

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

Isabella Pimenta de Queiroz

**INFLUÊNCIA DA IDADE EM ÍNDICES DE QUALIDADE DA MADEIRA DE  
*Eucalyptus cloeziana* F. Muell. PARA INDÚSTRIA DE PAPEL**

SÃO JOÃO EVANGELISTA - MG

2023

ISABELLA PIMENTA DE QUEIROZ

**INFLUÊNCIA DA IDADE EM ÍNDICES DE QUALIDADE DA MADEIRA DE  
*Eucalyptus cloeziana* F. Muell. PARA INDÚSTRIA DE PAPEL**

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 bacharela em Engenharia Florestal.

Orientadora: Caroline Junqueira Sartori

SÃO JOÃO EVANGELISTA - MG

2023

## REDE DE BIBLIOTECAS

### FICHA CATALOGRÁFICA PARA TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Q3i	<p>Queiroz, Isabella Pimenta de Influência da idade em índices de qualidade da madeira de Eucalyptus cloeziana F. Muell para indústria de papel / Isabella Pimenta de Queiroz. – 2023. 38 f. : il. Bibliografia f. 30-38</p> <p>Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Câmpus São João Evangelista, 2023.</p> <p>Orientação: Profa. Dra. Caroline Junqueira Sartori.</p> <p>1. Papel - Indústria. 2. Celulose. 3. Madeira - Produtos. 4. Fibras. 5. Variação radial. I. Isabella Pimenta de Queiroz. II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD: 634</p>
-----	--

ISABELLA PIMENTA DE QUEIROZ

**INFLUÊNCIA DA IDADE EM ÍNDICES DE QUALIDADE DA MADEIRA DE  
*Eucalyptus cloeziana* F. Muell. PARA INDÚSTRIA DE PAPEL**

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 bacharela em Engenharia Florestal.

Aprovado em: 09/08/2023 pela banca examinadora:

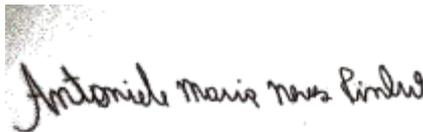


Prof.Dra. Caroline Junqueira Sartori – IFMG (Orientadora)



Documento assinado digitalmente  
BRUNO OLIVEIRA LAFETA  
Data: 11/08/2023 06:57:46-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Bruno Oliveira Lafetá –  
IFMG



Antoniele Maria Neves Pinho – INPA-AM

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, por tudo, em especial por ter me amparado e dado forças para alcançar esta vitória tão desejada. O trajeto foi longo e cansativo, mas chegou ao fim graças a Deus e ao apoio que recebi.

Obrigada a minha família. Sou e serei eternamente grata a minha avó, mãe, Luan e Ana Rosa, por terem me incentivado a todo momento, confiado no meu potencial, e por não permitirem que eu desistisse, também pela paciência com meus desabafos e desesperos.

Obrigada aos meus amigos de turma pela parceria e ajuda durante esses anos de faculdade. Grata a todos meus amigos, pela torcida.

Meu agradecimento a professora Carol Sartori, pela oportunidade de me orientar na conclusão deste trabalho, por todo ensinamento, dedicação e auxílio prestado com muita paciência. Ao professor Bruno Lafetá, professor e coordenador da Engenharia Florestal, por toda disposição e colaboração na estatística. Aos demais professores do curso, obrigada, por todo conhecimento passado.

Vocês foram essenciais na realização desta conquista!

## EPÍGRAFE

“Não fui eu que lhe ordenei? Seja forte e corajoso! Não se apavore, nem se desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar.”

Josué 1:9

## RESUMO

No Brasil, a produção de celulose e papel é baseada no uso de madeiras originárias de florestas plantadas, principalmente do gênero *Eucalyptus*. A qualidade da madeira utilizada na produção de celulose e papel pode ser determinada por diferentes características. O presente trabalho tem como objetivo analisar a variação radial (influência da idade) 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 de espessura a 1,30 metros do solo (DAP – diâmetro a altura do peito). Os discos do DAP foram demarcados na posição superior do terreno declivoso (lenho de tração) e inferior à inclinação do tronco (lenho oposto), e subdivididos em 4 porções radiais. As fibras foram individualizadas, e com base nos valores de comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura de parede obtidos nas medições fibras, foram determinados os índices de qualidade da madeira: índice de Runkel, índice de flexibilidade, índice de enfeltramento e fração parede. Os valores médios encontrados nas fibras de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell não apresentaram influência do lenho de tração com o lenho oposto para a declividade estudada. Foi observado influência somente em função da posição radial, sentido medula – casca, ou seja, com o aumento da idade, exceto para largura, Índice de Runkel e Índice de Enfeltramento.

**Palavras-chave:** Declividade. Fibras. Lenho de tração. Variação radial.

## ABSTRACT

In Brazil, pulp and paper production is based on the use of wood from planted forests, mainly from the *Eucalyptus* genus. The quality of wood used in pulp and paper production can be determined by different characteristics. The present work aims to analyze the radial variation (influence of age) and tensile and opposite wood in wood quality indices of *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. for paper industry. For this study, three individuals of *Eucalyptus cloeziana* F. Muell were used. from a plantation located on sloping land at the Federal Institute of Minas Gerais - Campus São João Evangelista. Of these, discs of approximately 4 cm thick were removed at 1.30 meters from the ground (DBH – diameter at breast height). The DBH disks were demarcated in the upper position of the sloping terrain (traction wood) and lower than the trunk slope (opposite wood), and subdivided into 4 radial portions. The fibers were individualized, and based on the length, width, lumen diameter and wall thickness values obtained in the fiber measurements, the wood quality indices were determined: Runkel index, flexibility index, felting index and wall fraction. The average values found in *Eucalyptus cloeziana* F. Muell fibers did not show influence of the traction wood with the opposite wood for the slope studied. Influence was observed only as a function of the radial position, pith - bark direction, that is, with increasing age, except for width, Runkel Index and Felting Index.

**Keywords:** Slope. Fibers. Traction wood. Radial variation.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 <i>Eucalyptus cloeziana</i> F. Muell.....	12
2.2 Setor de celulose e papel no Brasil .....	13
2.3 Qualidade da madeira para celulose .....	14
2.4 Madeira de reação e suas qualidades .....	16
2.5 Influência da idade na qualidade da madeira .....	17
3. METODOLOGIA .....	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
5. CONCLUSÃO .....	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	30

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado um país privilegiado para o desenvolvimento das florestas comerciais. Este fato se deve à presença de ótimas características edafoclimáticas. As florestas plantadas têm uma grande importância no fornecimento de matérias-primas à sociedade. Estas florestas atendem a muitas funções, sendo considerada como mais importante a produção de madeira e seus derivados. A madeira é um material excelente devido às suas diversas propriedades que lhe conferem uma ampla gama de aplicações, entre elas, a produção de papel (RODRIGUES, 2010).

A produção brasileira de celulose é baseada no uso de madeiras originárias de florestas plantadas, principalmente do gênero *Eucalyptus*, pertencente à família Myrtaceae (SILVA, 2011). O *Eucalyptus* é o gênero mais utilizado em virtude à sua adaptabilidade a diferentes condições climáticas e regionais, tolerância à escassez de água, boa resistência a doenças e seu período de crescimento relativamente curto em comparação com outras espécies, sendo de seis a sete anos (BASSA *et al.*, 2007).

A madeira é considerada como um material heterogêneo, tanto no ponto de vista físico, químico, mecânico e anatômico (BROWNING, 1963). Essa heterogeneidade geralmente está relacionada com as variações nos sentidos radial, tangencial e longitudinal que a madeira apresenta, em função principalmente da diferenciação dos tipos de células e tecidos (TRUGILHO *et al.*, 2014).

A qualidade da madeira é um fator muito importante quando se pretende produzir celulose com alto rendimento industrial, alta qualidade e de baixo custo. Para obter polpa de celulose de alta qualidade, o maior desafio da indústria é a seleção de matérias-primas que possuem as propriedades de interesse (JARDIM *et al.*, 2017).

