

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS – *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA
BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Júnia Laura Pêgo Ribeiro

**INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO LONGITUDINAL NAS DIMENSÕES DAS CÉLULAS
DO LENHO DE TRAÇÃO E OPOSTO DE *Eucalyptus cloeziana* F. Muell.**

São João Evangelista

2024

JÚNIA LAURA PÊGO RIBEIRO

**INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO LONGITUDINAL NAS DIMENSÕES DAS CÉLULAS
DO LENHO DE TRAÇÃO E OPOSTO DE *Eucalyptus cloeziana* F. Muell.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Bacharelado em Engenharia Florestal, do Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista, para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Florestal.

Orientadora: Caroline Junqueira Sartori.

São João Evangelista
2024

R484i Ribeiro, Júnia Laura Pêgo.
Influência da variação longitudinal nas dimensões das células do lenho de tração e oposto de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. / Júnia Laura Pêgo Ribeiro – 2024.
36f.

Orientador: Dra. Caroline Junqueira Sartori
Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Engenharia Florestal) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* São João Evangelista, 2024.

1. Declividade. 2. Fibras. 3. Lenho de tração. 4. Anatomia. I. Ribeiro, Júnia Laura Pêgo. II. Instituto Federal de Minas Gerais *Campus* SJE. III. Título.

CDD 634.973766

Catálogo: Esther Soares Cunha - CRB-6/MG-0033725/P


JÚNIA LAURA PÊGO RIBEIRO

**INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO LONGITUDINAL NAS DIMENSÕES DAS
CÉLULAS DO LENHO DE TRAÇÃO E OPOSTO DE *Eucalyptus cloeziana* F.
Muell.**


Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso Bacharelado em
Engenharia Florestal, do Instituto Federal
de Minas Gerais – Campus São João
Evangelista, para obtenção do grau de
bacharel em Engenharia Florestal.

Orientadora: Caroline Junqueira Sartori.

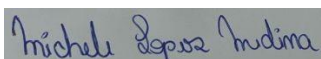
Aprovado em: 23/02/2024 pela banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 CAROLINE JUNQUEIRA SARTORI
Data: 28/02/2024 10:13:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Caroline Junqueira Sartori – IFMG (Orientadora)

Documento assinado digitalmente
 BRUNO OLIVEIRA LAFETA
Data: 28/02/2024 10:32:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Bruno Oliveira Lafetá – IFMG



Michele Lopes Medina - UFLA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela força, sabedoria e cuidado comigo durante todo o processo. Alguns dias foram longos e cansativos, cheios de adversidades, mas até aqui Ele me sustentou e não me deixou desistir, me permitindo desfrutar da vitória!

Agradeço à minha família pelo apoio moral, financeiro e por não medirem esforços para que eu conseguisse chegar até aqui. Agradeço, em especial, à minha mãe Delmira (*in memoriam*), que sempre acreditou em mim, apesar de toda dificuldade que ela já previa que eu iria passar. Agradeço ao meu pai Venceslau; meus irmãos Júlio e Karine – que não me deixou desistir e me ajudou muito como voluntária e com os equipamentos; ao meu companheiro Lafaiete, quem mais sofreu e comemorou comigo, que se esforçou muito pra “segurar as pontas” durante esse tempo, em todos os sentidos; ao sobrinho Willian que me auxiliou muito nos momentos finais deste ciclo; e ao meu presente de Deus, minha razão pra continuar lutando todos os dias, meu bem mais precioso, meu filho Rafael.

Obrigada aos meus amigos da faculdade e da vida, por me darem forças e me fazerem sorrir. Obrigada aos colaboradores voluntários envolvidos na execução deste trabalho, sem vocês ele seria muito mais difícil. Obrigada aos professores da graduação que tanto me ensinaram a crescer em conhecimento acadêmico, profissional e pessoal. Obrigada ao Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus* São João Evangelista, pelo ensino e estrutura física de qualidade, e por todos os servidores que empenharam de forma admirável suas atividades, sempre me auxiliando quando necessário.

Meu agradecimento especial à minha professora, orientadora e amiga Caroline Sartori, pelo tempo empenhado a mim, aos conhecimentos repassados, auxílios, apoios e momentos de distração, te admiro muito! Ao professor, coordenador de curso e orientador de estágio Bruno Lafetá por se colocar à disposição para a parte estatística empregada neste projeto. Ao técnico de Laboratório Ricardo Gomes, por todas suas muitas pesquisas e pela responsabilidade sobre a parte técnica tão bem realizada.

Agradeço a todos pela paciência e por não desistirem de mim. Essa conquista também é de vocês.

EPÍGRAFE

“Até aqui nos ajudou o Senhor. 1 Samuel 7.12". Nesta vida, a gente conta com quem tá, abraça quem nos apoia, almeja o possível, alcança o impossível. Cair às vezes. Desistir jamais.”

Iluminado

RESUMO

O gênero *Eucalyptus* corresponde às espécies florestais exóticas mais plantadas no Brasil, para suprir a demanda por madeira para atender diferentes setores, principalmente de celulose. A madeira é um material heterogêneo, o qual possui variabilidade entre espécies, indivíduos e até mesmo dentro da árvore em função de sua localização (idade). O estado de Minas Gerais tem grande importância no setor florestal, devido à extensa área de floresta plantada. Porém, o estado possui topografia bastante acidentada, o que pode afetar as características da madeira. O objetivo deste trabalho foi de analisar a variação longitudinal e lenho de tração e oposto em índices de qualidade da madeira de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. para indústria de papel. Para este estudo foram utilizados três indivíduos de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. provenientes de um plantio localizado em terreno declivoso no Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista. Destes, foram retirados discos de aproximadamente 4 cm nas posições de 0 (base), 25, 50, 75 e 100% da altura comercial. Os discos foram demarcados na posição superior (lenho de tração) e inferior à inclinação do tronco (lenho oposto). As fibras foram individualizadas pelo processo de maceração, e foram determinadas em 30 medições o comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura de parede das fibras. De posse dos dados, foram determinados os índices de qualidade da madeira: índice de Runkel, índice de flexibilidade, índice de enfiamento e fração parede. Para comprimento, largura e espessura da parede das fibras não houve diferença estatística significativa em função da posição longitudinal. Para diâmetro do lume, em ambos os lenhos verificou-se diferença estatística significativa em função da posição longitudinal. A diferença entre os lenhos oposto e de tração foram verificados somente para a variável comprimento das fibras. Já para os índices, não foram verificadas diferenças estatísticas significativas entre os lenhos oposto e de tração. Em função da posição longitudinal foi verificada diferença somente para a Fração parede no lenho de tração. Os valores dos índices verificados nesta pesquisa para as fibras da madeira de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. estão fora dos valores ideais para a produção de papel.

Palavras-chave: Declividade. Fibras. Lenho de tração. Anatomia.

ABSTRACT

The genus *Eucalyptus* corresponds to the most planted exotic forest species in Brazil, to meet the demand for wood to serve different sectors, mainly cellulose. Wood is a heterogeneous material, which has variability between species, individuals and even within the tree depending on its location (age). The state of Minas Gerais is of great importance in the forestry sector, due to the extensive area of planted forest, however, the state has a very rugged topography, which can affect the characteristics of the wood. The objective of this work was to analyze the longitudinal variation in tensile and opposite wood quality indices of *Eucalyptus cloeziana* F. Muell wood. for the paper industry. For this study, three individuals of *Eucalyptus cloeziana* F. Muell were used. coming from a plantation located on sloping land at the Federal Institute of Minas Gerais – Campus São João Evangelista. From these, approximately 4 cm discs were removed at positions 0 (base), 25, 50, 75 and 100% of the commercial height. The discs were marked in the upper position (traction beam) and lower than the trunk inclination (opposite beam). The fibers were individualized by the maceration process, and the length, width, lumen diameter and wall thickness of the fibers were determined in 30 measurements. With the data in hand, the wood quality indices were determined: Runkel index, flexibility index, felting index and wall fraction. For length, width and wall thickness of the fibers there was no statistically significant difference depending on the longitudinal position. For lumen diameter, in both woods there was a statistically significant difference depending on the longitudinal position. The difference between the opposite and traction woods was verified only for the variable fiber length. As for the indices, no significant statistical differences were found between the opposite and traction wood. Depending on the longitudinal position, a difference was only observed for the wall fraction in the tensile wood. The index values verified in this research for *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. are outside the ideal values for paper production.

