Curitibanos, SC

2024

Gabriel Meireles Borenstein

**Efeito de desbastes no comprimento dos traqueídeos e na densidade básica da madeira
de *Pinus taeda* L.**

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

Orientador: Prof. Dr. Magnos Alan Vivian.

Curitibanos, SC

2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Borenstein, Gabriel Meireles
Efeito de desbastes no comprimento dos traqueídeos e na
densidade básica da madeira de Pinus taeda L. / Gabriel
Meireles Borenstein ; orientador, Magnos Alan Vivian,
2024.
29 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus
Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal,
Curitibanos, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Trato silvicultural. 3.
Densidade da madeira. 4. Traqueídeos. 5. Qualidade da
madeira. I. Vivian, Magnos Alan. II. Universidade Federal
de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Florestal. III.
Título.

**Efeito de desbastes no comprimento dos traquédeos e na densidade básica da madeira
de *Pinus taeda* L.**

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

Curitiba, 14 de junho de 2024



Documento assinado digitalmente
MARCELO BONAZZA
Data: 08/07/2024 11:08:20-0300
CPF: ***.641.899-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Marcelo Bonazza
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
Magnos Alan Vivian
Data: 08/07/2024 10:36:10-0300
CPF: ***.088.210-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

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



Documento assinado digitalmente
KARINA SOARES MODES
Data: 08/07/2024 12:47:42-0300
CPF: ***.082.240-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof^a. Dr^a. Karina Soares Modes
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Kelen Haygert Lencina
Data: 09/07/2024 14:28:51-0300
CPF: ***.476.600-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof^a. Dr^a. Kelen Haygert Lencina
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado a minha família, aos meus queridos pais e meus professores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me guiar sempre na vida, me protegendo de todo mal e me mostrando o caminho do bem.

Aos meus pais Mario e Circe, por terem me dado a oportunidade de cursar essa graduação, que mesmo estando a distância se fizeram presentes, pelo carinho e amor, pelo apoio incondicional nos últimos anos e por serem meus maiores incentivadores.

Aos meus amigos e namorada pelo companheirismo, paciência e pelo incentivo mesmo nos dias mais difíceis da graduação.

A empresa Ciarnoski Agroflorestral e Cartonagem por fornecer o material do presente estudo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Magnos Alan Vivian por toda a ajuda, pelos ensinamentos nas disciplinas e por transferir seu conhecimento a mim durante esse trabalho.

A todo corpo docente da UFSC, e a todos os colegas que de alguma maneira em todo o período da graduação me ajudaram.

RESUMO

O desbaste é uma prática silvicultural muito utilizada na condução de plantios florestais, em especial para o gênero *Pinus*, a qual possibilita o controle da competição entre as árvores ao longo da rotação dos mesmos. Tal prática pode alterar as propriedades da madeira, sejam elas físicas, mecânicas ou anatômicas. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito dos desbastes no comprimento dos traqueídeos e na densidade básica da madeira da madeira de *Pinus taeda* L. Para isto, foram selecionadas árvores de dois povoamentos de 22 anos, localizados em Curitibanos/SC, com espaçamento inicial de 2,5 x 2,5 m, sendo que um foi submetido a 2 desbastes e outro a 3 desbastes. O plantio com 2 desbastes foi submetido a uma intervenção aos 8 e uma aos 15 anos, com uma intensidade total de 70,6% de desbaste, enquanto o plantio com 3 desbastes as intervenções foram aos 8, 15 e 19 anos com uma intensidade total de 78,8%. Ambos os plantios estavam distanciados cerca de 10 metros entre si, sem aplicação da poda. Foram coletados discos da base das árvores para avaliação do comprimento dos traqueídeos e sua variação radial, bem como discos ao longo do fuste das mesmas para determinação da densidade básica ponderada e sua variação axial. Com base nos resultados obtidos, foi observado um comprimento médio de traqueídeos de 2,76 mm para a madeira proveniente do povoamento submetido a 2 desbastes, enquanto para o povoamento submetido a 3 desbastes, o valor médio foi de 2,71 mm. Não foi observada diferença estatística significativa entre os plantios com 2 e 3 desbastes em relação ao comprimento dos traqueídeos. Em relação ao efeito da posição de amostragem radial, observou-se uma tendência de aumento significativo dos valores de comprimento dos traqueídeos ao longo do raio, da medula em direção a casca, para ambos os povoamentos. Em relação às densidades básicas ponderadas das madeiras provenientes dos povoamentos submetidos a 2 e 3 desbastes, estas foram iguais, de 0,395 g/cm³, não sendo observada diferença estatística significativa entre os mesmos. A posição de amostragem longitudinal do fuste não apresentou diferença estatística significativa, porém os valores para ambos os regimes de desbaste apresentaram a mesma tendência, que foi de redução da base para o topo das árvores. Portanto, conclui-se que não foram observados efeitos significativos da prática silvicultural de desbaste na madeira de *P. taeda* avaliada no presente trabalho, entretanto sugere-se que mais estudos sejam conduzidos, levando em consideração mais aspectos e propriedades da madeira.

Palavras-chave: Densidade da madeira. *Pinus*. Qualidade da madeira. Traqueídeos. Trato silvicultural.