Encontram-se muitos estudos com intuito de aumentar a produtividade da madeira e melhorar sua qualidade para produção de celulose selecionando os clones de melhores desempenhos. Obteve ótimos resultados como o aumento de 24 m<sup>3</sup>/ha/ano em 1980 para 39 m<sup>3</sup>/ha/ano em 2015, na produtividade média das florestas brasileiras de eucalipto, significando um aumento de 62% na produtividade das florestas plantadas no Brasil (IBÁ, 2016).

A qualidade da madeira utilizada na produção de celulose e papel pode ser determinada por diferentes características. Na fabricação de papel, parâmetros relacionados às propriedades físicas, químicas e anatômicas da madeira são

utilizados e são a base para a determinação de critérios de qualidade (RODRIGUES, 2010).

A propriedade anatômica da madeira permite avaliar e diagnosticar o comportamento da madeira, pois sabe-se que as características anatômicas variam de espécie para espécie, entre as espécies e até dentro da mesma árvore. Além disso, o crescimento das árvores em condições desfavoráveis de solo, clima e topografia podem repercutir na anatomia da madeira, o que, por sua vez, afeta sua adequação para a produção de papel (RODRIGUES, 2010).

Dentre os elementos anatômicos que vem sendo analisados o que possui maior relação com as propriedades do papel são as fibras. As dimensões das fibras da madeira interferem de forma direta na densidade da madeira influenciando a massa da polpa na produção de papel (FLORSHEIM *et al.*, 2009).

Conforme demonstrado por Andrade (1987) e citado por Ruy (1998), a dimensão das fibras isoladamente pode não apresentar correlação significativa com a densidade. Mas, ao agrupá-las, resultados satisfatórios podem ser encontrados. Esses agrupamentos geram índices que ajudam a interpretar a qualidade da madeira de diferentes maneiras. Os índices são o de Runkel, definido como a relação entre o dobro da espessura da parede celular e o diâmetro do lume correspondente; o índice de enfiletamento, relação entre o comprimento e a largura da fibra; o coeficiente de flexibilidade, relação entre o diâmetro do lume e a largura da fibra, em porcentagem; e a fração da parede, a relação percentual entre a espessura da parede da fibra e metade de sua largura (ALENCAR, 2002).

Em Minas Gerais, a produção de celulose é caracterizada pela celulose de fibra curta branqueada, representando em média 9% do volume da produção do Brasil. Em 2009, o estado produziu 1,2 milhão de toneladas de celulose de fibra curta, onde 92,5% foi exportado e o restante destinado ao mercado interno. Neste mesmo ano, Minas Gerais ficou em primeiro lugar com 22,8% de florestas plantadas no país, sendo 1,3 milhão de hectares de eucalipto (VALVERDE *et al.*, 2010). Segundo o IBGE (2007), os principais centros de produções e consumos de madeira em tora de florestas plantadas em solo mineiro são para celulose e papel.

O estado de Minas Gerais (MG) situa-se na Região Sudeste do Brasil, possui um relevo complexo, composto por uma grande variedade de morfologias, com gênese e dimensões distintas (RODRIGUES *et al.*, 2023). Segundo o resultado do mapeamento de Rodrigues *et al.*, 2022 em Minas Gerais predomina o Sistema de

Planaltos, seguido pelo Sistema de Depressões Relativas, Sistema de Montanhas e Serras, sendo o Sistema de Planícies, o de menor ocupação territorial. Considera-se o estado com uma topografia acidentada (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Uma área declivosa, com a presença de vento ou algum outro fator adicional faz com que a árvore fique inclinada, levando ao desenvolvimento da madeira de tração, em folhosas chamada de reação (COUTO *et al.*, 2011). A madeira de reação é formada na face superior da inclinação ou nas dobras do caule e ramos (FERREIRA, 2007), reposicionando-se gradativamente por contração longitudinal (COUTO *et al.*, 2011). Nesta madeira o tecido secundário do xilema é caracterizado anatomicamente de uma forma diferente da madeira de lenho normal.

O gênero *Eucalyptus* é uma espécie amplamente utilizada no setor produtivo florestal brasileiro, plantado em diferentes tipos de terreno, sob influência do vento e de outros fatores externos (MONTEIRO *et al.*, 2010). O uso da madeira de reação na polpação química pode interferir no rendimento do processo, no consumo de produtos químicos de cozimento, na qualidade final da celulose e do papel (VIDAURRE *et al.*, 2013).

Resultados positivos foram observados no rendimento de pasta química de eucalipto usando madeira de reação, porém, resultados negativos dominaram em termos de análise de propriedades do papel e no aumento do consumo de álcalis (VIDAURRE *et al.*, 2013). No entanto, conforme Vidaurre (2013), a resistência do papel produzido com fibra de madeira de reação é menor do que a do papel de fibras de madeira normal.

Diante do exposto, este trabalho buscou analisar a variação radial (influência da idade) e lenho de reação e oposto em índices de qualidade da madeira de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. para indústria de papel por meio de índices que são comumente utilizados para classificar a qualidade no uso do setor papelero.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 *Eucalyptus cloeziana* F. Muell.**

O *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. originário da Austrália, é uma árvore perenifólia, atinge de 30 a 40m de altura, de tronco ereto, possui uma casca persistente e escamosa de coloração marrom-escura, medindo de 50 a 70cm de

diâmetro à altura do peito. Possui inflorescências em densas panículas axilares, ordenadas nas regiões inferiores dos ramos. Contém flores brancas e pequenas e o fruto é globoso, do tipo cápsula, com sementes escuras. Sua madeira de cor castanho-amarelada é considerada resistente, dura e de boa durabilidade (ALMEIDA, 2006; MOURA *et al.*, 1993).

*E. cloeziana* pode ser cultivada em regiões subtropicais e tropicais que são caracterizadas por chuvas estacionais, como nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul e Bahia. A espécie encontra-se em solos de fertilidade variada de baixa à moderada que apresentam características ácidas (LADEIRA, 2019).

A espécie é considerada rústica de rápido crescimento, apresenta um alto valor comercial e a colocam como espécie potencial em programas de florestamento e reflorestamento, sendo esta utilizada na produção de madeira para diversos fins, tais como construção civil, postes, energia, indústrias de celulose, farmacêutica e de produtos de higiene, entre outros (ALMEIDA, 2006; ARAÚJO *et al.*, 2003).

No Brasil, *E. cloeziana* foi introduzida há cerca de 30 anos, segundo Moura *et al.*, (1993), esta sendo classificada entre as dez melhores espécies de eucalipto.

## **2.2 Setor de celulose e papel no Brasil**

O setor de celulose e papel contribui para o desenvolvimento socioeconômico do Brasil (SOARES *et al.*, 2010).

Segundo dados da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ) em 2020, a área total de árvores plantadas no Brasil totalizou 9,55 milhões de hectares, equivalente a menos de 1,4% em relação aos dados de 2019, com 9,69 milhões de hectares. Entre as espécies, 78% da área é composta pelo cultivo de eucalipto.

A atividade madeireira produz diversos produtos como a celulose, variados tipos de papel, pisos laminados, painéis de madeira, carvão vegetal e outras biomassas para fins energéticos. Dentre os diversos usos industriais da madeira, o Brasil se destaca mundialmente na produção de celulose, principalmente na pasta química branqueada de eucalipto (HORA *et al.*, 2018).

Nas últimas décadas, o país tem se posicionado para maior projeção na produção mundial de celulose, a matéria prima básica para a produção de papéis

(SANQUETTA *et al.*, 2020), de acordo com o autor a produção de celulose no Brasil é impulsionada pelas exportações.

Em 2020, o Brasil se manteve como segundo maior produtor de celulose mundial, alcançando 21,0 milhões de toneladas produzidas. De toda a produção, 75% foi destinada para exportação, totalizando 15,6 milhões de toneladas, considerando o Brasil como principal país exportador (IBÁ, 2021).