Keywords: Slope. Fibers. Traction wood. Anatomy.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 Gênero <i>Eucalyptus</i>	10
2.2 Anatomia do lenho	10
2.3 Madeira de reação	13
2.4 Madeira de tração	15
2.5 Celulose e papel	15
3. METODOLOGIA.....	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
5. CONCLUSÕES	30
REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

O consumo crescente de papel e derivados da celulose impulsionou a demanda por matéria-prima na indústria. A madeira se tornou a principal fonte devido à sua versatilidade, viabilizando a produção de papel e outros produtos. A madeira também apresenta vantagens como produção sazonal, facilitando a colheita e o transporte, além da possibilidade de armazenamento por longos períodos e homogeneidade aprimorada pelas técnicas de melhoramento florestal (RODRIGUES, 2010). Esses fatores contribuíram para o aumento significativo da área de florestas plantadas ao longo do tempo.

As árvores são seres vivos complexos, dotados de variações em suas propriedades anatômicas, físicas, mecânicas e químicas (Cruz *et al.*, 2003). Segundo Zobel e Jett (1995), as variações nos lenhos das árvores ocorrem por fatores genéticos e ambientais como o clima, o solo e a topografia, e pela interação entre esses dois fatores.

A madeira é um material heterogêneo. Suas características variam nos sentidos radial e longitudinal, e entre células e tecidos, devido a idade, espaçamento, sítio, nutrição ou interações ambientais da planta e, conforme a idade da árvore aumenta, elas tendem a se estabilizar (TRUGILHO *et al.*, 2014).

Vários estudos têm sido conduzidos objetivando a melhoria da qualidade da madeira e dos produtos finais derivados dela, o aumento da produtividade das florestas e a diminuição dos custos envolvidos. Em relação à melhoria da qualidade da polpa celulósica, as indústrias têm investido em seleção de clones com melhor desempenho para obtenção de matéria-prima (JARDIM *et al.*, 2017).

Como resultado do investimento em pesquisas, de acordo com o IBÁ (2022), a produtividade média das florestas brasileiras de eucalipto subiu de 10 m³/ha/ano em 1970 para 38,9 m³/ha/ano em 2021.

Em relação à anatomia da madeira, sua importância se dá por possibilitar a avaliação e diagnóstico do comportamento da madeira, visto que as características anatômicas variam de espécie para espécie, entre as espécies e até dentro da mesma árvore. O crescimento das árvores em condições desfavoráveis de solo, clima e topografia podem interferir, e, por consequência, na sua utilização na produção do papel (RODRIGUES, 2010).

Segundo Florsheim *et al.* (2009), o elemento anatômico de maior relação com as propriedades do papel é a fibra, cujas dimensões interferem de forma direta na densidade da madeira e a produção de papel.

No Brasil, as madeiras de espécies do gênero *Eucalyptus*, plantadas em diferentes terrenos, são as mais utilizadas como fonte de matéria-prima para o setor de celulose e papel, por apresentar alta produtividade, boa adaptação às condições edafoclimáticas do país e grande diversidade de espécies. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2023), as espécies de *Eucalyptus* corresponderam a cerca de 76% do total de florestas plantadas do país, em 2022.

O emprego de melhoramento genético é muito utilizado por empresas de celulose e papel no Brasil, visando o rápido crescimento e a seleção de características desejáveis aos clones para uma melhor qualidade do produto final. Segundo Souza (2004), o melhoramento genético, por vezes, faz com que a resistência mecânica das árvores seja diminuída, sobretudo nos primeiros anos de vida.

A diminuição da resistência somada à ocorrência de ventos fortes nas áreas dos plantios faz, muitas vezes, com que as árvores se inclinem, modificando suas características físicas, químicas e anatômicas, formando os chamados lenhos de reação. Essas são modificações importantes para a utilização da madeira e qualidade do produto final (SOUSA, 2004).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi de analisar a variação longitudinal e lenho de tração e oposto em índices de qualidade da madeira de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. para indústria de papel.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Gênero *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus* é nativo da Austrália, pertence à família Myrtaceae e conta com mais de 700 espécies já catalogadas (BOSCARDIN, 2009; LONGUE JÚNIOR; COLODETTE, 2013). Dentro do gênero *Eucalyptus* existem diferenças entre materiais genéticos bem marcantes, peculiares e bem definidas, sendo que a qualidade do sítio afeta a produtividade da floresta (TRUGILHO *et al.*, 2014) e pode provocar variações na formação e crescimento do lenho, alterando a qualidade da madeira (LARSON *et al.* 2001).

As propriedades apresentadas pelo gênero *Eucalyptus* se diferenciam nos sentidos medula-casca e base-topo das árvores. Estudar essas variações é de grande importância para definição de melhor uso e melhor forma de processamento, tanto para minimizar os defeitos quanto para aumento do rendimento (CRUZ *et al.*, 2003). O eucalipto possui celulose de fibra curta, com boas características para a fabricação de papéis de imprimir, escrever e sanitários (tissue) (RODRIGUES, 2010).

Em 2022, no Brasil, os plantios de eucalipto ocuparam 7,6 milhões de hectares, dos 9,94 milhões de hectares ocupados por florestas plantadas no país. Os principais estados produtores são Minas Gerais, responsável por cerca de 29% dos plantios, Mato Grosso do Sul, com cerca de 14% e São Paulo, com cerca de 13% (IBÁ, 2023).

As principais utilizações de espécies de *Eucalyptus* no Brasil se destinam aos setores de celulose e papel, seja para imprimir/escrever ou tissue (papéis absorventes) (RODRIGUES, 2010), para energia e produtos sólidos de madeira e como suprimento indireto para a produção de energia, por meio do carvão vegetal (LONGUE JÚNIOR; COLODETTE, 2013).

2.2 Anatomia do lenho

A fibra, no sentido botânico, representa uma única célula vegetal alongada e de parede espessa. A união de várias fibras formando um longo fio

fibroso é chamada de “feixe fibroso”. O termo “fibra” também pode ser utilizado em referência ao setor de polpa de celulose e do papel (SORIEUL *et al.*, 2016).

As principais fontes fibrosas possuem origens vegetais, animais ou minerais, sendo que, para a produção de celulose e papel, as mais utilizadas são as fibras vegetais, por serem fontes renováveis e fáceis de conseguir em maiores quantidades. A escolha da espécie é definida de acordo com o uso final da fibra, para o tipo desejado de papel (RODRIGUES, 2010).

As fibras vegetais utilizadas na produção de papel podem ser produzidas tanto no crescimento primário quanto no crescimento secundário da planta. O crescimento primário produz material não lenhoso e folhas, tendo como funções o suporte mecânico e a caracterização quanto à forma para a planta, enquanto o crescimento secundário produz material lenhoso cujas funções são condução de seiva suporte mecânico (SORIEUL *et al.*, 2016). As propriedades das fibras naturais variam de acordo com a composição química e estrutural, que, por sua vez, dependem do tipo de fibra, condições de crescimento, método utilizado para a extração, época de colheita, tipo de tratamento empregado e condições de armazenamento (PICKERING *et al.*, 2016).

A arquitetura da parede celular do vegetal é determinante para a definição das propriedades das fibras. A parede celular das plantas terrestres é constituída por uma estrutura de microfibrilas de celulose incorporada em uma matriz amorfa contendo hemiceluloses, pectina, lignina e proteínas (SORIEUL *et al.*, 2016). A celulose é um polissacarídeo constituído por moléculas de glucose unidas entre si por ligações glicosídicas do tipo β (1-4). As hemiceluloses são grupos distintos de polissacarídeos de açúcares pentoses e/ou hexoses, ácidos urônicos e grupos de acetila. A lignina é uma macromolécula sintetizada a partir de três álcoois precursores, que, a depender do grau de metoxilação do anel aromático, possui como unidade básica *p*-hidróxi-fenil, derivada do álcool *p*-cumarílico, guaiacil, derivada do álcool coniferílico ou siringil, derivada do álcool sinapílico (CARVALHO *et al.*, 2009).

As matérias-primas vegetais dominam a produção de fibras para papel e celulose. O consumo crescente de papel elevou a madeira à posição de principal fonte de matéria-prima para o setor. Essa posição se justifica por diversos fatores, como a fácil exploração econômica da madeira, sua natureza renovável (DIAS; SIMONELLI, 2013) e sua ampla disponibilidade. Além disso, a madeira não se

deteriora rapidamente com o armazenamento, possui custos mais baixos de colheita, transporte e conversão, alto rendimento, boa qualidade e oferece suprimento suficiente para garantir a lucratividade da operação (BITTENCOURT, 2004). Entre as madeiras utilizadas para a produção de pasta celulósica, o eucalipto se destaca como a principal fonte de matéria-prima (SARTO; SANSIGOLO, 2010).

