

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

GIÚLIA STÉPHANE RIBEIRO DE LIMA

**ANATOMIA DAS FIBRAS DA MADEIRA DE CLONE DE *Eucalyptus*
urophylla PLANTADO EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS NO
ESTADO DE PERNAMBUCO**

**RECIFE-PE
2022**

GIÚLIA STÉPHANE RIBEIRO DE LIMA

**ANATOMIA DAS FIBRAS DA MADEIRA DE CLONE DE *Eucalyptus*
urophylla PLANTADO EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS NO
ESTADO DE PERNAMBUCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Florestal da
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
como parte das exigências para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador (a): Prof. Dr. Rafael Leite Braz

**RECIFE-PE
2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L732a Lima, Giúlia Stéphanie Ribeiro
ANATOMIA DAS FIBRAS DA MADEIRA DE CLONE DE *Eucalyptus urophylla* PLANTADO EM
DIFERENTES ESPAÇAMENTOS NO ESTADO DE PERNAMBUCO / Giúlia Stéphanie Ribeiro Lima. - 2022.
35 f. : il.
- Orientador: Rafael Leite Braz.
Inclui referências.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em
Engenharia Florestal, Recife, 2022.
1. Morfologia da madeira. 2. índices. 3. densidade básica. I. Braz, Rafael Leite, orient. II. Título

CDD 634.9

GIÚLIA STÉPHANE RIBEIRO DE LIMA

ANATOMIA DAS FIBRAS DA MADEIRA DE CLONE DE *Eucalyptus urophylla* PLANTADO EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS NO ESTADO DE PERNAMBUCO

Aprovado em 06 de outubro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Richeliel Albert Rodrigues Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ms. Elaine Cristina Alves da Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Rafael Leite Braz
Universidade Federal Rural de Pernambuco
(Orientador)

**RECIFE-PE
2022**

Assim, permanecem agora estes três: a fé, a esperança e o amor. O maior deles, porém, é o amor.

1 Coríntios 13:13

AGRADECIMENTOS

A DEUS.

À minha família, por todo amor e apoio que sempre me deram. Ao meu pai, Severino, por sempre acreditar em mim até mesmo quando eu não acreditava, por todo incentivo a continuar a graduação e todas as conversas entre futuros engenheiros. À minha mãe, Alci Elaine, por sempre estar presente, por todos os conselhos, abraços e por nunca me deixar desistir. À minha irmã, Giuliana, por ser minha metade, por estar sempre ao meu lado e por compartilhar a vida comigo. Ao meu primo o qual considero meu irmão, Anderson, pela nossa parceria, por confiar no meu potencial e por ter alguém para dividir as angústias. Às minhas avós, Maria das Graças e Elizete Maria, pelas orações e pelo sentimento de orgulho que sempre demonstraram ter por mim. Ao meu avô, Edval Casado, que apenas sorrindo me dar força para seguir. E ao meu avô, Amaro Ribeiro (*in memoriam*), por todos os docinhos de chocolate de laranja e por me ensinar a amar o som do pandeiro, sei que está olhando por mim onde quer que esteja. Eu amo muito vocês.

Aos presentes que a graduação me deu, Amanda, Laura, Cláudio, Matheus, Thallyta Brito, Francisco, Thallyta Valentin, Mylena, cada um contribuiu de forma única nessa graduação, vocês foram essenciais. À Alef e João, por compartilharem dessa jornada no começo de tudo, pelos nossos seis anos de amizade. Aos amigos que fizeram parte da trajetória, Camila, Luciana, Júlio, Samuel.

Aos meus amigos do Laboratório de Anatomia e Tecnologia da Madeira, Israel, Irlan e especialmente a Fernanda Polyana, por compartilhar as aventuras da Iniciação Científica.

Aos professores e professoras do Departamento de Ciência Florestal – UFRPE, por todos os ensinamentos e contribuições para minha vida profissional. Em especial ao meu orientador Rafael Leite Braz, pelo incentivo e apoio durante toda a graduação.

Por fim, gostaria de agradecer a todos que direta ou indiretamente contribuíram para esta formação. Sozinha eu não conseguiria. Deixo aqui meu muito obrigada!