As atividades da indústria de papel e celulose, em 2020, contribuíram para a geração de mais de 536 mil empregos diretos e 1,5 milhão de postos de trabalho indiretos. Em 2019, o setor de papel e celulose correspondia à 1,2 do PIB, ocupando a 10 posição em produtor de papel no mundo (IBÁ, 2021).

À vista disso, o país possui hoje uma das maiores áreas de florestas plantadas destinadas à produção de celulose e papel e para aproveitar sua produção, são feitos investimentos na plantação e na indústria (SANQUETTA *et al.*, 2020).

### **2.3 Qualidade da madeira para celulose**

A madeira é um material biológico, anisotrópico e heterogêneo, com algumas variabilidades, o que afeta suas propriedades mecânicas e físicas (ZOBEL e BUIJTENEN, 1989). Essas variações são em grande parte devidas à associações entre fatores genéticos e ambientais. A presença de um lenho diferencial no fuste das árvores, chamado lenho de reação, que se forma quando a posição de equilíbrio da árvore muda, é um exemplo dessa variabilidade (SILVA *et al.*, 2017).

A qualidade do papel é influenciada diretamente pelas características morfológicas da fibra e por sua fração na polpa. O papel produzido por madeiras com fibras de paredes mais espessas, será mais opaco e poroso, podendo oferecer uma melhor capacidade de impressão. Por outro lado, as madeiras com fibras mais finas, formam papéis mais densos e de alta resistência a tensão e ruptura. Há também uma relação entre o comprimento da fibra e a produção de papel, geralmente, a fibra curta favorece na formação de boas folhas, enquanto a fibra mais longa suporta a resistência ao rasgo (GOMIDE *et al.*, 2005 e WIEDENHOEFT; MILLER, 2005).

Métodos convencionais para avaliar a qualidade da madeira utilizada para produção de celulose incluem a avaliação da densidade e capacidade de polpação (RAMIREZ *et al.*, 2009). A densidade tem sido o parâmetro avaliado com mais destaque e considerado o principal, por ser uma propriedade muito complexa,

resultado de uma combinação de fatores, incluindo a composição química, física e morfologia das fibras da madeira. Essa característica é influenciada pelas condições de cultivo das árvores, clima, solo, espaçamento e idade da colheita (CARVALHO, 1997; MORAIS *et al.*, 2017).

A variação da densidade está associada aos teores de lignina e extrativos, holocelulose, com a frequência de vasos e parênquima, a espessura da parede celular e a proporção de lenho tardio (SANTOS, 2005).

A importância da densidade básica para a indústria de celulose e papel conforme Foelkel *et al.*, (1971) pode ser relacionada ao rendimento total de celulose, velocidade com que o licor de cozimento impregna a madeira durante a deslignificação, refino da celulose e propriedades físicas e mecânicas da polpa em relação à resistência ao rasgo e à ruptura, e o peso específico evidente.

A composição química também é considerada um parâmetro importante na determinação da qualidade da madeira para produção de celulose. É uma característica muito complexa e varia entre diferentes espécies, árvores da mesma espécie e até em uma mesma árvore em posições diferentes (SILVA, 2011). Os diversos constituintes químicos da madeira podem ser divididos em: carboidratos, fenólicos, ácidos graxos, álcoois, terpenos, aldeíde e proteínas e outros (GOMIDE E COLODETTE, 2007).

Na designação de madeira para fabricação de papel, diversos fatores devem ser avaliados, por exemplo, fonte de matéria-prima, processo de aquisição da celulose e as propriedades esperadas no papel, estas que são influenciadas pelas características morfológicas das fibras como largura, comprimento, espessura da parede e diâmetro do lume, e a forma como elas são entrelaçadas, usando relações entre dimensões como Índice de Runkel (IR), Fração Parede (FP), Coeficiente de Flexibilidade (CF) e o Índice de Enfeltramento (IE) (NISGOSKI *et al.*, 2012).

O índice de Runkel é a relação entre a espessura da parede e o diâmetro do lume, considera-se como um indicador de flexibilidade das fibras, no qual fornecem informações sobre sua capacidade de ligação, relacionado a resistência à tração e à ruptura. A Fração Parede é relação entre a espessura da parede e a largura da fibra. O Índice de flexibilidade é relação entre o diâmetro do lume e a largura da fibra, afeta a resistência à tração e à ruptura do papel. E o Índice de Enfeltramento é a relação entre o comprimento e a largura da fibra, são variáveis relacionadas à resistência ao

rasgo, uma vez que as fibras formam tiras e formam maior número de ligações (BALDI, 2001; DINWOODIE, 1965; FOELKEL *et al.*, 1975 ).

Pesquisas mostram que fibras de folhosas com alto fator de Runkel, baixa relação de espessura de parede e baixo coeficiente de flexibilidade são pouco flexíveis na formação do papel, comprometendo propriedades que dependem da ligação das fibras (resistência à tração e arrebatamento) e melhorando a resistência ao rasgo (MANTERO *et al.*, 2008; MOGOLLÓN *et al.*, 2002)

Os índices auxiliam de forma antecipada no que pode-se esperar quando uma determinada fibra for utilizada, influenciando de forma direta, indireta ou complementar as características gerais da polpa celulósica como densidade, resistência à passagem de ar e água, resistência à tração, volume, ruptura, rasgo e as propriedades que estabelecem a qualidade da impressão do papel (URIAS, 1996).

#### **2.4 Madeira de reação e suas qualidades**

A madeira de reação é um tecido formado tanto por efeitos genotípicos quanto por estímulos mecânicos e essa formação também pode ocorrer pela ação da gravidade, como na inclinação das árvores. Pode ocorrer quando a árvore sofre algum estresse mecânico como ação dos ventos, peso na copa ou excesso de luminosidade. A madeira de reação é formada por mudanças no estado fisiológico do câmbio que possivelmente foram afetadas por diferentes concentrações de substâncias de crescimento (GROSSER, 1980; SOUSA, 2004; VIDAURRE *et al.*, 2013).

A presença de tecidos de reação, mesmo que seja em pouca quantidade, leva à alterações significativas nas propriedades físicas, químicas, mecânicas e anatômicas da madeira (VIDAURRE *et al.*, 2013).

Nas folhosas, o lenho de reação é conhecido como lenho de tração, é caracterizado por ser depositado ao longo da face superior da inclinação de caules e ramos, juntamente ocasiona reorientação gradual e contração longitudinal, além de possuir maior teor de celulose e baixo teor de lignina em comparação ao lenho normal. Existe uma espessa camada gelatinosa dentro das paredes celulares secundárias das fibras do lenho de tração (SOUSA, 2004).

O lenho de tração pode apresentar problemas para as indústrias de papel e celulose, por apresentar alterações na qualidade da polpa. Este apresenta maiores rendimentos de polpa química do que no lenho normal e pode ser desfibrado com

maior facilidade. Mas, a desvantagem é que o papel produzido com fibras de lenho de tração apresenta resistência menor do que as fibras de madeira normal (FERREIRA, 2007).

As diferenças existentes nas propriedades anatômicas da madeira podem facilitar ou dificultar a impregnação de cavacos de madeira com os reagentes de polpação e influenciar os índices de qualidade da fibra para a produção de papel (FOELKEL, 2009).

Portanto, ter o conhecimento da anatomia de árvores inclinadas pelo vento é essencial para compreender a qualidade da madeira e para a produção de celulose. Além de que, as fibras afetam diretamente o tipo de papel adequado para produção, e entender as mudanças induzidas pela presença da madeira de reação é fundamental para avaliar os índices de qualidade de fibras importantes para a produção de papel e celulose (BOSCHETTI *et al.*, 2015).