As características físicas e químicas de uma árvore ou de suas partes definem a qualidade que ela possui, e são fundamentais para determinar a qualidade dos produtos finais (TRUGILHO *et al.*, 2014). A qualidade da madeira é um dos fatores mais importantes para a produção de polpa celulósica, pois está diretamente relacionada ao alto rendimento industrial, baixo custo de produção e alta qualidade do produto (GOUVEA *et al.*, 2009).

Segundo Rodrigues (2010), essa qualidade pode ser mensurada através de diferentes características de acordo com sua finalidade. Para o setor de celulose e papel, os parâmetros avaliados são relacionados às propriedades físicas, químicas e, principalmente, às características anatômicas da madeira, pois através dela é possível avaliar e diagnosticar o comportamento da madeira, levando em consideração que essas características se diferem de espécie para espécie, entre espécies e dentro de uma mesma árvore.

As propriedades anatômicas avaliadas pertencem aos elementos fibrosos das polpas, enquanto a qualidade é influenciada pelas características morfológicas das fibras e pela relação entre quantidade de fibras por unidade de massa. Quanto maior a espessura da parede celular das fibras, mais volumosos foram os papeis, favorecendo a maciez e a opacidade, a depender do tipo de papel produzido. A polpa com maior número de fibras por grama gera melhoria na opacidade, devido ao maior número de superfícies ópticas para a dispersão de luz no papel (GOMIDE *et al.*, 2005).

Um mesmo clone pode apresentar polpas com comportamentos diferenciados. As fibras mais longas contribuem para maior resistência ao rasgo, enquanto as fibras mais curtas contribuem para uma boa formação das folhas (GOMIDE *et al.*, 2005).

A constituição química da madeira, as características estruturais e anatômicas e as características tecnológicas envolvidas na produção de polpa celulósica são fatores importantes a serem analisados em relação à qualidade da madeira. No Brasil, normalmente, se determina a densidade básica da madeira, teor

de lignina Klason solúvel e insolúvel e o teor de extrativos solúveis em mistura de álcool e tolueno ou acetona para avaliação da qualidade da madeira (GOMIDE; FANTUZZI NETO; REGAZZI, 2010).

Os parâmetros anatômicos são importantes como índices de qualidade na produção de papel, no ponto de vista técnico e econômico. Através da anatomia consegue-se quantificar e classificar os elementos anatômicos que foram utilizados no processo de polpação, além de fornecer conhecimento prévio do material a ser utilizado (RODRIGUES, 2010).

2.3 Madeira de reação

Alguns fatores ambientais como o clima, o solo e a topografia, podem causar modificações nos lenhos das árvores. Características como o plantio em encostas, a ação de ventos ou a ocorrência de copa assimétrica, tendem a formar um lenho diferenciado, denominado lenho de reação (MONTEIRO *et al.*, 2007).

Segundo Simpson e Tenwolde (1999), este lenho diferenciado se caracteriza pela inclinação ou tortuosidade do fuste e ocorre como uma resposta natural da árvore para retornar os seus membros ou fuste para a posição normal durante ou após a ação de forças. Para Green *et al.* (1999), citado por Monteiro *et al.* (2007), a ocorrência do sua é mais susceptível em algumas espécies em comparação a outras, e as propriedades físicas, químicas, anatômicas e mecânicas deste lenho se diferem do lenho normal.

A madeira de reação é considerada comum nas plantas lenhosas, podendo ser complexa ou pouco perceptível na caracterização das células. Ao se desviar de sua posição vertical, as células se reorientam, formando um lenho de estrutura atípica, o lenho de reação, que, por menor que seja sua quantidade, causa mudanças em suas propriedades. Apesar de sua pequena quantidade, a madeira de reação gera mudanças significativas nas propriedades do material, impactando sua qualidade. Por isso, é classificada como um defeito. (VIDAURRE *et al.*, 2013).

A madeira de reação é formada por meio de estímulos mecânicos, pela ação da gravidade e em situações de inclinação das árvores, em que o câmbio é alterado fisiologicamente, a fim de auxiliar a planta a voltar ao seu estado ereto após sofrer o estresse mecânico. Sua ocorrência é mais comum em árvores jovens, por serem pequenas e mais flexíveis. (VIDAURRE *et al.*, 2013), podendo, também,

ocorrer em caules retos, verticais e bem crescidos, apesar de pouco comum (AGUAYO *et al.*, 2010).

Nas árvores folhosas, ele é chamado de lenho de tração (VIDAURRE *et al.*, 2013) e ocorre no lado superior do lenho inclinado (SIMPSON E TENWOLDE, 1999), enquanto nas coníferas, o lenho de reação é chamado de lenho de compressão (MONTEIRO *et al.*, 2007) e ocorre do lado inferior do lenho inclinado (SIMPSON E TENWOLDE, 1999).

2.4 Madeira de tração

O lenho de tração causa reorientação do lenho por contração longitudinal. Ele se forma, em geral, na parte superior da inclinação, podendo ser formada com pouca evidência de excentricidade, em algumas espécies (SOUSA, 2004; VIDAURRE *et al.*, 2013).

Em árvores recém cortadas, a madeira de reação pode ser percebida macroscopicamente, sendo uma madeira mais clara e brilhante. Na madeira seca ela só é detectada microscopicamente. A presença da madeira de tração gera dificuldades nos processos de desdobro, secagem e acabamento (VIDAURRE *et al.*, 2013).

Em madeiras de *Eucalyptus*, tem-se como indicativo da presença de madeira de tração a elevada retratibilidade e alta densidade básica ao se comparar com as madeiras normais. Ambas as características são parâmetros para avaliação da qualidade da madeira (MONTEIRO *et al.*, 2007).

As fibras dos lenhos de reação possuem parede celular mais espessa (VIDAURRE *et al.*, 2013), devido à presença da camada gelatinosa, que se localiza do lado interno da célula, voltada para o lúmen, constituída principalmente por celulose. Contudo, este não deve ser um indicador de presença de lenho de reação nas folhosas. O comprimento das fibras também é significativamente maior que nas madeiras normais. O tamanho e a frequência dos vasos são menores na madeira de tração (SOUSA, 2004).

A organização da camada gelatinosa das fibras pode se apresentar de três formas: em adição às três camadas já existentes na parede celular secundária lignificada; substituindo a camada S3, permanecendo as camadas S1 e S2

normalmente; ou as camadas da parede podem ser reduzidas à uma espessa camada gelatinosa (SOUSA, 2004).

Quimicamente, a madeira de tração possui menor teor de lignina Klason insolúvel, formada, principalmente, por unidades siringil (AGUAYO *et al.*, 2010) e baixo teor de extrativos, com conseqüente aumento no teor de holoceluloses (SOUSA, 2004).

A madeira de tração oferece maiores rendimentos de polpa química e pode ser mais facilmente desfibrilada se comparada à madeira normal. O alto teor de celulose também contribui para este maior rendimento, de cerca de 58% para a madeira de tração, enquanto o rendimento da madeira normal é cerca de 49%. Entretanto, as fibras da madeira de tração conferem menor resistência ao papel produzido, considerando-se, então, que a qualidade da celulose é significativamente menor quando produzida com madeira de tração (SOUSA, 2004).

2.5 Celulose e papel

A indústria de celulose e papel tem grande importância na economia mundial e brasileira, seja pela grande geração de empregos diretos e indiretos, quanto pela maior agregação de valor aos produtos florestais, aumento da arrecadação de tributos, pelo valor movimentado em exportações etc. (RODRIGUES, 2010).

No Brasil, o setor de celulose e papel é suprido por matérias-primas de várias espécies, destacando-se, segundo a ABRAF (2009), o gênero *Eucalyptus*, com cerca de 2,4 milhões ha, e *Pinus*, com 314,4 mil ha. A maior parte dos plantios se localizam nas regiões Sul e Sudeste do país. Os principais motivos para a grande utilização dessas espécies são as condições de solo, topografia, recursos hídricos e clima do Brasil, que, em conjunto com capacidade tecnológica florestal, favorecem a produção de madeira em tempo e área de cultivo menores, resultando em rendimento maior a um menor custo por área (RODRIGUES, 2010).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2022), o setor de celulose e papel contribui significativamente nas exportações brasileiras, sendo um dos 10 maiores produtores de papel do mundo em 2020, com as exportações de papel somando 2,1 milhões de toneladas. Em relação à produção de celulose, segundo o IBÁ (2023), o Brasil ocupou a segunda posição no ranking global de

produtores em 2022, com a marca de 25 milhões de toneladas produzidas, sendo 22 milhões de toneladas para fibra curta, 2,5 milhões de toneladas fibra longa e 0,5 milhão para pasta de alto rendimento, registrando um crescimento de 10,9% em relação a 2021.