ABSTRACT

Thinning is a silvicultural practice widely used in forest plantations, especially for the *Pinus* genus, which makes it possible to control competition between trees throughout their rotation. This practice can alter the properties of the wood, be they physical, mechanical or anatomical. In this sense, the present study aimed to evaluate the effect of thinning on the length of tracheids and basic wood density of *Pinus taeda* L. For this, trees were selected from two 22-year-old stands located in Curitiba/SC, with an initial spacing of 2.5 x 2.5 m. One was thinned twice and the other was thinned three times. The planting with 2 thinnings was subjected to one intervention at 8 and one at 15 years, with a total thinning intensity of 70.6%, while the planting with 3 thinnings had interventions at 8, 15 and 19 years with a total intensity of 78.8%. Both plantations were about 10 meters apart, with no pruning applied. Disks were collected from the base of the trees to assess the length of the tracheids and their radial variation, as well as disks along the stem to determine the weighted basic density and its axial variation. Based on the results obtained, an average tracheid length of 2.76 mm was observed for the wood from the stand subjected to 2 thinnings, while for the stand subjected to 3 thinnings, the average value was 2.71 mm. There was no statistically significant difference between the plantations with 2 and 3 thinnings in terms of tracheid length. With regard to the effect of the radial sampling position, there was a significant upward trend in tracheid length values along the radius, from the pith towards the bark, for both stands. The weighted basic densities of the wood from the stands subjected to 2 and 3 thinnings were the same, at 0.395 g/cm³, and there was no statistically significant difference between them. The longitudinal sampling position of the stem showed no statistically significant difference, but the values for both thinning regimes showed the same trend, which was a reduction from the base to the top of the trees. Therefore, it can be concluded that there were no significant effects of the silvicultural thinning practice on the wood of *P. taeda* evaluated in this study, but it is suggested that further studies be conducted, taking into account more aspects and properties of the wood.

Keywords: Wood density. *Pinus*. Wood quality. Tracheids. Silvicultural tract.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Bagueta com as posições de amostragem nos discos (A); Fragmentos de madeira em tubos de ensaio para maceração (B).	17
Figura 2 – Imagem captada para determinação do comprimento de traqueídeos.	18
Figura 3 – Amostragem dos discos ao longo do fuste.	18
Figura 4 – Comprimento dos traqueídeos da madeira de <i>P. taeda</i> com 2 e 3 desbastes.	20
Figura 5 – Densidade básica da madeira de <i>P. taeda</i> com 2 e 3 desbastes.	22

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS	11
1.1.1	Objetivo Geral.....	11
1.1.2	Objetivos Específicos	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	SETOR FLORESTAL BRASILEIRO E O GÊNERO <i>PINUS</i>	12
2.2	TRATO SILVICULTURAL – DESBASTE	13
2.3	PROPRIEDADES DA MADEIRA	14
3	MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1	COMPRIMENTO DOS TRAQUEÍDEOS.....	17
3.2	DENSIDADE BÁSICA.....	18
3.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA	19
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1	COMPRIMENTO DOS TRAQUEÍDEOS.....	20
4.2	DENSIDADE BÁSICA.....	22
5	CONCLUSÃO.....	25
	REFERÊNCIAS.....	26

1 INTRODUÇÃO

O Brasil conta atualmente com uma área plantada de 1,9 milhões de hectares de *Pinus*, sendo o *P. taeda* a espécie que mais se destaca em termos de área e produção (IBÁ, 2023). O estado de Santa Catarina é o segundo com a maior área plantada do gênero *Pinus*, totalizando cerca de 702,8 mil hectares (IBÁ, 2023), sendo uma matéria-prima fundamental para a indústria de base florestal.

A madeira do gênero *Pinus* pode ser empregada para diversas finalidades dentro do setor industrial, entre as quais estão a produção de celulose, papel, painéis de madeira reconstituída, lâminas e compensados, madeira serrada, etc. E para obtenção de cada um destes produtos, os plantios devem ser conduzidos e manejados conforme o objetivo final, sabendo que estes afetam as propriedades da madeira.

Nesta linha, os plantios podem ser submetidos a diferentes tratamentos silviculturais, com destaque para o desbaste. O desbaste é de suma importância no manejo das florestas plantadas, pois pode influenciar no ganho ou perda de algumas características, sejam elas de forma positiva ou negativa. Entre uma das suas vantagens está o aumento da qualidade da madeira, o crescimento acelerado das árvores remanescentes, melhoria na saúde da floresta ao reduzir doenças e pragas, e maior valor econômico devido à antecipação de receitas e diversificação de produtos dependendo do destino da madeira, o desbaste pode ajudar a desenvolver propriedades específicas desejadas pela indústria.

O desbaste melhora o fator de forma, permitindo que as árvores cresçam com troncos mais retos e menos nós, ideal para serraria e laminação. Além disso, com menos competição por recursos, as árvores alcançam maiores diâmetros e alturas mais rapidamente, produzindo madeira de dimensões maiores e mais valiosas. Para madeira destinada à laminação e serraria, por exemplo, recomenda-se realizar desbastes sucessivos, visando aumentar gradualmente o espaçamento da floresta, controlando com precisão a competição, reduzindo riscos, ajustando às condições ambientais e econômicas, resultando em uma floresta produtiva e sustentável ao longo do tempo (Scheeren, 2003).

De acordo com Pereira e Tomaselli (2004) os desbastes exercem influências importantes na qualidade da madeira, sendo que o espaço disponível para as árvores crescerem pode ter profundos efeitos nas propriedades da madeira através da ação no desenvolvimento da copa e do fuste.

De acordo com Scheeren (2003), o principal propósito do desbaste é redistribuir o potencial de crescimento do local florestal para um grupo selecionado de árvores que exibem as melhores características de vigor de crescimento, vitalidade e qualidade do tronco. Isso é feito para evitar que indivíduos com menor vigor consumam os recursos disponíveis no ambiente florestal.

O conhecimento das características da madeira é essencial para avaliar de uma forma mais aprofundada o efeito do desbaste, o que pode mostrar um melhor aproveitamento da espécie. Segundo Costa (2001) as avaliações das propriedades da madeira são fundamentais para a utilização de forma correta, além de auxiliar na seleção de material e na qualidade final do produto.