## **2.5 Influência da idade na qualidade da madeira**

Considera-se que praticamente todas as propriedades da madeira são afetadas pela idade. Pois, o tecido meristemático do câmbio, este responsável pelo crescimento secundário da árvore, sofre mudanças com o decorrer dos anos. Essas mudanças causam variações na madeira produzida em cada idade. Portanto, a madeira produzida nos primeiros anos é consideravelmente diferente da madeira produzida em idades mais avançadas. A madeira dos estágios iniciais de crescimento é conhecida como madeira juvenil e a madeira “mais velha” como madeira adulta (ALENCAR, 2002).

Segundo Foelkel *et al.* (1975), a anatomia de um lenho juvenil é caracterizada por um aumento gradual no tamanho das células e uma correspondente mudança em sua forma, estrutura e disposição em sucessivos anéis de crescimento.

Trugilho (1996) relatou que o aumento da idade da árvore teve um efeito positivo no teor de holocelulose da madeira, sua densidade básica e comprimento da fibra e espessura da parede, enquanto para o teor de cinzas, lignina e de extrativos totais foram observados o inverso.

Um estudo realizado sobre o eucalipto comercial (*Eucalyptus camaldulensis*) usado em fábricas na Ásia, conforme Morais *et al.*, (2017) mostrou uma boa correlação entre a composição química/propriedades físicas da madeira e a

idade na colheita, como um aumento na densidade básica ou diminuição no teor de pentosana com o aumento da idade de colheita. Contudo, a idade de colheita das árvores não afetou o teor de lignina, cinzas e holocelulose nesses estudos.

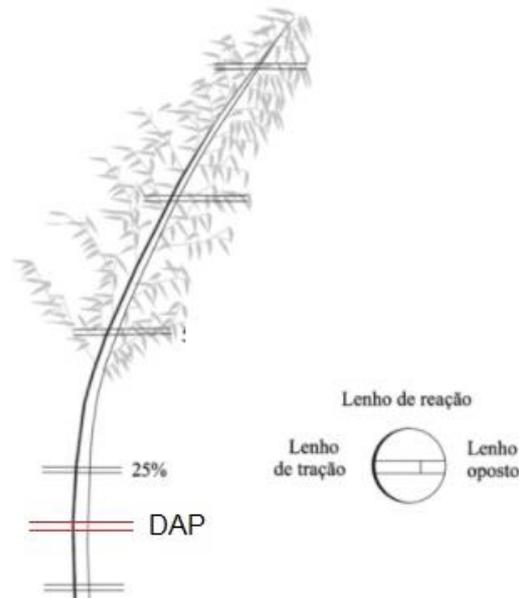
### 3. METODOLOGIA

O estudo foi realizado com madeiras de clones comerciais de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. de aproximadamente 10 anos de idade, provenientes de um plantio localizado em terreno com declividade de 34%, no Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista. A área de estudo encontra-se na bacia hidrográfica do rio doce (sub bacia do Suaçui Grande), região centro nordeste do estado de Minas Gerais. Segundo Köppen (2010), o clima é do tipo Cwa, temperado chuvoso-mesotérmico, com inverno seco e verão chuvoso, sendo predominante nesta região o clima do tipo tropical, apresentando uma temperatura máxima média de 27 °C e mínima média de 22 °C por ano, precipitação média anual de 1.180 mm e altitude média de 680m (PINHEIRO *et al.*, 2010). A região possui um relevo forte, ondulado e montanhoso, com grande potencial hídrico, fertilidade média na maioria das áreas exploradas (BRAGA *et al.*, 1999 e BARBOSA *et al.*, 2010).

Foi feita a seleção e desbaste de três indivíduos de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell localizados em terreno declivoso, e destes foram retirados discos de aproximadamente 4cm de espessura a 1,30 metros do solo (DAP – diâmetro a altura do peito).

Os discos do DAP foram demarcados na posição superior do terreno declivoso (lenho de tração) e inferior à inclinação do tronco (lenho oposto), conforme Figura 1.

Figura 1 – Obtenção da amostra de madeira de lenho de tração e oposto.



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

Após esta separação, a madeira foi subdividida em quatro partes proporcionais, uma próxima a medula, outra próxima a casca, e as outras duas nas posições intermediárias da madeira, de modo a fazer uma varredura na direção radial e assim, em diferentes idades cambiais.

Para a mensuração das características das fibras na direção radial, foram retiradas lascas longitudinais das madeiras com o auxílio de um estilete, com aproximadamente 1cm para análise das dimensões das fibras.

Para a maceração do lenho as lascas de madeira foram imersas em solução de ácido acético e de peróxido de hidrogênio (1:1 v/v), tampadas e levadas a estufa a 65 °C, por aproximadamente 24 horas. Posteriormente, os materiais foram lavados com água destilada. As fibras foram coradas com safranina 1% em água (p/v), colocadas em lâmina com glicerina 50% (v/v) e lamínula.

Foram montadas 24 lâminas e em cada uma foram medidas 30 fibras. As dimensões de fibras determinadas foram o comprimento, a largura e o diâmetro do lume. A espessura da parede foi determinada conforme equação 1.

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

Em que:

EP: Espessura da parede das fibras,  $\mu\text{m}$ ;

L: Largura das fibras,  $\mu\text{m}$ ;

DL: Diâmetro do lume das fibras,  $\mu\text{m}$ .

Das lâminas foram obtidas imagens, com emprego de microscópio óptico trinocular Biofocus com câmara digital moticam 1000 1.3 Mpixel acoplada e *software* MotiC Plus Images 2.0. Para captura das imagens para a obtenção dos comprimentos das fibras utilizou-se a objetiva de 4x de aumento, já para largura e diâmetro do lume utilizou-se o aumento de 40x.

Com base nos valores de comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura de parede, foram determinados os seguintes parâmetros: índice de Runkel, coeficiente de flexibilidade, índice de enfeitramento e fração parede, conforme as equações a seguir.

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

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

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

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

Em que:

EP – espessura da parede celular,  $\mu\text{m}$ ;

DL – diâmetro do lume da fibra,  $\mu\text{m}$ ;

L – largura da fibra,  $\mu\text{m}$ ;

C – comprimento da fibra,  $\mu\text{m}$ ;

IR – índice de Runkel;

CF – índice de flexibilidade, %;

IE – índice de enfeitramento;

FP: fração parede, %.

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

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1 estão os valores encontrados na madeira de *Eucalyptus cloeziana* nos discos do DAP (diâmetro altura do peito) onde foram demarcados na posição superior do terreno declivoso (lenho de tração) e inferior à inclinação do tronco (lenho oposto) na madeira.

Tabela 1 - Valores médios das características anatômicas e dos índices indicativos da qualidade de *E. cloeziana*.

Lenho		C	L <sup>ns</sup>	DL	EP	IR <sup>ns</sup>	CF	IE <sup>ns</sup>	FP
Tração	P4	1027,82 ab	21,45	5,32 d	6,49 ab	2,92	28,48 c	58,62	71,52 a
	P3	1004,44 ab	20,55	5,79 cd	6,18 abc	3,00	31,18 bc	59,11	68,82 ab
	P2	1042,25 a	20,26	7,57 abcd	5,02 abc	1,82	42,83 ab	67,95	57,17 bc
	P1	833,18 b	18,14	10,30 a	4,13 c	1,06	54,61 a	45,84	45,39 c
Oposto	P1	832,41 b	18,59	9,98 ab	4,16 bc	0,91	51,93 a	47,04	48,07 c
	P2	982,05 ab	17,98	9,15 abc	5,07 abc	1,5	40,53 ab	46,01	59,47 bc
	P3	1081,17 a	17,53	6,79 abcd	6,20 ab	2,64	32,45 bc	50,50	67,55 ab
	P4	1030,13 a	18,29	7,22 bcd	6,97 a	3,03	30,46 bc	52,86	69,54 ab

Para C: Comprimento da Fibra; L: Largura da Fibra; DL: Diâmetro do Lume; EP: Espessura da Parede; IR: Índice de Runkel; CF: Coeficiente de Flexibilidade; IE: Índice de Enfeltramento e FP: Fração Parede.