O principal método para a produção de papel e celulose no Brasil é o chamado “*Kraft*”. O país contribui de forma significativa na produção de celulose *Kraft* de eucalipto, no cenário mundial, devido ao forte investimento em pesquisa e desenvolvimento, condições edafoclimáticas favoráveis ao cultivo e grande disponibilidade de áreas para o plantio desta espécie (MORAIS, 2008).

O processo de produção de celulose branqueada é dividido em três etapas. A primeira delas é a escolha da madeira e cultivo dos clones selecionados para o suprimento de madeira. A segunda etapa é a polpação *Kraft*, que consiste em remover a lignina para a separação das fibras de celulose. A terceira etapa é o branqueamento da polpa produzida na etapa de polpação (CARVALHO; SILVA; COLODETTE, 2014).

A dinâmica e eficiência da polpação *Kraft* depende da quantidade e do tipo de lignina, que influencia no grau de deslignificação e/ou economia no processo. A formação dos ácidos hexenurônicos a partir dos ácidos urônicos, presentes em quantidades consideráveis na madeira de eucalipto, também está relacionada com a polpação e a qualidade da madeira (CARVALHO; SILVA; COLODETTE, 2014). Durante o processo de polpação, as fibras são separadas a altas temperaturas, por meio de licor de polpação misturado a regentes de NaOH e Na₂S, degradando as ligninas e carboidratos (MORAIS, 2008).

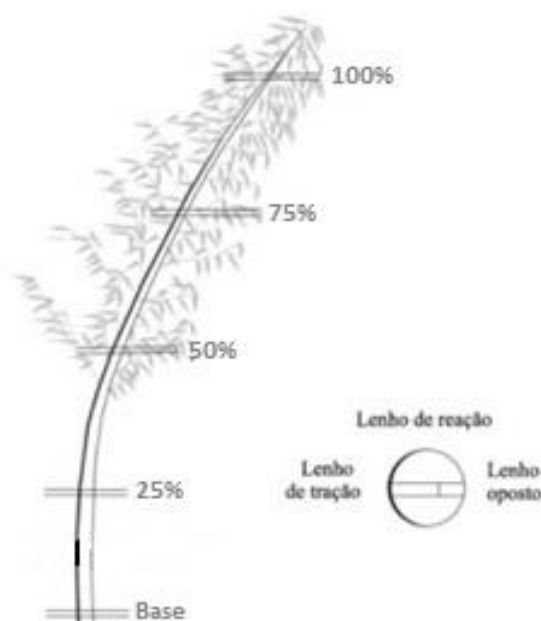
Dentre as madeiras utilizadas para a polpação *Kraft*, a do eucalipto se destaca por ser facilmente penetrada pelo licor de cozimento, possuir lignina de fácil remoção e bons rendimentos na conversão em celulose (FOELKEL, 2009).

3 METODOLOGIA

Para realização deste trabalho, foram utilizados três indivíduos de *Eucalyptus cloeziana*, provenientes de plantio localizado no Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista, em terreno com declividade de 34% e com, aproximadamente, 10 anos de idade. O plantio se encontra em área da região centro nordeste de Minas Gerais, localizada na bacia hidrográfica do Rio Doce, sub bacia do rio Suaçuí Grande. O clima da região, segundo Köppen (2010), é do tipo Cwa, temperado chuvoso-mesotérmico, possuindo inverno seco e verão chuvoso, com clima predominante do tipo tropical, com temperatura anual máxima média de 27°C e mínima média de 22° C, precipitação média anual de 1.180 mm e altitude média de 680m (PINHEIRO *et al.*, 2010). O relevo da região é ondulado e montanhoso, possui grande potencial hídrico e fertilidade média (BRAGA *et al.*, 1999; BARBOSA *et al.*, 2010).

Foram retirados discos de aproximadamente quatro centímetros de espessura e nas posições “base” – 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial calculada, de três indivíduos de *E. cloeziana* localizadas no terreno declivoso. Os discos foram demarcados na posição superior do terreno (lenho de tração) e inferior à inclinação do tronco (lenho oposto), conforme Figura 1.

Figura 1 - Obtenção das amostras de madeira de tração e oposto.



Fonte: Adaptada de: BOSCHETTI *et al.*, 2019, p. 461.

Após a separação da madeira em duas partes - lenho de tração e lenho oposto, o material foi transportado ao laboratório de Tecnologia da Madeira, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus São João Evangelista. As amostras foram retiradas em formato de lascas de madeira de cerca de 1 cm na direção radial, com o uso de estilete, para análise das dimensões das fibras em diferentes posições.

Para a mensuração das características individuais das fibras nas diferentes posições, as amostras foram maceradas com a solução de Franklin (1975), constituída por peróxido de hidrogênio e ácido acético 1:1, permanecendo em estufa a 60°C por cerca de 24h. Após o período, o material foi lavado com água destilada e corado com solução aquosa de safranina 1% (m/v), para facilitar a individualização das fibras sobre lâmina temporária, cuja montagem foi feita com o uso de glicerina 50% (v/v) e lamínulas.

As dimensões das fibras foram obtidas por meio de imagens com uso do microscópio óptico trinocular Biofocus com câmera digital moticom 1000 1.3 Mpixel acoplada e *software* Motic Plus Images 2.0. Para a obtenção dos comprimentos das fibras utilizou-se a objetiva de 4x de aumento. Para largura e diâmetro do lume utilizou-se o aumento de 40x.

Em cada amostra de árvore e posição, foram medidas em 30 fibras as dimensões, como: comprimento das fibras (L), largura das fibras (D), diâmetro do lume (d) e a espessura da parede celular (e), determinada pela equação 1:

$$EP = \frac{L - DL}{2}$$

Em que:

EP: Espessura da parede das fibras, μm ;

L: Largura das fibras, μm ;

DL: Diâmetro do lume das fibras, μm .

A partir das medidas encontradas foram calculados os seguintes índices qualitativos importantes para a produção de celulose e papel:

- Índice de Runkel (IR) (FOELKEL, 1975):

$$IR = \frac{2 \times EP}{DL}$$

- Fração de Parede (FP) (FOELKEL, 1975):

$$FP = \frac{2 * EP}{L} * 100$$

- Coeficiente de Flexibilidade (CF) (FOELKEL,1975):

$$CF = \frac{DL}{L} * 100$$

- Índice de Enfeltramento (IE) (CASTELO, 2007):

$$IE = \frac{C}{L}$$

Em que:

EP – Espessura da parede celular, μm ;

DL – Diâmetro do lume da fibra, μm ;

L – Largura da fibra, μm ;

C – Comprimento da fibra, μm ;

IR – Índice de Runkel;

CF – Coeficiente de Flexibilidade, %;

IE – Índice de Enfeltramento;

FP: Fração parede, %.

Por fim, retirou-se as medianas dos valores obtidos nas diferentes posições longitudinais em ambos os lenhos, de modo a obter uma amostragem em tal direção. Os valores verificados nas diferentes posições longitudinais foram submetidos aos testes de Kruskal-Wallis e de Mann-Whitney com correção de Bonferroni, ambos ao nível de significância de 5%. Todas as análises estatísticas foram efetuadas com auxílio do *software* R (R CORE TEAM, 2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1 são apresentados os valores medianos encontrados na madeira de *Eucalyptus cloeziana* onde foram demarcados na posição superior do terreno declivoso (lenho de tração) e inferior à inclinação do tronco (lenho oposto) na madeira. Os valores correspondem aos dados de comprimento, largura das fibras, diâmetro do lume, espessura da parede, percentual de Fração da Parede, Índice de Runkel, Índice de Enfeltramento e Coeficiente de Flexibilidade das fibras da madeira nas diferentes posições longitudinais.

Tabela 1 - Valores medianos das características anatômicas de *E. cloeziana*.

Lenho	Posição longitudinal (%)									
	0		25		50		75		100	
Comprimento										
Oposto	937,00	Aa	982,00	Aa	977,00	Aa	988,00	Aa	922,00	Ba
Tração	894,00	Aa	957,00	Aa	999,00	Aa	895,00	Aa	957,00	Aa
Largura da fibra										
Oposto	18,90	Aa	19,10	Aa	17,60	Aa	18,50	Aa	16,60	Aa
Tração	17,90	Aa	18,70	Aa	17,80	Aa	18,40	Aa	17,40	Aa
Diâmetro do Lume										
Oposto	8,60	Aa	7,15	Aa	5,77	Aab	5,14	Aab	4,85	Ab
Tração	7,13	Aa	7,16	Aa	5,57	Ab	4,95	Aab	5,78	Aab
Espessura da parede										
Oposto	6,02	Aa	5,74	Aa	6,08	Aa	6,14	Aa	5,65	Aa
Tração	5,61	Aa	5,48	Aa	6,05	Aa	6,71	Aa	6,27	Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelos testes de Kruskal-Wallis e de Mann-Whitney a 5% de significância.