Entre as propriedades da madeira, destacam-se as anatômicas e as físicas, sendo as dimensões das fibras ou traqueídeos, como comprimento, e a densidade básica, respectivamente, essenciais para o correto uso da madeira. Nesse sentido, é de fundamental importância verificar o efeito das diferentes intensidades de desbaste nas propriedades da madeira, em especial para o *P. taeda*, que é uma das principais espécies plantadas no país.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito dos desbastes no comprimento dos traqueídeos e na densidade básica da madeira da madeira de *Pinus taeda* L.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o efeito de dois e três desbastes no comprimento dos traqueídeos e sua variação ao longo do sentido radial medula-casca;
- Avaliar o efeito de dois e três desbastes na densidade básica e sua variação no sentido longitudinal do tronco.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SETOR FLORESTAL BRASILEIRO E O GÊNERO *PINUS*

No Brasil, o setor florestal tem tido grande contribuição para o crescimento social, econômico e ambiental. É responsável por mudanças econômicas locais, pois promove o aumento de oferta de trabalho, geração de renda e prestação de serviços socioambientais. No ano de 2022 o Brasil somou 9,94 milhões de hectares de florestas plantadas, representando um crescimento de 0,3% em relação a 2021, sendo que os cultivos de *Pinus* representaram 19% do setor florestal brasileiro, com 1,9 milhão de hectares (IBÁ, 2023).

O setor florestal atingiu um novo marco, com um valor de produção de R\$ 260,0 bilhões em 2022, aumento de 6,3% em relação ao ano anterior (IBÁ, 2023). Com esse desempenho, o setor florestal passou a representar 1,3% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, registrando sua maior contribuição desde 2012. Para ilustrar a importância desse setor para a economia nacional, é relevante mencionar que, em um ranking das 50 atividades com maior valor adicionado à economia do país, a cadeia produtiva de base florestal ocupa a 22ª posição em termos de contribuição, considerando dados estimados para o período de 2010 a 2022 (IBÁ, 2023).

A região sul do Brasil destaca-se como a principal fornecedora de madeira de *Pinus*, representando aproximadamente 89% do total nacional, sendo que o estado de Santa Catarina se encontra na segunda posição, somando cerca de 701 mil hectares dedicados ao cultivo de *Pinus* (IBÁ, 2023).

Devido às condições edafoclimáticas favoráveis do território brasileiro, as florestas de *Pinus* demonstram um rápido crescimento e um incremento médio anual (IMA) de aproximadamente 30,9 m³/ha/ano, com um ciclo médio de crescimento de 16,3 anos (IBÁ, 2023). Esse desempenho é considerado excelente quando comparado à média nos EUA, onde a cultura é nativa e apresenta um IMA de apenas 10 m³/ha/ano, o que evidencia a adaptação bem-sucedida da espécie no território brasileiro (Juvenal; Mattos, 2002).

A madeira de *Pinus* pode ser empregada para diversos usos, como celulose, papel, madeira serrada, indústria moveleira e de construção civil, laminados, entre outros, demonstrando seu valor econômico, especialmente para a região Sul do Brasil. Coelho (2010) menciona que o uso da madeira de *Pinus* é uma das formas de reduzir a exploração de florestas nativas, sendo uma fonte renovável e sustentável de matéria-prima.

2.2 TRATO SILVICULTURAL – DESBASTE

Entre os principais tratos silviculturais que podem ser aplicados aos plantios florestais está o desbaste. Tal prática silvicultural é responsável por exercer influência direta na qualidade da madeira, bem como no espaço disponível entre as árvores, garantindo efeitos positivos, como o desenvolvimento do fuste ou copa, melhorando assim as propriedades da madeira (Pereira; Tomaselli, 2004).

O desbaste, como prática silvicultural, exerce influência direta na qualidade da madeira ao promover o desenvolvimento do fuste ou copa das árvores. Isso melhora as propriedades da madeira ao aumentar a uniformidade do crescimento, reduzir nós e promover a formação de anéis de crescimento mais largos e uniformes, que são desejáveis para aplicações como construção e marcenaria (Pereira; Tomaselli, 2004).

O desbaste é uma prática essencial de trato silvicultural em plantações de *P. taeda*, desempenhando um papel crucial na promoção do crescimento saudável e na maximização do rendimento econômico das florestas. Esta técnica consiste na remoção seletiva de árvores de menor qualidade ou menor potencial de crescimento, permitindo que as árvores restantes tenham mais espaço, luz e nutrientes disponíveis para seu desenvolvimento (Dobner Jr., 2014).

A necessidade de desbaste em florestas plantadas pode ser identificada por diversos indicadores. Avaliar a densidade das árvores é fundamental; se estiverem muito próximas, competindo intensamente por luz, água e nutrientes, é um sinal claro de que o desbaste é necessário. Inspeções visuais revelam sinais de estresse, como crescimento atrofiado e folhas amareladas. A medição periódica do diâmetro à altura do peito (DAP) e da altura das árvores também ajuda a identificar áreas com crescimento prejudicado. Um aumento na taxa de mortalidade indica alta competição por recursos, justificando o desbaste. Árvores com copas pequenas em relação à altura total e o uso de modelos de crescimento e produção, que consideram idade das árvores, condições do solo e clima, também são métodos eficazes para determinar a necessidade de desbaste. Índices silviculturais, como o Índice de Competição e o Índice de Área Basal, podem ser utilizados para avaliar a competição e determinar o momento ideal para o desbaste (Costa; Finger; Hess, 2018).

Para Silva e Angeli (2006), a prática do desbaste pode ser realizada de diferentes formas, sendo seletivo ou sistemático, por baixo ou pelo alto. Geralmente são aplicados os desbastes por baixo, que abrange a remoção de exemplares de baixo potencial madeireiro de

forma planejada, diminuindo a competição entre árvores. A importância do desbaste em plantações de *P. taeda* pode ser compreendida considerando-se diversos fatores. Primeiramente, o desbaste contribui para o controle da densidade populacional das árvores, garantindo que haja espaço adequado entre elas para o crescimento e desenvolvimento saudável. Isso reduz a competição por luz, água e nutrientes, promovendo o crescimento mais rápido e vigoroso das árvores remanescentes (Dobner Jr., 2014).