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

<sup>ns</sup> não significativo

Conforme Tabela 1, os comprimentos médios das fibras da madeira de *Eucalyptus cloeziana*, da região próxima à medula para a região mais próxima à casca foram de 832,41; 982,05, 1081,17 e 1030,13 µm para os lenhos opostos e de 833,18; 1042,25; 1004,44 e 1027,82 µm para os lenhos de tração, respectivamente. O que correspondem valores médios das fibras do lenho oposto de 981,44 µm e de 976,92 µm no lenho de tração.

Segundo Metcalfe e Chalk (1983) o comprimento das fibras são classificados em: extremamente curta (menos de 500 µm); muito curta (500 a 700µm); moderadamente curta (700 a 900 µm); tamanho médio (900 a 1600 µm);

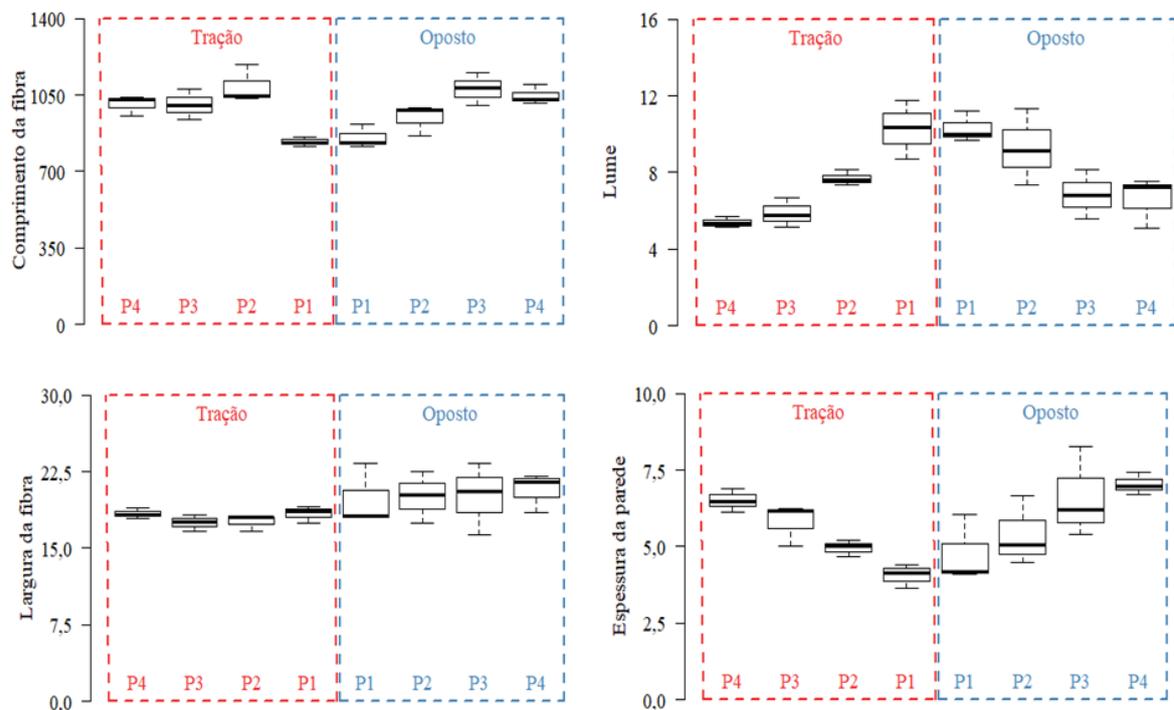
moderadamente longa (1600 a 2200  $\mu\text{m}$ ); muito longa (2200 a 3000  $\mu\text{m}$ ) e extremamente longa (acima de 3000  $\mu\text{m}$ ), sendo as fibras verificadas neste estudo, classificadas como de tamanho médio.

Para fabricação de papel, as fibras de maior comprimento são melhores aproveitadas por ter uma relação direta à resistência tensora e elasticidade (MANIMEKALAI *et al.*, 2002). Já as fibras de menores comprimentos, conforme Alves *et al.* (2011), oferece uma formação melhor da folha de papel.

Para os autores Panshin e Zeeuw (1980), o comprimento das fibras aumenta na madeira de tração, sendo este um bom parâmetro para caracterizar e identificar a presença desse tipo de madeira, característica esta que não foi verificada neste estudo, visto que não foi verificada diferença estatística significativa entre os lenhos.

Não foi verificada diferença estatística significativa entre os lenhos oposto e de tração, somente em função da posição radial, ou seja, da idade amostral, conforme pode ser visualizado na Figura 2.

**Figura 2:** Variação radial do comprimento, da largura, diâmetro do lume e da espessura de parede das fibras, avaliadas nas diferentes posições.



O autor Tomazello Filho (1985), relata que essa mesma tendência de variação em função da posição radial no comprimento das fibras tem sido apresentada em muitos de seus estudos em diferentes espécies de eucalipto.

O aumento significativo no sentido radial, sem tendência de estabilização, em relação ao comprimento, indica a presença de lenho juvenil. Um indicativo da presença de lenho adulto é a estabilidade no comprimento, e na Figura 2, observa-se um início dessa estabilidade. Levando em consideração que as árvores avaliadas apresentavam aproximadamente 10 anos de idade.

Tomazello Filho (1987) relata que esse aumento do comprimento das fibras, conforme o aumento da idade da árvore, é decorrência do acréscimo no comprimento das células que as originam, chamadas de fusiformes iniciais. Em muitas espécies de eucalipto a estabilização ocorre apenas quando as células do câmbio atingem seu comprimento máximo, começando a formação dos lenhos caracterizados como adultos.

A largura média das fibras da madeira de *Eucalyptus cloeziana*, da região próxima à medula para a região mais próxima à casca, de acordo com a Tabela 1, foram de 18,14; 20,26; 20,55 e 21,45 para os lenhos opostos e de 18,59; 17,98; 17,53 e 18,29  $\mu\text{m}$  para os lenhos de tração, respectivamente. Correspondendo aos valores médios das fibras do lenho oposto de 20,10  $\mu\text{m}$  e de 18,09  $\mu\text{m}$  no lenho de tração.

Entre os lenhos de tração e oposto não houve diferença significativa na largura das fibras. Na Figura 2, observa-se que as larguras médias das fibras de *E. cloeziana* do lenho de tração teve uma diminuição nos valores na região intermediária e sequencialmente um pequeno acréscimo ao se aproximar da casca, já no lenho oposto a largura aumentou no sentido medula-casca.

Quanto a largura das fibras, foi encontrada as médias nas madeiras de *Eucalyptus dunnii* (17  $\mu\text{m}$ ), *E. grandis* (18  $\mu\text{m}$ ) e *E. saligna* (15,7  $\mu\text{m}$ ), conforme Baldin *et al.*, (2017), estas espécies obtiveram ligeiro aumento até a região intermediária e, posteriormente, uma pequena redução dos valores próximo a casca. Em madeiras de *E. acmenioides*, *E. pellita* e *E. globulus* a largura das fibras atingiu valores de 19,5; 18,7 e 17,1  $\mu\text{m}$ , respectivamente, e segundo Tomazello Filho (1987) a largura aumentou no sentido medula casca.

Em relação à largura das fibras, quanto mais largas, menor resistência do ar e maior o volume específico aparente e a resistência ao rasgo do papel. A

resistência à tração sofrem quando as fibras são mais largas por não se ajustarem adequadamente ao papel (DIAS e SIMONELLI, 2013).

Não foi verificada diferença estatística significativa entre as larguras das fibras entre o lenho oposto e de tração.

Os valores médios obtidos do diâmetro do lume na madeira de *Eucalyptus cloeziana*, na variação de lenho oposto foi de 9,98; 9,15; 6,79; 7,22  $\mu\text{m}$  e no lenho de tração de 10,3; 7,57; 5,79 e 5,32  $\mu\text{m}$ . Equivalente a uma média de diâmetro do lume de 8,29  $\mu\text{m}$  para o lenho oposto e de 7,25  $\mu\text{m}$  para o lenho de tração. À vista disso, não houve diferença significativa entre o lenho oposto e de tração, somente em função da idade, ou seja, da localização radial.