Conforme observado na Tabela 1, os comprimentos medianos das fibras da madeira de *E. cloeziana*, no lenho oposto variaram de 922,00 μm (100% da altura comercial, lenho oposto), a 999,00 μm (75% da altura comercial, lenho de tração).

Para variável comprimento, observou-se diferença estatística significativa entre lenho oposto e de tração apenas na posição longitudinal de 100%, cujos valores foram 922,00 μm para o lenho oposto e 957,00 μm para o lenho de tração. Ao se comparar os valores dos comprimentos das fibras nas diversas posições longitudinais dentro de um mesmo lenho da madeira não houve diferença estatística significativa, ou seja, o comprimento das fibras não foi influenciado pela posição longitudinal.

Florsheim *et al.* (2000), que observaram fibras mais longas a 25 e 75% da altura e Rocha *et al.* (2004), que encontraram fibras mais longas entre 25 e 50% da altura.

Urbinati *et al.* (2003), ao estudarem *Terminalia ivorensis*, observaram aumento no comprimento das fibras no sentido do topo, sugerindo que as variações encontradas no sentido longitudinal podem ser o reflexo das diferentes idades do câmbio ao longo da altura do tronco. Quilhó *et al.* (2006) encontraram pouca variação nas dimensões das fibras no sentido longitudinal em híbridos de *E. grandis* com *E. urophylla*, semelhante ao relatado por Wilkes (1988), ao estudar a variação anatômica em espécies de eucalipto, onde a variação no sentido longitudinal foi menor do que no sentido radial. Florsheim *et al.* (2009), ao estudar *E. dunnii*, observaram decréscimo no comprimento das fibras em direção ao topo.

Segundo Florsheim *et al.* (2009), citando Zobel & Buijtenen (1989), as variações no comprimento das fibras variam entre espécies, sendo mais comum, no entanto, observar fibras mais longas na base das árvores, devido ao aumento na proporção de lenho juvenil no sentido do topo.

Neste estudo, para o lenho oposto, maior comprimento foi verificado na posição de 75% (988,00 μm). Já para o lenho de tração, maior comprimento das fibras foi verificado na posição de 50% da altura comercial (999,00). Para ambos os lenhos, os menores comprimentos foram verificados na base, que foram de 937,00 e 894,00 μm respectivamente.

As fibras são classificadas, de acordo com seu comprimento, como extremamente curtas (menos de 500 μm); muito curtas (500 a 700 μm); moderadamente curtas (700 a 900 μm); tamanho médio (900 a 1600 μm); moderadamente longas (1600 a 2200 μm); muito longas (2200 a 3000 μm) e extremamente longas (acima de 3000 μm), segundo Metcalfe e Chalk (1983). Neste estudo, nas posições de 0 e 75% da altura comercial no lenho de tração, as fibras podem ser classificadas como moderadamente curtas e as demais de tamanho médio, seguindo a classificação de Metcalfe e Chalk (1983).

Segundo Manimekalai *et al.* (2002), as melhores fibras para a fabricação de papel são as de maior comprimento, por oferecerem maior resistência tensora e elasticidade. Já as fibras de menor comprimento oferecem melhor formação da folha de papel (ALVES *et al.*, 2011).

Segundo Panshin e Zeeuw (1980), o comprimento das fibras é maior na madeira de tração, sendo este um bom parâmetro para caracterizar e identificar a presença desse tipo de madeira. Esta característica pôde ser observada na posição longitudinal 100% do comprimento, conforme Tabela 1, onde houve diferença estatística entre os valores de lenho oposto (922,00 μm) e de tração (957,00 μm), sendo o valor do comprimento das fibras no lenho de tração estatisticamente maior que o valor o lenho oposto.

A largura mediana das fibras da madeira de *E. cloeziana*, de acordo com a Tabela 1, variaram de 16,60 μm (100% da altura comercial, lenho oposto) a 19,10 μm (25% da altura comercial, lenho oposto). Já para o lenho de tração menor valor verificado foi de 17,4 μm (100% da altura comercial) e maior valor foi de 18,7 μm (25% da altura comercial).

Não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre as larguras das fibras nos lenhos oposto e de tração, bem como entre as diferentes posições longitudinais em ambos os lenhos.

Este estudo se assemelha aos de Florsheim *et al.* (2000), que, ao estudarem *E. saligna*, encontraram os maiores valores da largura das fibras na posição de 25% da altura comercial e de Rocha *et al.* (2004), que encontraram as menores larguras no topo de *E. grandis*. No entanto, contraria os estudos de Florsheim *et al.* (2009) que constataram que os maiores valores de largura das fibras de *E. dunnii* foram observados a 50% da altura comercial, diferindo estatisticamente apenas do menor valor verificado a 100% da altura comercial e de Gonzalez *et al.* (2014) que, ao observarem as larguras das fibras de *E. urograndis*, encontraram pouca variação e ausência de uniformidade dos valores entre as posições, sendo os menores valores encontrados nas posições de 25% e 100% do fuste.

De acordo com a literatura, algumas médias de valores de largura das fibras foram: *E. benthamii* (16 μm), *E. dunnii* (17 μm), *E. grandis* (18 μm) e *E. saligna* (15,7 μm), conforme Baldin *et al.* (2017), *E. acmenioides* (19,5 μm), *E. pellita* (18,7 μm) e *E. globulus* (17,1 μm), segundo Tomazello Filho (1987). Neste estudo, encontrou-se como média de largura das fibras o valor de 18,09 μm para o *E. cloeziana*, sendo este um valor semelhante aos outros autores.

Segundo Santos (2005), as fibras mais largas prejudicam a resistência à tração e ao arrebentamento, devido à imperfeição do ajuste das mesmas no papel, prejudicando a ligação entre as elas.

Em relação ao diâmetro dos lumes verificou-se diferença estatística significativa apenas em função da posição longitudinal em ambos os lenhos. O diâmetro do lume das fibras da madeira de *E. cloeziana*, de acordo com a Tabela 1, no lenho oposto, obteve o menor valor na posição 100%, com 4,85 μm e se difere estatisticamente do maior valor, 8,60 μm na base da madeira. No lenho de tração, o menor valor, 4,95 μm na posição 75%, se difere estatisticamente do maior valor, 7,16 μm na posição 25% da altura comercial.

Florsheim *et al.* (2009) encontraram, para o diâmetro do lume, o menor valor na posição de 100% da altura comercial, que se difere estatisticamente do maior valor, a 25% da altura comercial. Para Florsheim *et al.* (2000), Urbinati *et al.* (2003) e Tomazello Filho (1987), não houve variação consistente. Rocha *et al.* (2004) encontrou os maiores lumes até 75%, o mesmo comportamento foi verificado neste estudo para o lenho oposto. González *et al.* (2014), em seu estudo, encontraram o maior valor na base.

Segundo Boschetti *et al.* (2015), a inclinação do tronco influencia nos resultados tanto da largura quanto no diâmetro do lume das fibras, sendo que os lenhos de tração apresentaram menor diâmetro do lume em comparação com o lenho oposto. Aguayo *et al.* (2010), por sua vez, encontraram em seus estudos com *E. globulus*, maiores valores para largura de fibra, maior espessura de parede e menor diâmetro de lume nas fibras do lenho de tração, quando comparadas às fibras do lenho oposto, contrariando Boschetti *et al.* (2015).

A espessura da parede celular das fibras foi obtida de forma indireta por meio da dissociação dos elementos celulares. Não foi verificada diferença estatística significativa em função da posição longitudinal bem como para os lenhos oposto e de tração. Para *E. cloeziana*, de acordo com a Tabela 1, no lenho oposto, o menor valor foi 5,65 μm na posição 100% e não se difere estatisticamente do maior valor, 6,14 μm na posição 75%. No lenho de tração, o menor valor, 5,48 μm na posição 25%, não se difere estatisticamente do maior valor, 6,71 μm na posição 75% da altura comercial.

González *et al.* (2014) encontraram, em *E. urograndis*, valores menores de espessura da parede das fibras na parte inicial do fuste, até 25%, aumentando a 50% e permanecendo com valores semelhantes até 100%. Seus resultados não condizem com os valores deste trabalho, que não apresentaram nenhum padrão de crescimento ao longo de suas posições.

Manimekalai *et al.* (2002) classificaram a parede das fibras, de acordo com a espessura, como muito espessa ($> 5 \mu\text{m}$); espessa ($3 - 5 \mu\text{m}$); delgada ($2 - 3 \mu\text{m}$) e muito delgada ($< 2 \mu\text{m}$). Portanto, em comparação com este presente estudo, a espessura da parede das fibras de madeira de *E. cloeziana*, para ambos os lenhos, são classificadas como muito espessas ($> 5 \mu\text{m}$) em todas as posições, segundo Manimekalai *et al.* (2002).