Além disso, o desbaste pode melhorar a qualidade da madeira produzida. Ao remover árvores de menor qualidade ou menor diâmetro, o desbaste concentra recursos nas árvores mais vigorosas, resultando em madeira de maior densidade, resistência e valor comercial (Dobner Jr., 2014).

A prática do desbaste em plantações de *P. taeda* também pode ser vantajosa do ponto de vista econômico. Estudos têm demonstrado que o desbaste oportuno pode aumentar o rendimento econômico da floresta a longo prazo, ao mesmo tempo em que reduz os custos de manejo e manutenção das plantações (David *et al.*, 2017).

Por fim, o desbaste contribui para a sustentabilidade das plantações florestais, pois promove um manejo mais eficiente e equilibrado dos recursos naturais, além de melhorar a resistência das florestas a pragas, doenças e eventos climáticos extremos (Nogueira; Leite, 2015).

2.3 PROPRIEDADES DA MADEIRA

A madeira apresenta diversas propriedades, que podem ser físicas, químicas, mecânicas, anatômicas, etc., que influenciam diretamente nas suas aptidões e usos. Entre as propriedades físicas pode-se citar a densidade, retratibilidade e teor de umidade; entre as químicas os teores de compostos fundamentais e acidentais; entre as mecânicas a sua resistência a tração, compressão, flexão, cisalhamento, dureza, etc.; e entre as anatômicas a morfologia das fibras ou traqueídeos.

Dentre estas propriedades da madeira, destacam a densidade básica e a morfologia das fibras/traqueídeos, as quais desempenham papéis fundamentais na determinação da qualidade da madeira para diversos usos, além de também indicar a transição de madeira adulta para juvenil.

A densidade básica pode ser definida como a massa seca da madeira por unidade de volume saturado. De acordo com Zobel e van Buijtenen (1989), a densidade básica é uma das propriedades mais importantes da madeira em termos de sua qualidade e utilização final.

A morfologia dos traqueídeos, por sua vez, refere-se à forma e tamanho das células de sustentação e condução de água presentes na madeira. Em *P. taeda*, os traqueídeos são células alongadas com paredes celulares espessas e lúmen estreito. Essas características conferem à madeira de *P. taeda* boa resistência mecânica e capacidade de suporte, tornando-a adequada para uso estrutural em construção civil e na fabricação de móveis.

A relação entre densidade básica e morfologia dos traqueídeos na qualidade da madeira de *P. taeda* é fundamental. Segundo Gartner (2019), a densidade básica está intimamente relacionada à morfologia dos traqueídeos, pois as paredes celulares espessas e o lúmen estreito dos traqueídeos contribuem para a densidade geral da madeira. Além disso, a sua morfologia afeta diretamente as propriedades mecânicas da madeira, como resistência à compressão, flexão e tração.

A compreensão dessas propriedades é essencial para a seleção adequada da madeira de *P. taeda* em diferentes aplicações, garantindo sua eficácia e durabilidade. Portanto, estudos que investigam a densidade básica e a morfologia dos traqueídeos em *P. taeda* são de grande importância para o setor florestal e para a indústria da madeira.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado no estudo foi obtido de plantios comerciais da empresa Ciarnoski Agroflorestal e Cartonagem, que atua no ramo de produção de tubos de papel e madeira serrada, situada no município de Curitiba, SC. Foram amostradas árvores de *P. taeda* L. com 22 anos de idade, em plantios com dois e três desbastes, sendo três em cada condição, num total de seis árvores, as quais haviam sido implantados com espaçamento inicial de 2,5 x 2,5 metros, com 1.600 árvores por hectare.

O plantio com dois desbastes foi submetido a uma intervenção aos 8 e uma aos 15 anos), enquanto no plantio com três desbastes as intervenções foram aos 8, 15 e 19 anos). O plantio com duas intervenções teve uma intensidade total de 70,6% de desbaste (restando 470 árvores no final do ciclo, com volume de 409,7 m³/ha). Já o plantio com três intervenções teve uma intensidade total de 78,8% (permanecendo 340 árvores no final do ciclo, com 332,8 m³/ha). Ambos os plantios estão distanciados cerca de 10 metros entre si, sem aplicação da poda.

A seleção das árvores foi baseada na média diamétrica (DAP – diâmetro a altura do peito) representativa dos plantios, obtida a partir de um inventário florestal prévio. Na área com dois desbastes o DAP médio das árvores amostradas foi de 34,0 cm, com altura comercial de 19,8 m, já na área com três desbastes as árvores amostradas apresentaram DAP médio de 37,0 cm e 18,3 m de altura comercial.

A área onde os plantios foram estabelecidos possuía um solo classificado como Cambissolo, com relevo suavemente ondulado. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfb, caracterizado por um clima temperado com verões amenos, temperatura média anual de aproximadamente 16°C, precipitação média anual de 1.600 mm e altitude de 960 metros (EMBRAPA, 2012).

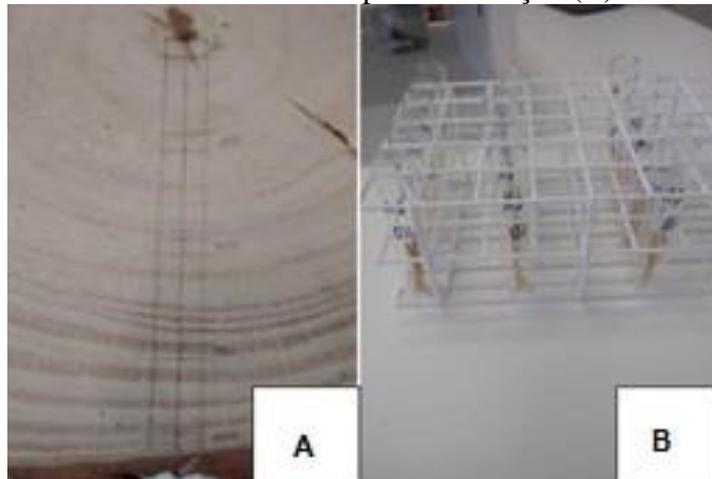
Foram coletados discos da base das árvores para avaliação do comprimento dos traqueídeos e sua variação radial, bem como discos ao longo do fuste das mesmas para determinação da densidade básica ponderada e sua variação axial. Após a coleta os materiais foram transportados para o Laboratório de Recursos Florestais, da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Curitiba, para condução das avaliações.