No presente estudo as fibras do lenho de tração tiveram menores diâmetros medianos de lume comparado do lenho oposto, semelhante ao resultado obtido por Boschetti *et al.* (2015), com 11  $\mu\text{m}$  para lenho de tração e 11,4  $\mu\text{m}$  para lenho oposto nas fibras de madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*.

Conforme Figura 2, observa-se que o diâmetro do lume diminui em função da posição radial, isto é, com redução do diâmetro do lume em função do aumento da idade cambial. Os valores encontrados neste trabalho estão em conformidade com os normalmente encontrados na literatura em espécies de *Eucalyptus*, variando de 6 a 12  $\mu\text{m}$ , segundo Silva (2002).

Alzate (2004) encontrou em fibras de madeira de *Eucalyptus grandis* valores de diâmetro de lume de 9,58  $\mu\text{m}$ , nas madeiras de 8 a 10 anos.

Neste estudo, os valores médios obtidos da espessura da parede para o lenho oposto foram de 4,16; 5,07; 6,20 e 6,97  $\mu\text{m}$  e para o lenho de tração 4,13; 5,02; 6,18 e 6,49  $\mu\text{m}$ . O valor médio encontrado da espessura da parede no lenho oposto foi de 5,60  $\mu\text{m}$  e de 5,46  $\mu\text{m}$  no lenho de tração.

Em relação à espessura da parede, de acordo com Manimekalai *et al.*, (2002) estas são classificadas em 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, a espessura da parede das fibras de madeira de *Eucalyptus cloeziana* no lenho oposto e tração são classificados segundo Manimekalai *et al.* (2002), como muito espessa (> 5  $\mu\text{m}$ ).

Conforme Boschetti (2015), as paredes que são mais espessas propendem a aumentar a aspereza e rigidez da fibra, resultando em folhas mais encorpadas, estas recomendadas para uso em papéis absorventes.

Observa-se na Figura 2 que a espessura da parede da madeira de *Eucalyptus cloeziana* tende a aumentar em função da posição radial, ao se aproximar da casca.

A espessura da parede celular está relacionada com o aumento da idade e da densidade básica da madeira, quanto mais espessa, maior será o valor da densidade básica (SOUZA, 2012).

Os estudos realizados por Tomazello Filho (1987) também encontrou um aumento em função radial em *E. globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*, e Brasil e Ferreira (1972) em *E. grandis*.

Souza (2004) indica que a espessura da parede das fibras é um parâmetro muito importante para a caracterização da madeira de tração, uma vez que a presença da camada gelatinosa leva ao aumento significativo da espessura da parede das fibras.

Contrariamente, neste estudo não houve diferença significativa nos valores da espessura de parede encontrados nas fibras do lenho oposto e de tração. A espessura da parede das fibras do lenho de tração foram inferiores que as do lenho oposto.

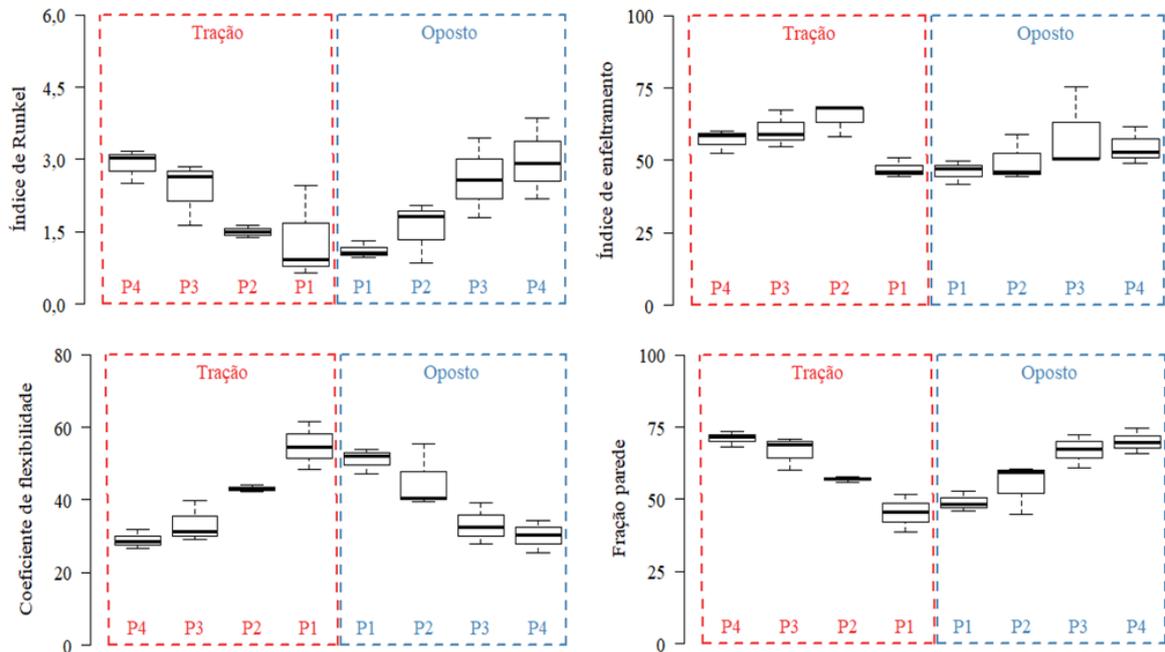
Neste estudo, encontrou-se valores médios de Índice de Runkel para as posições que foram de 1,06; 1,82; 2,56 e 2,92 para o lenho oposto e de 0,91; 1,5; 2,64 e 3,03 para o lenho de tração. O que corresponde a uma média de 2,09 para lenho oposto e de 2,02 para lenho de tração. As duas variações apresentaram, no geral, valores considerados altos para produção de papéis de imprimir e escrever.

O Índice de Runkel proporciona o grau de flexibilidade da fibra, indicando a capacidade de ligação das fibras (BALDI, 2001).

Runkel (1952), determinou que o Índice de Runkel permitiria um determinante diagnóstico do uso da fibra para papel, cujos valores poderiam ser divididos em cinco grupos, sendo as fibras do Grupo I (até 0,25) consideradas excelentes para produção de papel, Grupo II (0,25 – 0,5) muito boas para papel, o Grupo III (0,5 – 1,0) boas para papel, o Grupo IV (1,0 - 2,0) é razoável para papel e o Grupo V (acima de 2,0) não deve ser usado para papel devido ao baixo grau de colapso.

Entre as variações de lenho oposto e tração os valores não apresentaram diferença estatística entre si.

**Figura 3:** Variação radial do Índice de Runkel, Coeficiente de flexibilidade, Índice de enfeltramento e Fração parede, avaliadas nas diferentes posições.



Dessa forma, observando a Figura 3, o Índice de Runkel obtido nas fibras de *E. cloeziana* até a região intermediária são classificadas no grupo IV (1,0 - 2,0), como fibras razoáveis para a produção papel, da região intermediária em sentido a casca as mesmas já são classificadas no grupo V (acima de 2,0), como não recomendadas para papel, visto que a espessura da parede das fibras aumenta na mesma direção, bem como o diâmetro do lume diminui.

De acordo com Rodrigues (2010), valores de IR muito altos são mais adequados para a produção de papel absorvente, pois conforme esse valor aumenta, o diâmetro do lume diminui e as paredes ficam mais espessas, aumentando assim a capacidade de absorção do papel.

Para a madeira de *Eucalyptus dunnii*, no estudo realizado por Sbardella *et al.* (2018) o valor obtido para este índice foi de 0,79, classificando as fibras desta madeira como boas para fabricação de papel.