Boschetti *et al.* (2015) encontraram alterações na espessura da parede dentro do fuste de árvores inclinadas, entre o lenho de tração e o oposto, atribuindo tais resultados à própria inclinação. Para ele, a maior espessura da parede acarreta maior aspereza e rigidez da fibra, características recomendadas para a produção de papéis absorventes. Quanto à densidade da madeira, Shimoyama (1990) afirmou que a espessura da parede e o diâmetro do lume são os fatores de maior influência em sua determinação, sendo inversamente proporcionais. Para Paula (1999) as fibras com paredes mais espessas possuem maior teor relativo de celulose, existindo uma correlação positiva entre a espessura da parede e rendimento em produção de celulose, visto que são mais densos.

Para Souza (2004) e Sultana & Rahman (2013), a espessura da parede das fibras é um parâmetro muito importante para a caracterização da madeira de tração, devido à presença da camada gelatinosa. Esta alteração não pôde ser observada no presente trabalho.

Os valores medianos correspondentes aos índices qualitativos Fração de Parede, Índice de Runkel, Índice de Enfeltramento e Coeficiente de Flexibilidade, para as fibras da madeira de *E. cloeziana*, estão representados na Tabela 2, separados em lenho oposto e de tração e nas posições longitudinais 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial das árvores.

Os índices qualitativos de fibras são relações entre as dimensões fundamentais resultantes do agrupamento de fibras que se correlacionam de forma significativa com a qualidade do produto final. Os índices auxiliam também na interpretação da qualidade da madeira e da pasta de celulose (CASTELO, 2007) e na avaliação da resistência da celulose (FOELKEL, 1975).

A fração parede (FP) é definida pela relação percentual entre duas vezes a espessura da parede e a largura da fibra. Este índice está relacionado à rigidez da fibra, quanto maior este valor, maior a rigidez da fibra, o que pode se relacionar com

Tabela 2 - Valores medianos dos índices indicativos da qualidade das fibras da madeira de *E. cloeziana*.

Lenho	Posição longitudinal (%)									
	0	25		50		75		100		
	Fração Parede (%)									
Oposto	59,80	Aa	61,40	Aa	68,60	Aa	70,70	Aa	70,00	Aa
Tração	62,00	Ab	61,40	Ab	68,60	Aa	73,20	Aa	67,70	Aab
	Índice de Runkel									
Oposto	2,00	Aa	2,24	Aa	2,71	Aa	2,96	Aa	2,95	Aa
Tração	2,32	Aa	2,42	Aa	2,84	Aa	3,26	Aa	2,41	Aa
	Índice de Enfeltramento									
Oposto	53,40	Aa	56,80	Aa	58,60	Aa	55,70	Aa	57,90	Aa
Tração	52,70	Aa	55,60	Aa	60,80	Aa	55,90	Aa	59,20	Aa
	Coeficiente de Flexibilidade (%)									
Oposto	40,20	Aa	38,60	Aa	31,40	Aa	29,30	Aa	30,00	Aa
Tração	38,00	Aa	38,60	Aa	31,40	Aa	26,80	Aa	32,30	Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelos testes de Kruskal-Wallis e de Mann-Whitney a 5% de significância.

as propriedades mecânicas do papel (FOELKEL,1975; CASTELO, 2007). Está associado também à facilidade de colapso e à flexibilidade para ligação das fibras (BOSCHETTI *et al.*, 2015).

No cálculo de Fração Parede nas fibras da madeira de *E. cloeziana* foram obtidos os valores medianos variando do mínimo 59,80% na base ao máximo 70,70% na posição 75% da altura comercial no lenho oposto e mínimo de 61,40% na posição 50% ao máximo 73,20% na posição 75% da altura comercial no lenho de tração. Não foi verificada diferença estatística significativa em relação ao lenho oposto e de tração, entretanto, houve diferença significativa dentro do lenho de tração em função da posição longitudinal, entre as posições 0 e 25% e as posições 50 e 75%, enquanto a posição 100% não se diferenciou das demais.

González *et al.* (2014) e Boschetti *et al.* (2015) explicaram que a Fração de Parede é um indicativo de rigidez da fibra e está relacionado com a facilidade de colapso e à flexibilidade para ligação das fibras.

Foelkel & Barrichelo (1975) afirmaram que Fração de Parede é um índice que influencia a qualidade da celulose, sendo que valores superiores a 40% não produzem celulose de boa qualidade, pois fibras são extremamente rígidas, pouco flexíveis e com dificuldades em suas interligações. Nisgoski (2005) reforçou que

fibras com menores valores de Fração de Parede terão um maior esticamento, tornando-se mais flexíveis e com maior facilidade de se interligarem. As fibras de *E. cloeziana*, então, não são consideradas de boa qualidade para a produção de papel.

Florsheim *et al.* (2009) encontraram valores de Fração de Parede variando de 46,90 a 52,40%, sendo os maiores na posição mais baixa do tronco. Contrariando estes autores, Rocha *et al.* (2004) e Gonzalez *et al.* (2014), mostram tendências de aumento de Fração de Parede da base para o topo na árvore, comportamento semelhante ao verificado neste estudo, mais evidente no lenho oposto. No presente estudo, observou-se uma tendência de aumento da Fração de Parede até a posição 75%, com decréscimo na posição 100%.

Para Foelkel (2016), as fibras dos eucaliptos se caracterizam por apresentarem espessuras das paredes bastante altas em relação às suas larguras. Essa característica é capaz de produzir papéis mais soltos e frouxos, com pouca ligação entre as fibras, mais volumosos, rugosos, porosos e absorventes. Nos estudos de Boschetti *et al.* (2015) sobre anatomia dos eucaliptos, concluiu-se que o único índice de qualidade não afetado pela inclinação do tronco foi a Fração de Parede.

Índice de Runkel (IR) é a relação entre duas vezes a espessura da parede e o diâmetro do lume da fibra (FOELKEL, 1975). A correlação com a largura das fibras apresentada por este índice é negativa, visto que a relação entre espessura da parede e largura das fibras é inversa. Quanto mais largas as fibras, menor a espessura e menor o Índice de Runkel (CASTELO, 2007).

Neste estudo, encontrou-se valores medianos de Índice de Runkel variando entre o menor valor 2,0 μm , na base (0%) e o maior valor 2,96 μm , na posição 75% da altura comercial, no lenho oposto e o menor valor 2,32 μm na base e 3,26 μm na posição 75% da altura comercial no lenho de tração. Não houve diferença estatística significativa entre lenho oposto e de tração, nem entre as diferentes posições de um mesmo lenho.

Runkel (1952) classificou as fibras de acordo com o Índice de Runkel como: até 0,25 μm é excelente para papel; de 0,25 a 0,50 μm é muito boa; de 0,50 a 1,00 μm é boa; de 1,00 a 2,00 μm regular e, acima de 2,0 não é interessante para a produção de papel, pois é considerada uma fibra com parede espessa ou muito espessa. Levando em consideração a classificação de Runkel (1952), as fibras de *E. cloeziana* aqui estudadas não são ideais para a produção de papel, com exceção da

encontrada na base do lenho oposto, que possui 2 μm , o limite superior para ser considerada regular. Este resultado contraria Florsheim *et al.* (2000), que, ao estudarem *E. dunnii*, encontraram os valores do Índice de Runkel classificados como apropriados, pois variaram de 0,84 a 1,03. Sbardella *et al.* (2018), também estudando sobre *E. dunnii*, encontraram, para este índice, o valor de 0,79 μm , classificado como bom para fabricação de papel.

Para Boschetti *et al.* (2015), o Coeficiente de Flexibilidade e o Índice de Runkel são parâmetros indicativos da flexibilidade da fibra e da sua capacidade de realizar ligações na rede fibrosa. Foelkel & Barrichelo (1975), afirmaram que o Índice de Runkel está diretamente relacionado com as propriedades da celulose e do papel, sendo que, quando seu valor é menor do que a unidade a celulose, a celulose é bem mais resistente devido à maior capacidade de interligações. Rodrigues (2010), entretanto, sugeriu que valores de Índices de Runkel mais altos são mais adequados para a produção de papel do tipo absorvente, justamente pela característica das fibras possuírem paredes mais espessas, aumentando assim a capacidade de absorção do papel.