3.1 COMPRIMENTO DOS TRAQUEÍDEOS

Para determinação do comprimento dos traqueídeos e sua variação ao longo do sentido radial (medula-casca), foram utilizados os discos coletados da base de cada árvore. A partir destes discos foram marcadas baguetas radiais, da medula em direção a casca, extraindo amostras nas posições de 0, 25, 50, 75 e 100% (sendo 0% próximo a medula, e 100% próxima a casca) (Figura 1A).

De cada posição foram confeccionados fragmentos, os quais foram submetidos à maceração em tubos de ensaio, devidamente identificados (Figura 1B), com uma solução composta por ácido nítrico, ácido acético e água (na proporção de 5:2:1). Os tubos de ensaio, contendo a solução macerante e os fragmentos, foram cobertos com papel alumínio e colocados em banho-maria a cerca de 100°C por 1 hora, visando o processo de individualização dos traqueídeos.

Figura 1 – Bagueta com as posições de amostragem nos discos (A); Fragmentos de madeira em tubos de ensaio para maceração (B).



Fonte: O autor (2024).

Após o processo de maceração, o material foi lavado com água destilada para remover completamente a solução macerante, e mantido nos tubos de ensaio com a mesma água. Em seguida foram montadas lâminas com os macerados, utilizando 1 gota de safranina, 1 gota de glicerina e 1 gota de água, visando a captura de imagens em uma lupa com câmera acoplada, em um aumento de 6,3x (Figura 2).

Após a obtenção das imagens, foram mensurados os comprimentos de 30 traqueídeos de cada posição radial de todas as árvores (6 árvores x 5 posições x 30 repetições), de acordo com as diretrizes da International Association of Wood Anatomists (IAWA, 1989).

Figura 2 – Imagem captada para determinação do comprimento de traqueídeos.

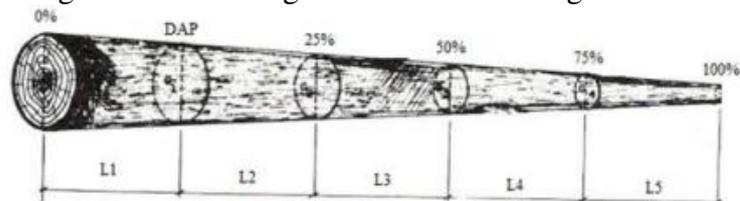


Fonte: O autor (2024).

3.2 DENSIDADE BÁSICA

Para determinação da densidade básica e sua variação no sentido longitudinal do tronco, foram retirados discos, com aproximadamente 3,0 cm de espessura, das seguintes alturas do tronco: 0, DAP, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial (Figura 3). Esta foi definida como o diâmetro de 8,0 cm na extremidade (ponta fina).

Figura 3 – Amostragem dos discos ao longo do fuste.



Fonte: Pedrosa *et al.* (2013)

Após a coleta os discos foram mensurados quanto a sua circunferência e a espessura da casca, para posterior determinação do diâmetro sem casca. Tais valores foram utilizados para avaliação dos valores de densidade básica da madeira em relação ao volume dos toretes entre as diferentes posições de amostragem dos discos.

De cada disco foram confeccionadas duas cunhas opostas, que foram mantidas em água até completa saturação. Após isso determinou-se o volume verde ou saturado (Vv) pelo

método da balança hidrostática, conforme recomendações da norma NBR 11.941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2003).

Visando a obtenção da massa seca, as cunhas foram colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até atingirem massa constante. Desta forma, com base nos valores de massa seca e volume verde calculou-se a densidade básica de cada cunha, conforme a equação 1.

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

Em que: Db = Densidade básica, g/cm³; Ms = Massa seca, g; Vv = Volume verde ou saturado, cm³.

A partir da média aritmética das duas cunhas, obteve-se o valor médio para cada posição de cada árvore, e a partir da média aritmética da densidade dos discos removidos da extremidade de cada torete, calculou-se sua média para esta característica. Com este e com o volume de madeira do torete foi determinada a densidade básica ponderada, de acordo com a equação 2.

$$Dbp = \frac{(Db \text{ madeira tor1} * V \text{ madeira tor1}) + \dots + (Db \text{ madeira tor5} * V \text{ madeira tor5})}{(\text{Volume de madeira da árvore})} \quad (2)$$

Em que: Dbp = Densidade básica ponderada, g/cm³; Db = Densidade básica, g/cm³; V = Volume de madeira do torete, cm³.