Os valores médios obtidos no Coeficiente de Flexibilidade foram de 51,93; 40,53; 32,45 e 30,46% para o lenho oposto e de 54,61; 42,83; 31,18 e 28,48% no lenho de tração. As médias encontradas no CF para o lenho oposto e de tração foram de 38,84% e 39,28%, respectivamente. Portanto, não houve diferença significativa entre lenho oposto e de tração, somente em função da posição radial.

O Coeficiente de Flexibilidade indica a capacidade das fibras de estabelecer conexões entre as mesmas. Foelkel (1978) mostrou que quanto maior o índice de flexibilidade, maior a probabilidade de colapso durante o refinamento, causando maiores conexões entre as fibras e, assim, aumentando a resistência ao estouro e a tração. Em contrapartida, a resistência ao rasgo e a opacidade são reduzidas. Para formar boas interligações entre as fibras, o ideal é que os valores deste índice estejam acima de 50%, tal característica foi verificada somente na posição mais próxima à medula em ambos os lenhos.

Conforme Figura 3, os valores médios encontrados no Coeficiente de Flexibilidade nas fibras da madeira de *Eucalyptus cloeziana*, estão abaixo de 50%, o recomendado por Foelkel (1978). Portanto, conforme o valores dos índices obtidos nas fibras, as mesmas não são consideradas as melhores para a fabricação de papel.

Neste estudo o lenho de tração apresentou fibras com maior média de Coeficiente de flexibilidade que o lenho oposto. Diferente do resultado encontrado por Boschetti *et al.* (2015), em *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, onde o lenho de tração (51,8%) apresentou fibras com menor Coeficiente de flexibilidade que o lenho oposto (54,2%).

Observa-se também que os valores de CF nas fibras foram diminuindo em função do sentido radial, ao se aproximarem da casca, visto que no lenho oposto, na mesma direção, foi verificado diminuição do diâmetro do lume e aumento da largura das fibras, principalmente no lenho oposto.

Os valores médios de Índice de Enfeltramento encontrados no lenho oposto foram de 47,04; 46,01; 50,50 e 52,86 e de 45,84; 67,95; 59,11 e 58,62 no lenho de tração. O que corresponde a uma média de IE para lenho oposto de 49,10 e 57,88 para lenho de tração. Entre as médias do lenho oposto e de tração não houve diferença significativa, nem em relação à posição radial.

Conforme as médias encontradas neste índice com valores acima de 50, nas fibras de *E. cloeziana*, estas apresentam boas características para o papel. Para este índice, quanto maior o seu valor, melhor a formação do papel, que está fortemente relacionada com a resistência ao rasgo e formação de dobras, são recomendados valores acima de 50 (BALDI, 2001).

A média encontrada nas fibras no lenho de tração (57,88) está dentro do recomendado. Valores maiores indicam maior flexibilidade, pois geralmente serão fibras mais longas. Nota-se que neste estudo a média encontrada no Índice de

Enfeltramento no lenho de tração foi superior a do lenho oposto, com tendência de aumento na direção radial, em ambos os lenhos, porém não foram verificadas diferenças estatísticas significativa.

Para produção de papel é importante uma boa formação da folha e resistência (FOELKEL, 1997). Os valores de Índice de Enfeltramento referidos para eucalipto varia de 40 a 50 (FOELKEL, 1978), valores inferiores a este intervalo foram verificados nas posições mais externas.

A Figura 3, mostra a variação dos valores do Índice de Enfeltramento nas fibras de *E. cloeziana*, conforme aumento na idade. Tendo em vista que, os valores mais altos foram encontrados nas fibras nas posições 2 e 3, intermediárias entre a medula e a casca.

Comparando o resultado obtido por Sbardella *et al.* (2018), de 59,07 neste índice para as fibras da madeira de *E. dunnii* com a espécie deste estudo, observa-se que ambas apresentam bom potencial para produção de celulose e papel.

No cálculo de Fração Parede nas fibras da madeira de *Eucalyptus cloeziana* foram obtidos os valores médios nas posições de lenho oposto de 48,07; 59,47; 67,55 e 69,54% e de 45,39; 57,17; 68,82 e 71,52% para o lenho de tração. Resultando em uma média de FP de 61,16% no lenho oposto e de 60,73 no lenho de tração. Em relação as posições do lenho oposto e tração, os valores não apresentaram diferença significativa, somente em função da posição radial.

Observando a Figura 3, destaca-se que os valores encontrados de FP nas fibras *E. cloeziana* tem um aumento significativo no sentido radial, com menores valores próximo da medula (abaixo de 60%), o recomendado por Foelkel *et al.* (1978), sendo assim, ideais para produção de papéis. Ao se aproximarem da casca estes valores aumentaram, tornando-as menos recomendadas para papéis.

Segundo Nisgoski (2005), fibra que apresentam valores menores de Fração Parede, conseqüentemente terá um maior esticamento destas fibras, tornando-as mais flexíveis e dessa forma, se interligam facilmente.

A Fração da Parede está relacionada com a colapsibilidade e flexibilidade das ligações das fibras. Os valores de FP acima de 60% não são muito recomendadas por suas fibras serem muito rígidas, dificultando as conexões entre as fibras (FOELKEL, 1978).

Em madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, Bochetti *et al.* (2015) encontraram para este índice médias de 48,4 e 46,4, respectivamente, valores

dentro dos recomendados por Foelkel (1978), para produção de papel, e próximos aos verificados neste estudo nas porções mais próximas à medula, que foram de 45,39 e 48,07 nos lenhos de tração e oposto respectivamente.

As fibras dos eucaliptos se caracterizam por apresentar espessura da parede bastante alta em relação à sua largura (40 a 50%). Isso confere a essas fibras uma excelente resistência ao colapsamento e uma rigidez de fibra (FOELKEL, 2016). Produzindo papéis mais soltos e frouxos, com pouca ligação entre as fibras, além de serem mais volumosos, rugosos, porosos e absorventes (FOELKEL, 2007).

## **5. CONCLUSÃO**

Os valores médios encontrados nas fibras de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell para comprimento, diâmetro do lume, largura, espessura da parede, Coeficiente de Flexibilidade (CF), Índice de Enfeltramento (IE) Fração Parede (FP), Índice de Runkel (IR), não apresentaram influência do lenho de tração com o lenho oposto para a declividade estudada. Foi observado influência somente em função da posição radial, sentido medula – casca, ou seja, com o aumento da idade, exceto para largura, Índice de Runkel e Índice de Enfeltramento.

## REFERÊNCIAS

- ALENCAR, G.S.B. **Estudo da qualidade da madeira para produção de celulose relacionada a precocidade na seleção de um híbrido *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus uruphylla***. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- ALZATE, S. B. A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E.grandis* x *E.urophylla***. 2004. 133f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade Federal de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- ALMEIDA, Fernanda Daniele. **Vegetative propagation of *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. through cuttings and minicuttings techniques**. 2006. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- ALVES, Isabel Cristina Nogueira et al. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose kraft. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 167-174, 2011.
- ANDRADE, M. C. S. **Variação das características das fibras em função da densidade básica de cavacos de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex maidem**. Botucatu, 1987. 43p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista.
- ARAÚJO, C.V.M. et al. **Micorriza arbuscular em plantações de *Eucalyptus cloeziana* f. muell no litoral norte da bahia, Brasil**, 2003.
- BALDI, F. Il Processo di produzione dele paste chimiche e il loro trattamento. In: CORSO DI TECNOLOGIA PER TECNICI CARTARI, 8., 2000, Verona. **Anais...** Verona: Scuola Grafica Cartaria, 2001. 41p.
- BALDIN, Talita 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 (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 8, n. 2, 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.

BASSA, A. G. M. C. et al. Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e Pinus taeda para produção de celulose kraft através do Processo Lo-Solids®. **Scientia Forestalis**. Piracicaba. 2007

BOSCHETTI W.T.N. et al. Características anatômicas para produção de celulose do lenho de reação de árvores inclinadas de eucalipto. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.50, n.6, p.459-467, jun. 2015.

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.

BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica e das características das fibras em *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden ao nível do DAP. **IPEF**, n.5, p.81-90, 1972.

BROWNING, B.L. **The chemistry of Wood**. New York: John Wiley & Sons, 689p, 1963.

CARVALHO, H. G. **Efeito da idade de corte da madeira e de variáveis de refino nas propriedades da celulose Kraft branqueada de eucalipto.** Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

COUTO, A. M. et al. **Variação diametral das propriedades físicas, anatômicas e ultraestruturais da madeira de reação de *Rapanea ferruginea*.** Trabalho de Pesquisa. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

DIAS, Oriane; SIMONELLI, George. Qualidade da madeira para a produção de celulose e papel. **Enciclopédia biosfera**, v. 9, n. 17, 2013.

DINWOODIE, J.M. The relationship between fiber morphology and paper properties: a review of literature. **Tappi Journal**, v.48, n.8, p.440- 447, 1965.

FERREIRA, D. F. **Manual do sistema SISVAR para análises estatísticas**. Lavras: UFLA, 2000.

FERREIRA, SÉRGIO. **Lenho de tração em *Eucalyptus* spp cultivados em diferentes topografias**. 2007. Tese – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

FLORSHEIM, S. M. B. et al. Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade. **Revista do Instituto Florestal**, v. 21, n. 1, p. 79-91, 2009.

FOELKEL C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, Piracicaba, n. 2/3, p. 65-74, 1971.

FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELO, L. E. G. Relação entre as características da madeira e as propriedades da celulose e do papel. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 8., São Paulo, 1975. **Trabalhos técnicos**. São Paulo ABTCP, 1975.

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

FOELKEL, C.E.B. Qualidade da madeira de eucalipto para atendimento das exigências do mercado de celulose e papel. In: **Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos**, pág. 15-22, 1997.

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

FOELKEL, C.E.B. **O processo de impregnação dos cavacos de madeira de eucalipto pelo licor kraft de cozimento**. In: FOELKEL, C.E.B. Eucalyptus online book & newsletter. São Paulo: Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 2009.

FOELKEL, C. Eucalyptus fibers – From forests to papers. **Eucalyptus Newsletter**, Edição 52, 2016.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L. Qualidade da madeira: **biotecnologia florestal**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2007. 387 p.

Grosser D. **Defeitos de Madeira**. Curitiba: Fupef; 1980.

HORA, A.B; RIBEIRO, L. B. N. M.; MENDES, R. **Papel e celulose**. 2018.

IBÁ (Indústria Brasileira de Árvores). **Relatório Anual IBÁ**, São Paulo, 2016.

IBÁ (Indústria Brasileira de Árvores). **Relatório Anual IBÁ**, São Paulo, 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2007**. Minas Gérias: IBGE, 2007.

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.

LADEIRA, Lucas Abrantes. **Potencial energético da madeira e pellets de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell.** 2019.

MANIMEKALAI, V.; PAVICHANDRAN, P.; BALASUBRAMANIAN, A. **Fibres of Sorghum bicolor (L.) Moench and their potential use in paper and board making.** Phytomorphology, 2002.

MANTERO, C. et al. A. Anatomía, peso específico aparente de la madera y porcentaje de corteza en orígenes de dos especies de *Eucalyptus* cultivadas en Uruguay (*Eucalyptus dunii* Maiden y *Eucalyptus badjensis* Beuzev. & Welch). **Agrociencia**, Montevideú, v.12, n.1, p.20-30, 2008.

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.

MOGOLLÓN, G.; AGUILERA, A. **Guia teórica y práctica de morfología de la fibra.** Mérida: **Universidad de Los Andes**, 2002. 48p.

MONTEIRO, Thiago Campos e cols. Influência do lenho de tração nas propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus* sp. **Revista de Biotecnologia e Biodiversidade** , v. 1, n. 1, pág. 6-11, 2010.

MOKFIENSKI, Alfredo *et al.* A importância relativa da densidade da madeira e do teor de carboidratos no rendimento de polpa e na qualidade do produto. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, ano 18, n. 3, p. 401-413, jul./set. 2008.

MORAIS, P.H. et al. Influence of clone harvesting age of *eucalyptus grandis* and hybrids of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* in the wood chemical composition and in kraft pulpability. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 237-248, jan.-mar., 2017.

MOURA, V.P.G.; MELO, J. T. de; SILVA, M. A. Comportamento da procedência de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell aos nove anos e meio, em Planaltina, DF, região do Cerrado. **Revista IPEF**, v. 46, pág. 52-62, 1993.

NETO, S. B. O. **Balanço hídrico em plantios jovens de eucalipto na região de Belo Oriente, MG.** 2001. 77f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2001.

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.

NISGOSKI, S. et al. Características anatômicas da madeira e índices de resistência do papel de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake proveniente de plantio experimental. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 94, p. 203-211, 2012.

OLIVEIRA, D. M. et al. A influência da topografia da região sul de Minas Gerais nas variáveis atmosféricas simuladas com o RegCM4 (Topography influence of the Southern Region of Minas Gerais State on the atmospheric variables simulated by RegCM4). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 3, p. 758-772, 2018.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology** 4.ed. New York: McGraw-Hill, 1980.

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.

RAMIREZ, M. *et al.* Chemical composition and wood anatomy of *Eucalyptus globulus* clones: variations and relationships with pulpability and handsheet properties. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, Lodon, v. 29, n. 1, p. 43-58, 2009.

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.

RODRIGUES, S. C. et al. Mapeamento Geomorfológico do Estado de Minas Gerais: uma proposta com base na morfologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 1, 2023.

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

RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores**, Indonésia. Piracicaba, 1998. 81p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SANTOS, S. R. **Influência da qualidade da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e do processo kraft de polpação na qualidade da polpa**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SANQUETTA C.R. et al. Mercado de Celulose no Brasil e em Cinco Grandes Países. **BIOFIX Scientific Journal**. 2020.

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

SILVA, C. B. R. et al. Caracterização anatômica e física do lenho de tração e oposto de *eucalyptus grandis*. In: ANAIS CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 2017, **Anais eletrônicos...** Campinas, Galoá, 2017.

SILVA, M. G. **Produtividade, idade e qualidade da madeira de *Eucalyptus* destinada à produção de polpa celulósica branqueada**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

SOARES, N.S. *et al.* **A cadeia produtiva da celulose e do papel no Brasil.** Floresta, Curitiba, PR, v. 40, n. 1, p. 1-22, jan./mar. 2010.

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

SOUZA, F. M. L de. **Estudo comparativo da madeira e polpação de *Eucalyptus urophylla* e o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* em dois modelos silviculturais.** Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012.

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

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus gummifera*, *E. microcorys* e *E. pilularis*. **IPEF**, Piracicaba, v. 30, p. 45-54, 1985.

TOMAZELLO FILHO M. Variação da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus acmeniodes*. **IPEF**, v. 36, p. 35- 42, 1987.

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

TRUGILHO, Paulo Fernando *et al.* Características de crescimento, composição química, física e estimativa de massa seca de madeira em clones e espécies de *Eucalyptus* jovens. **Ciência Rural**, v. 45, p. 661-666, 2014.

URIAS, J.C.T. Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas. **Madera y Bosques**, Ciudad de México, v.2, n.2, p.29- 41, 1996.

VALVERDE, Ana Esmeria Lacerda. Cadeia produtiva da celulose em Minas Gerais. **Boletim técnico (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais); 97**, 2010.

VIDAURRE, G.P. *et al.* Propriedades da Madeira de Reação. **Floresta e Ambiente**, 2013.

ZOBEL, B.J.; BUIJTENEN, J.P. **Wood variation: its causes and control**. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 361p.

WIEDENHOEF, A. C.; MILLER, R. B. **Structure and function of wood**. I handbook of wood chemistry and wood composites. CRC Press-Taylor & Francis Group. 6000 Broken Sound Parkway NW, STE 300. Boca Raton. FL 33487-2742 USA. p. 9-33, 2005.