Florsheim *et al.* (2000) encontraram os maiores valores do Índice de Runkel e Fração de Parede na posição mais baixa do tronco, discordando dos valores encontrados por Gonzalez *et al.* (2014), cujos maiores valores foram observados nas posições mais altas do tronco (50, 75 e 100%). Rocha *et al.* (2004) também encontraram valores maiores nas posições mais altas dos troncos, semelhante ao verificado neste estudo.

Índice de Enfeltramento (IE) é a relação entre o comprimento e largura da fibra, mede o quão flexível são as fibras e seu grau de entrelaçamento. Este índice se relaciona de forma negativa com a espessura das paredes das fibras e com o diâmetro do lume (FOELKEL, 1975; CASTELO, 2007).

Os Índice de Enfeltramento encontrados neste estudo não apresentaram diferenças estatísticas significativas em função do tipo de lenho e posição longitudinal. Os valores medianos de Índice de Enfeltramento encontrados no lenho oposto variaram de 53,40 na base a 58,60 na posição de 50% da altura comercial e no lenho de tração, de 52,70 na base a 60,80 na posição 50% da altura comercial.

Shimoyama (1990) encontrou valores de Índice de Enfeltramento, para várias espécies do gênero *Eucalyptus*, ligeiramente superiores a 25, a 50% da altura comercial. Para *E. cloeziana*, todos os valores verificados neste trabalho foram

superiores a 50 e os maiores valores encontrados foram na posição longitudinal de 50% para ambos os lenhos.

Baldi (2001) sugeriu que, quanto maior o valor do Índice de Enfeltramento, melhor a formação do papel, por sua relação com a resistência ao rasgo e formação de dobras, sendo recomendados valores acima de 50. Seguindo este conceito, pode-se concluir que as fibras de *E. cloeziana*, apresentam boas características para a produção de papel, com relação à resistência ao rasgo.

O Coeficiente de Flexibilidade (CF) é definido pela relação entre o diâmetro do lume e a largura da fibra, em porcentagem (FOELKEL, 1975; CASTELO, 2007). O Coeficiente de Flexibilidade é importante para a indústria de celulose e papel, pois mede o quão flexíveis são as fibras e sua capacidade de gerar ligações e se entrelaçar na rede folhosa (CASTELO, 2007; MIRANDA; CASTELO, 2012; BOSCHETTI et al., 2015). O Coeficiente de Flexibilidade tende a ser menor na madeira de tração (BOSCHETTI et al., 2015).

Em relação ao Coeficiente de Flexibilidade, os valores para o lenho oposto variaram de 29,30%, na posição 75%, a 40,20%, na base, enquanto no lenho de tração a variação foi de 26,80%, na posição 75%, a 38,60%, na posição 25% da altura comercial. Não houve diferença estatística significativa entre o lenho oposto e o de tração, nem entre as diferentes posições longitudinais.

Assim como o Índice de Runkel, segundo Boschetti et al. (2015), o Coeficiente de Flexibilidade é um parâmetro indicativo da flexibilidade da fibra e da sua capacidade de realizar ligações na rede fibrosa. Gonzalez et al. (2014) afirmaram que o Índice de Runkel e a Fração de Parede encontram-se relacionados à rigidez da fibra, sendo que, quanto maior o seu valor, mais rígida pode-se tornar a fibra, dificultando a formação do papel e afetando as suas propriedades de resistência.

Para Boschetti et al. (2015), o Coeficiente de Flexibilidade tende a ser menor na madeira de tração. Resultado semelhante foi encontrado neste estudo sobre *E. cloeziana*, com exceção da posição 100%, em que valor do Coeficiente de Flexibilidade no lenho de tração (32,30%) foi maior que o valor do lenho oposto (30,0%).

Gonzalez et al. (2014), em seus estudos, sugeriram que os valores do Coeficiente de Flexibilidade têm tendência a serem maiores na parte inferior do tronco, enquanto na parte superior do fuste (a partir de 50% da altura total), os

valores mostram pouca variação. Os valores encontrados neste estudo foram semelhantes aos de Gonzalez *et al.* (2014).

Foelkel (1978) afirmou que quanto maior o índice de flexibilidade, maior a resistência ao estouro, pois a probabilidade de colapso durante o refinamento aumenta com as maiores conexões entre as fibras. Entretanto, a resistência ao rasgo e a opacidade são reduzidas.

5 CONCLUSÕES

O comprimento, largura e espessura da parede das fibras *Eucalyptus cloezina* não apresentaram variação em função da posição longitudinal da árvore. Para diâmetro do lume, em ambos os lenhos verificou-se diferença estatística significativa em função da posição longitudinal.

A diferença entre os lenhos oposto e de tração foram verificados somente para a variável comprimento das fibras na posição de 100% da altura comercial, cujos valores foram 922,00 μm para o lenho oposto e 957,00 μm para o lenho de tração.

Já para os índices qualitativos, não foram verificadas diferenças estatísticas significativas entre os lenhos oposto e de tração.

Em função da posição longitudinal foi verificada diferença somente para a Fração parede no lenho de tração.

Os valores dos índices verificados nesta pesquisa para as fibras da madeira de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. estão fora dos valores ideais para a produção de papel.

REFERÊNCIAS

- AGUAYO, M. G. *et al.* Determination of differences in anatomical and chemical characteristics of tension and opposite wood of 8-year old *Eucalyptus globulus*. **Maderas, Ciencia y tecnología**, Concepción, v. 12, n. 3, p. 241-251, 2010. Disponível em: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2010000300008&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 09 jan. 2021.
- ALVES, I. C. N. *et al.* Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose kraft. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 167-174, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF**: ano base 2008, Brasília, p.120, 2009.
- BALDI, F. Il Processo di produzione delle paste chimiche e il loro trattamento. In: CORSO DI TECNOLOGIA PER TECNICI CARTARI, 8., 2000, Verona. **Anais...** Verona: Scuola Grafica Cartaria, 2001. 41p.
- BALDIN, T. *et al.* Anatomia da madeira e potencial de produção de celulose e papel de quatro espécies jovens de *Eucalyptus* L'Hér. **Revista Ciência da Madeira – RCM**, v. 8, n. 2, p. 114-126, 2017.
- BARBOSA, A. L. A. *et al.* **Avaliação da densidade populacional e regeneração natural do palmito juçara (*Euterpe edulis* mart.) na zona rural de São João Evangelista**. Trabalho de conclusão de curso (Tecnólogo em Silvicultura) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - campus São João Evangelista, 2010.
- BHAT, K. M. *et al.* Wood density and fibre length of *Eucalyptus grandis* grown in Kerala, India. **Wood and Fibre Science**, Kansas, v. 22, n. 1, p. 54-61, 1990.
- BITTENCOURT, E. **Parâmetros de otimização no processo de fabricação de celulose e papel**. 2004. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004. Disponível em: http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2004/d392_0580-M.pdf. Acesso em: 07 jan. 2021.
- BOSCARDIN, P. M. D. **Morfoanatomia, fotoquímica e atividades biológicas de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage – Myrtaceae**. 2009. Dissertação (Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas) – Setor de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/23813/PATRICIA%20M%20DOLL%20BOSCARDIN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 08 jan. 2021.
- BOSCHETTI, W. T. N. *et al.* Características anatômicas para produção de celulose do lenho de reação de árvores inclinadas de eucalipto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 50, n. 6, p. 459-467, jun. 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2015000600459&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 09 jan. 2021.

BRAGA, F. de A. *et al.* Características ambientais determinantes da capacidade produtiva de sítios cultivados com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 291-298, 1999.

CARVALHO, D. M. de; *et al.* Efeito da qualidade da madeira no desempenho da polpação kraft. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 677-684, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-50982014000300677&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 08 jan. 2021.

CARVALHO, W. *et al.* Uma visão sobre a estrutura, composição e biodegradação da madeira. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 8, p. 2191-2195, 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000800033&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 15 jan. 2021.

CASTELO, P. A. R. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão**. 2007. Tese (Pós-graduação em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/10090>. Acesso em: 09 jan. 2021.

CRUZ, C. R. *et al.* Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, 64, 33-47, 2003.

DIAS, O. A.; SIMONELLI, G. Qualidade da madeira para a produção de celulose e papel. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 3632, 2013. Disponível em: <http://conhecer.org.br/enciclop/2013b/MULTIDISCIPLINAR/qualidade%20da%20madeira.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2021.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **A indústria de papel e celulose no Brasil e no mundo: panorama geral**. Rio de Janeiro: 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-650/Pulp%20and%20paper_EPE+IEA_Portugu%C3%AAs_2022_01_25_IBA.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.

FLORSHEIM, S. M. B. *et al.* Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 79-91, jun. 2009.

FLORSHEIM, S. M. B. *et al.* Variação da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* aos 7 anos. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 179-191, 2000.