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

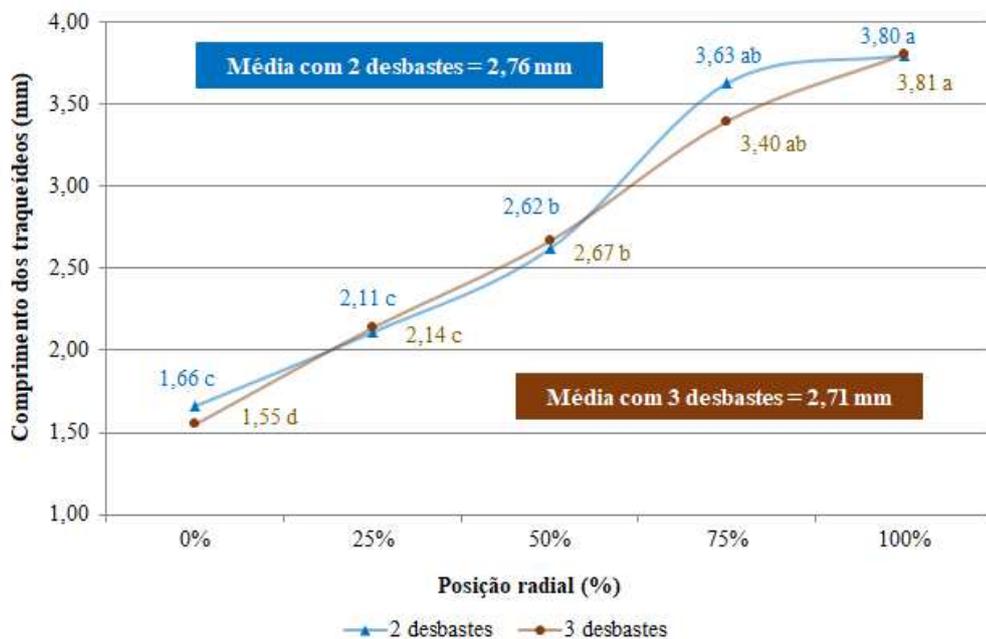
Os dados obtidos no presente estudo foram armazenados e analisados com o auxílio de planilhas eletrônicas e software estatístico. A densidade básica e o comprimento dos traqueídeos foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade de variâncias, e cumpridos tais aspectos à análise de variância (ANOVA), e quando observada significância o aplicou-se o teste Tukey a 5% probabilidade, para os valores no sentido base-topo (densidade) e no sentido medula-casca (comprimento dos traqueídeos) da madeira.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 COMPRIMENTO DOS TRAQUEÍDEOS

Na figura 4 estão representados os valores médios do comprimento dos traqueídeos da madeira de *P. taeda* em relação às posições radiais (medula-casca) amostradas nos plantios com 2 e 3 desbastes.

Figura 4 – Comprimento dos traqueídeos da madeira de *P. taeda* com 2 e 3 desbastes.



Fonte: O autor (2024).

Para a madeira proveniente do povoamento submetido a 2 desbastes, foi observado um comprimento médio de traqueídeos de 2,76 mm, enquanto para o povoamento submetido a 3 desbastes, o valor médio foi de 2,71 mm. Não foi observada diferença estatística significativa entre os plantios com 2 e 3 desbastes em relação ao comprimento dos traqueídeos em cada posição de amostragem.

Em relação ao efeito da posição de amostragem radial, observa-se uma tendência de aumento significativo dos valores de comprimento dos traqueídeos ao longo do raio, da medula em direção a casca. A média de comprimento dos traqueídeos na posição correspondente a 75% do raio, em ambos os níveis de desbaste, foi estatisticamente igual àquela registrada nas posições 50 e 100%. No entanto, para o povoamento com 3 desbastes,

nota-se uma maior amplitude nos valores. Isso pode ser atribuído ao fato de que a intervenção adicional nesse povoamento possibilitou o incremento de madeira de lenho inicial, caracterizada por células de menor comprimento.

Ambos os plantios avaliados foram submetidos a desbastes aos 8 e 15 anos, ou seja, seguiram com as mesmas condições de crescimento até o terceiro desbaste, que foi aplicado aos 19 anos em uma parte do experimento. Por isso observa-se que até 50% do raio os valores foram muito similares, variando de forma mais visível nos 75%, onde já tem reflexo do terceiro desbaste. Mesmo assim os resultados de 2 e 3 desbastes não apresentaram diferença significativa entre eles, pois as árvores que foram submetidas a terceira intervenção tiveram apenas três anos para responder a mesma, já que o corte final foi aos 22 anos.

Comparando os resultados obtidos no estudo com as informações disponíveis na literatura para a mesma espécie, *P. taeda*, pode-se observar algumas variações nos valores médios do comprimento dos traqueídeos. Andrade (2006) encontrou valores médios de 2,78 mm para o comprimento dos traqueídeos em madeira com 20 anos, similar ao observado no presente estudo.

Em contraste, os valores registrados por Nisgoski (2005) foram superiores, com 3,47 e 3,38 mm em idades de 14 e 15 anos, respectivamente. Nisgoski (2005) também destacou a grande variação no comprimento dos traqueídeos, o que segundo a mesma, é influenciada por diversos fatores, como posição do fuste, densidade populacional, sítio, localização geográfica e práticas silviculturais. Vivian *et al.* (2015) também relataram valores superiores, com 3,50 mm para o comprimento dos traqueídeos em *P. taeda* com idade de 21 anos.

Quando se trata da variação no comprimento ao longo do sentido radial, o mesmo pode ser um indicador de transição de madeira juvenil e adulta. Vidaurre *et al.* (2011), salientam que o comprimento dos traqueídeos é o principal parâmetro para diferenciação do lenho juvenil (menor comprimento) e adulto (maior comprimento). No presente estudo não foi possível definir claramente a transição entre madeira juvenil e adulta, porém analisando a figura 4, possivelmente esteja em torno da posição de 75% do raio, devido a redução do comprimento dos traqueídeos no regime de 3 desbastes. Para o gênero *Pinus* estudos demonstram que a transição entre madeira juvenil e adulta ocorre entre 13 e 18 anos de idade (Ballarin; Palma, 2003; Dobner Jr. *et al.*, 2018).

Estudos mostram que a densidade dos traqueídeos da madeira pode diminuir com o aumento da taxa de crescimento resultante do desbaste. Com a menor densidade de células, pode haver um efeito sobre o comprimento dos traqueídeos, muitas vezes reduzindo-o.

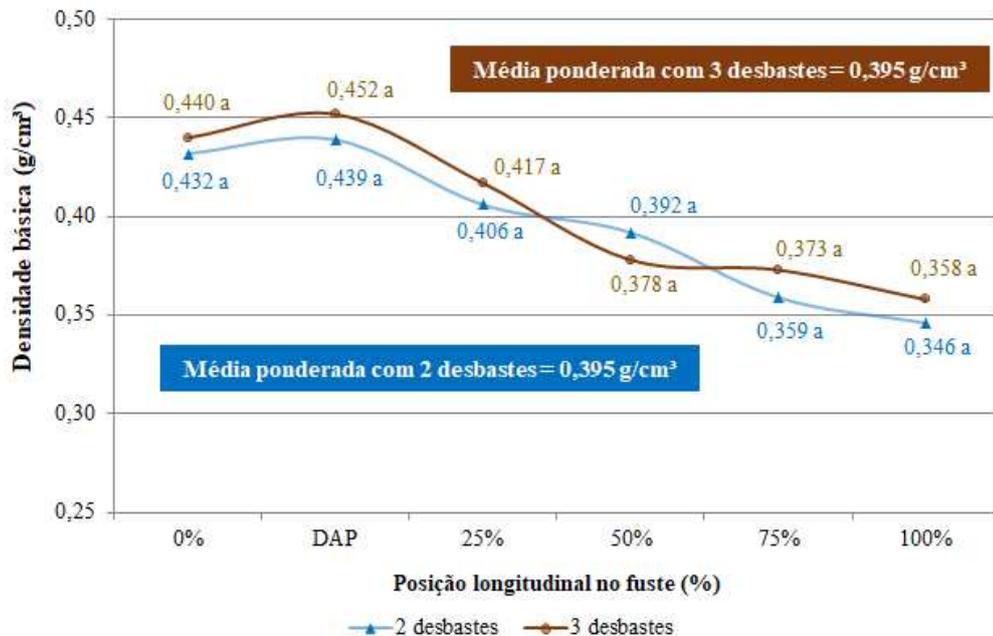
Bendtsen e Senft (1986) destacam que em porções superiores “a madeira formada após o desbaste tende a ter traqueídeos mais curtos e menor densidade devido ao crescimento acelerado”. Tal fato pode ser observado de forma sucinta no gráfico, levando em conta a posição de 75% do raio, no regime de 3 desbastes.

Outra questão que pode ter influenciado na redução da média do comprimento de traqueídeos no regime de 3 desbastes é que, após a intervenção, as árvores remanescentes experimentaram um crescimento mais rápido devido à redução da competição por recursos. Esse crescimento acelerado pode ter levado a mudanças na anatomia da madeira. Em muitos casos, a madeira de crescimento rápido tende a ter traqueídeos mais curtos em comparação com a madeira de crescimento lento (Cregg; Dougherty; Hennessey, 1998).

4.2 DENSIDADE BÁSICA

Os valores de densidade básica ponderada e sua variação longitudinal no fuste das árvores de *P. taeda*, com 2 e 3 desbastes, podem ser observados na figura 5.

Figura 5 – Densidade básica da madeira de *P. taeda* com 2 e 3 desbastes.



Fonte: O autor (2024).

As densidades básicas ponderadas das madeiras provenientes dos povoamentos submetidos a 2 e 3 desbastes foram iguais, de 0,395 g/cm³, não sendo observada diferença

estatística significativa entre os mesmos. Em relação ao efeito da posição longitudinal do fuste, a densidade básica apresentou em ambos os regimes de desbaste a mesma tendência, que foi de redução da base para o topo das árvores. Porém não foi observada diferença estatística significativa entre as posições axiais do tronco das árvores de 2 e 3 desbastes.

As médias de densidade básica ponderada de ambos os regimes de manejo possibilitam classificar a madeira como leve ou de baixa densidade, conforme a classificação da IAWA (1989) ($< 0,40 \text{ g/cm}^3$).

Esses resultados são consistentes com estudos anteriores, como por exemplo, Melchiorretto e Eleotério (2003) que avaliaram madeira de *P. taeda* de 25 anos de idade e obtiveram o valor de densidade básica de $0,37 \text{ g/cm}^3$. Já Chies (2005) e Santos *et al.* (2010), analisando a madeira de *P. taeda* com 21 e 24 anos de idade, encontraram densidade básica de $0,42 \text{ g/cm}^3$ em ambos os estudos.

Em relação aos valores maiores de densidade observados na base das árvores, Kollmann e Coté (1968), citados por Rezende *et al.* (1995), sugerem que a posição no tronco tem um efeito considerável na densidade da madeira, comumente observando-se que a base possui madeira de maior densidade que a parte superior devido a fatores como maior disponibilidade de nutrientes nas raízes, crescimento e desenvolvimento mais vigorosos na base, características anatômicas diferentes e maior idade e maturidade na base do tronco. Esses elementos contribuem para a formação de tecidos mais densos na base, fundamentais para a resistência estrutural da árvore. Conforme os mesmos autores, para *Pinus spp.*, as variações na densidade ao longo do tronco podem ser tão acentuadas que determinam diferentes classes de qualidade apenas com base na posição de origem da peça de madeira.

Alguns estudos mostram que o desbaste pode levar a uma redução na densidade da madeira. Isso ocorre porque as árvores que recebem mais luz e espaço após o desbaste tendem a crescer mais rapidamente, produzindo madeira com células maiores e paredes celulares mais finas, resultando em uma densidade menor (Muner, 1983). A intensidade do desbaste também pode influenciar de maneira diferente a densidade da madeira. Desbastes mais intensos tendem a reduzir mais a densidade da madeira, enquanto desbastes menos intensos podem ter um efeito menos pronunciado ou mesmo insignificante na densidade (Cown, 1973).