FOELKEL, C. Madeira do eucalipto: da floresta ao digestor. **Boletim informativo**. I Congresso brasileiro sobre qualidade da madeira. São Paulo, 1978.

FOELKEL, C. Celulose kraft de *Pinus spp.* In: Convenção Anual da ABCP, 8, São Paulo, 1975. **Anais** [...] São Paulo: ABTCP. p.193-211. 1975. Disponível em:

<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/1975%20%20Celulose%20kraft%20de%20Pinus%20spp%20.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2021.

FOELKEL, C. Individualização das fibras da madeira do Eucalipto para a produção de celulose kraft. **Eucalyptus Online Book & Newsletter**. [S. l.], p. 1-107, jul. 2009. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT16_IndividualizacaoFibras.pdf. Acesso em: 08 jan. 2021.

FOELKEL, C.; BARRICHELO, L. E. G. **Tecnologia de celulose e papel**. Piracicaba: USP: ESALQ: CALQ, 1975. p. 207.

GOMIDE, J. L. *et al.* Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 129-137, fev. 2005. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622005000100014&script=sci_arttext&lng=pt. Acesso em: 07 jan. 2021

GOMIDE, J. L. *et al.* Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 339-344, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622010000200017&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 08 jan. 2021.

GONÇALEZ, J. C. *et al.* Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 81-89, mar. 2014.

GOUVEA, A. de F. G. *et al.* Avaliação da madeira e da polpação kraft em clones de eucaliptos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1175-1185, 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622009000600020&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 08 jan. 2021

GREEN, D. W. *et al.* Mechanical Properties of Wood. In: Wood handbook - Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, W. I.: U.S. **Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory**, Cap 4, 1-45, 1999.

IBÁ - Indústria Brasileira De Árvores. **Relatório anual 2022**. São Paulo: 2022. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

IBÁ - Indústria Brasileira De Árvores. **Relatório anual 2023**. São Paulo: 2023. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

JARDIM, J. M. *et al.* Avaliação da qualidade e desempenho de clones de eucalipto na produção de celulose. **O papel**, v. 78, n. 11, p. 122-129, 2017.

LARSON, P.R. *et al.* **Formation and properties of juvenile wood in southern pines: a synopsis**. Madison: USDA, 2001. 42p.

LONGUE JÚNIOR, D.; COLODETTE, J. L. Importância e versatilidade da madeira de eucalipto para a indústria de base florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 33, n. 76, p. 429-438, 2013. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/528>. Acesso em: 5 jan. 2021.

MANIMEKALAI, V. *et al.* Fibres of *Sorghum bicolor* (L.) Moench and their potential use in paper and board making. **Phitomorphology**, 2002.

METCALFE, C.R.; CHALK, L. Anatomy of the dicotyledons - Wood structure and conclusion of the general introduction. v. 2. 2 ed. **Oxford: Clarendon Press**. 308pp, 1983.

MIRANDA, M. C. de; CASTELO, P. A. R. Avaliações anatômicas das fibras da madeira de *Parkia gigantocarpa* Ducke. **Ciência da madeira – Braz. J. Wood Sci.** Pelotas, vol. 3, n. 2, p. 80-88, nov. 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/article/view/4039>. Acesso em: 09 jan. 2021.

MONTEIRO, T. C. *et al.* Influência do lenho de tração nas propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus sp.* **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 6-11, nov. 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/331384658_Influencia_do_lenho_de_tracao_o_nas_propriedades_fisicas_da_madeira_de_Eucalyptus_sp. Acesso em: 12 jan. 2021.

MORAIS, P. H. D. **Efeito da idade da madeira de eucalipto na sua química e polpabilidade, e branqueabilidade e propriedades físicas da polpa**. 2008. Dissertação (Pós-graduação em Agroquímica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/2085>. Acesso em: 08 jan. 2021.

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

PAULA, J. E. Caracterização anatômica de madeiras nativas do Cerrado com vistas à produção de energia. **Revista Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 26-40, 1999.

PEREIRA, S. de J. **Avaliação das características e propriedades da polpa celulósica de *Mauritia vinífera* Martius e *Bactris inundata* Martius (Palmae) pelo processo kraft**. 2001. Tese (Pós-graduação em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/25435/T%20-%20PEREIRA%2c%20SANATIEL%20DE%20JESUS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 09 jan. 2021.

PICKERING, K. L. *et al.* A review of recente developments in natural fibre composites and their mechanical performance. **Composites: Part A**, [S. l.], v. 83, p.

98-112, 2016. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X15003115>. Acesso em: 07 jan. 2021.

PINHEIRO, D. T. C. *et al.* Monitoramento da fertilidade do solo submetido à erosão hídrica em área cultivada com *Eucalyptus* sp. em São João Evangelista, MG. **Revista Agrogeoambiental**, 2010.

QUILHÓ, T. *et al.* Within-tree variation in wood fibre biometry and basic density of the urograndis eucalypt hybrid (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*). **IAWA J.**, Leiden, v. 27, n. 3, p. 243-254, 2006.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2023

ROCHA, F. T. *et al.* Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos sete anos. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 43-55, 2004.

RODRIGUES, B. P. **Utilização de parâmetros anatômicos da madeira de dois clones de híbridos naturais de *Eucalyptus grandis* como índices de qualidade para a produção de papel.** Monografia de conclusão de curso (Tecnologia de Produtos Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

RUNKEL, R.O.H. **Pulp from tropical wood.** TAAP, 174-178, 1952.

SANTOS, S. R. dos. **Influência da qualidade da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e do processo Kraft de polpação na qualidade da polpa branqueada.** 2005. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SARTO, C.; SANSIGOLO, C. A. Kinetics of the removal of *Eucalyptus grandis* wood extractives during Kraft pulping. **Acta Scientiarum: Technology**, [S. l.], v. 32, n. 3, p. 227+, 2010. Disponível em: link.gale.com/apps/doc/A442535414/AONE?u=capes&sid=AONE&xid=85c4f857. Acesso em: 8 jan. 2021.

SBARDELLA, M *et al.* **Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus dunnii* visando a produção de polpa celulósica.** 2018.

SHIMOYAMA, V. R. S. Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp. 1990. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

SIMPSON, W.; TENWOLDE, A. **Physical Properties and Moisture Relations of Wood.** In: **Wood handbook - Wood as an engineering material.** Disponível em: <https://www.ippc.int/static/media/files/publications/en/2013/06/05/1367336207_TPFQ_2013_Jun_36_Simpson&TenWold.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2023.

SORIEUL, M. *et al.* Plant fibre: Molecular structure and biomechanical properties, of a complex living material, influencing its deconstruction towards a biobased composite. **Materials**, Basileia, Suíça, v.9, p. 1-36, 2016. Disponível em: <https://www.ncbi-nlm-nih.ez359.periodicos.capes.gov.br/pmc/articles/PMC5509024/>. Acesso em: 21 jan. 2021.

SOUSA, L. C. **Caracterização da madeira de tração em *Eucalyptus grandis* e sua influência na produção de polpa celulósica.** Viçosa – Minas Gerais, 2004.

SULTANA, R.S.; RAHMAN, M. A review on structures of secondary wall in reaction wood fiber of hardwood species. **Plant**, v.1, p.54-59, 2013. DOI: 10.11648/j.plant.20130105.12.

TAYLOR, F. W. **Difference in the wood of *Eucalyptus grandis* grown in different parts of South Africa.** In: IUFRO CONGRESS, 1973, Johannesburg. Johannesburg: IUFRO, 1973. p. 1021-6.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica em estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E.acmenioides*. **IPEF**, n.36, p.35-42, ago.1987

TRUGILHO, P. F. *et al.* **Características de crescimento, composição química, física e estimativa de massa seca de madeira em clones e espécies de *Eucalyptus* jovens.** Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cr/a/JZGtKvvMbgCQK4vDsFQyF7f/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 17 nov. 2023.

URBINATI, C. V. *et al.* Variação estrutural quantitativa no lenho de *Terminalia ivorensis* A. Chev., Combretaceae. **Acta bot. bras**, São Paulo, v. 17, n. 3, p. 421-437, 2003.

VIDAURRE, G. B. *et al.* Propriedades da madeira de reação. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 1, p. 26-37, mar. 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872013000100003&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 08 jan. 2021.

WILKES, J. Variations of wood anatomy within species of *Eucalyptus*. **IAWA Bulletin**, Leiden, n. 9, p. 13-23, 1988.

ZOBEL, B. J. *et al.* **Wood variation: its causes and control.** Berlin: Springer Verlag, 1989. 363 p. (Spring Series in Wood Science).

ZOBEL, B.J.; JETT, J.B. **Genetics of wood production.** Berlin: Springer-Verlag, 1995. 337p.