No presente estudo, como pode ser observado na figura 5, houveram algumas oscilações entre os plantios com 2 e 3 desbastes, não sendo possível afirmar que os mesmos tenham causado efeito sobre a densidade básica da madeira. Como já mencionado anteriormente, na questão do comprimento dos traqueídeos, os dois plantios avaliados foram

submetidos a desbastes aos 8 e 15 anos, seguindo com as mesmas condições de crescimento até o terceiro desbaste, o qual foi aplicado aos 19 anos. Como o corte final foi realizado aos 22 anos, as árvores tiveram apenas três anos para responder a terceira intervenção, possivelmente por isso não resultou em diferença significativa.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos no estudo para a madeira de *P. taeda* conclui-se que:

Os desbastes não afetaram de forma significativa o comprimento médio dos traqueídeos, sendo que a madeira submetida a 2 desbastes apresentou o valor de 2,76 mm, enquanto a com 3 desbastes apresentou 2,71 mm. Em relação ao efeito da posição de amostragem radial, observou-se uma tendência de aumento significativo dos valores de comprimento dos traqueídeos ao longo do raio, da medula em direção à casca;

Os desbastes não afetaram de forma significativa a densidade básica ponderada da madeira, sendo que os plantios com 2 e 3 desbastes apresentaram o mesmo valor, de 0,395 g/cm³, sendo classificada como leve ou média. Em relação a posição longitudinal do fuste, a densidade básica apresentou em ambos os regimes de desbaste a tendência de redução da base para o topo das árvores, porém em não foi observada diferença estatística significativa entre as posições axiais do tronco;

De forma geral, não foram observados efeitos significativos da prática silvicultural de desbaste na madeira de *P. taeda* avaliada no presente trabalho, entretanto sugere-se que mais estudos sejam conduzidos. Em próximos estudos indica-se que sejam avaliadas árvores sem desbastes, para que sejam a real testemunha do efeito dos desbastes, e que sejam avaliados plantios com maior tempo de resposta a tal prática. Assim será possível ter melhor compreensão dos reais efeitos dos desbastes sobre as propriedades da madeira.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, F. A. L. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L.: influência da idade e classe de produtividade.** 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11.941: Determinação da densidade básica em madeira.** Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

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.

BENDTSEN, B. A.; SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and loblolly pine. **Wood and Fiber Science**, v. 18, n. 1, p. 23-38, 1986.

COELHO, V. C. M. **Avaliação do manejo da produção econômica de madeira de *Pinus taeda* L. com características qualitativas superiores.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

COSTA, A. **Anatomia da madeira.** Coletâneas de Anatomia da Madeira. 2001. Disponível em: <<http://www.joinville.udesc.br/sbs/professores/arlindo/materiais/APOSTILANATOMIA1.pdf>>. Acesso em 08/05/2024

COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; HESS, A. F. Competition indices and their relationship with basal area increment of araucaria. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 5, p. 198-210, 2018.

COWN, D. J. Effects of severe thinning and pruning treatments on the intrinsic wood properties of young radiata pine. **New Zealand Journal of Forest Science**, Rotorua, v. 3, n. 3, p. 379-389, 1973.

CREGG, B. M.; DOUGHERTY, P. M.; HENNESSEY, T. C. Growth and wood quality of young loblolly pine trees in relation to stand density and climatic factors. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 18, n. 7, p. 851-858, 1988.

DAVID, H. C; ARCE, J. E.; OLIVEIRA, E. B; NETTO, S. P.; MIRANDA, R. O. V.; EBLING, A. A. Economic analysis and revenue optimization in management regimes of *Pinus taeda*. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, n. 3, p. 222-231, 2017.

DOBNER JÚNIOR, M. **Crown thinning effects on growth and wood quality of *Pinus taeda* stands in southern Brazil.** 2014. Tese (Doutorado) – Faculty of Environment and Natural Resources, Albert-Ludwigs – Universität Freiburg im Breisgau, Germany. 2014

DOBNER JÚNIOR, M.; HUSS, J.; TOMAZELLO FILHO, M. Wood density of loblolly pine trees as affected by crown thinning and harvest age in southern Brazil. **Wood Science and Technology**, Vienna, v. 52, n. 2, p. 465-485, 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012.

GARTNER, B. L. Plant Cells and Wood. In: V. Raghavendra, K. R. Shivashankar, S. R. Vasudeva, eds. **Plant Physiology, Development and Metabolism.** Cham: Springer, 2019. p. 495-512.

HILLIS, W.; BROWN, A. G. ***Eucalypts for wood production.*** Melbourne: CSIRO, 1984.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório Anual 2023.** Brasília, DF: IBÁ, 2023. Disponível em: < relatorio-iba-2023.pdf >. Acesso em: abril. 2024.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS – IAWA COMMITTEE. **List of microscopic features for hardwood identification.** IAWA Bulletin, Leiden v. 10, n. 3 p. 220-332, 1989.

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.

MUNER, T. S. Influência de diferentes intensidades de desbaste na qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. para produção de celulose Kraft. 1983. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1983.

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

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H.G. Efeitos dos desbastes florestais no diâmetro e altura das árvores. *Revista Campo e Negócios.* 2015. Disponível em: < <https://revistacampoenegocios.com.br/efeitos-dos-desbastes-florestais-no-diametro-e-altura-das-arvores>>. Acesso em: 08 jul. 2024.

PEDROSA, T. D. *et al.* Estimativa da biomassa em um plantio de *Eucalyptus grandis* na região Centro-Oeste. **Scientia Plena**, Aracaju, v. 9, n. 5, p.1-7, 2013.

PEREIRA, J. C. D.; TOMASELLI, I. A influência do desbaste na qualidade da madeira de *Pinus elliotti* Engelm. var. *elliottii*. **Boletim Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 9, p. 61-81, 2004.

SCHEEREN, L. W. **Estruturação da produção de povoamentos monoclonais de *Eucalyptus saligna* Smith manejados em alto fuste.** 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **Wood as an Engineering Material.** 2010. Disponível em: <www2.fpl.fs.fed.us>. Acesso em: maio. 2024.

SILVA, P. H. M.; ANGELI, A. **Implantação e Manejo de Florestas Comerciais**. Piracicaba: IPEF, 2006. (Documentos Florestais, 18).

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

ZOBEL, B. J.; VAN BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: Its causes and control**. Dordrecht: Springer Science & Business Media, 1989.