RESUMO

O *Eucalyptus* representa o gênero florestal exótico mais importante do Brasil e vem sendo extensivamente utilizado nos plantios florestais. O conhecimento das características anatômica da madeira como o volume dos vasos e as fibras são fatores importantes nas propriedades físicas e mecânicas da madeira bem como indicativo do uso final da madeira. A estrutura anatômica da madeira exerce influência direta na densidade da madeira, a qual também influencia diretamente a anisotropia. Com isso, tratam-se de propriedades estreitamente correlatas. O espaçamento tem grande influência na qualidade do sítio florestal, pois é a soma dos fatores que interferem na capacidade produtiva do povoamento florestal. O presente trabalho teve como objetivo analisar anatomicamente a morfologia das fibras de um clone de *Eucalyptus urophylla* com oito anos de idade, coletado na Estação Experimental do Araripe, em Araripina – PE, plantado em diferentes espaçamentos (2 x 1m (T1), 4 x 2m (T2) e 3 x 2m (T3)) para qualificar o uso para produção papel e celulose. Para amostragem, foram utilizadas quinze árvores do clone, sendo cinco em cada plantio, onde foi realizada uma amostra composta por tratamento. O preparo das amostras consistiu na dissociação de fragmentos de madeira, realizado por meio de uma solução macerante. As análises foram realizadas através de lâminas provisórias, utilizando um microscópio óptico com o sistema de aquisição de imagens Honestech TVR 25®. O software ImageProPlus® foi utilizado para captura de imagens e mensuração das fibras. Foram calculados o Índice de Runkel, Índice de Enfeltramento e determinados o Coeficiente de Flexibilidade, Coeficiente de Rigidez e a Fração Parede dos tratamentos. A determinação da densidade básica foi obtida através da relação da massa seca e seu respectivo volume saturado. A madeira proveniente do menor espaçamento apresentou estatisticamente menor valor médio de densidade básica, seguido do Tratamento 3. Os valores das dimensões das fibras foram comparados entre si, onde foram constatadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, que demonstra ser recomendável a seleção de um espaçamento ideal a fim de alcançar uma maior produtividade. Foi obtido resultados satisfatórios para a avaliação, pois apresenta fibras com características anatômicas esperadas. Os tratamentos avaliados sofreram influências quando submetidos aos diferentes espaçamentos, sendo o tratamento 2 com espaçamento intermediário mais indicado para a produção de celulose e papel.

Palavras-chaves: Morfologia da madeira; índices; densidade básica.

ABSTRACT

Eucalyptus represents the most important exotic forest genus in Brazil and has been widely used in forest plantations. Knowledge of the anatomical characteristics of wood such as vessel volume and fibers are factors in the physical and mechanical properties of wood as well as indicative of the final use of wood. The anatomical structure of wood exerts a direct influence on wood density, which also directly influences anisotropy. As a result, these are closely correlated properties. The spacing has a great influence on the quality of the forest site, as it is a sum of the factors that interfere in the productivity of the forest stand. The present study aimed to anatomically analyze the morphology of the fibers of an eight-year-old clone of *Eucalyptus urophylla*, collected at the Estação Experimental do Araripe, in Araripina - PE, planted in different spacings (2 x 1m (T1), 4 x 2m (T2) and 3 x 2m (T3)) to qualify for use in pulp and paper production. For, clone trees were used, five in each plantation, where a sample composed by treatment was carried out. The preparation of the samples consisted of the dissociation of wood fragments, carried out by means of a macerating solution. The operations were performed through the provisional slides, using an optical image acquisition system with the R 25® image acquisition system. ImageProPlus® software was used to capture images and measure the fibers. The Runkel Index, the Felling Index were calculated and the Coefficient of Flexibility, Coefficient of Stiffness and the Wall Fraction of the treatments were determined. The determination of the basic density was obtained through the relation of the dry mass and its saturated volume. The fiber dimension values were compared to each other with significant mean differences between treatments, which demonstrate to be a selection of a spacing. ideal in order to achieve greater productivity. Results were obtained and approved for the presentation, as it presents characteristics with similar characteristics. Protective and paper protection fit adjustments protected when compared to spaces, treatment 2 being with protection and paper reinforcement.

Keywords: Wood morphology; indexes; basic density.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Filetes obtidos das amostras de cunhas coletadas no discos nas diferentes posições longitudinais de clone de *Eucalyptus urophylla* plantado no município de Araripina-PE.. 19

Figura 2. Etapas do processo para obtenção do macerado das fibras do clone de *Eucalyptus urophylla*. A – Quantidade de amostra por tubo de ensaio; B – Volume de solução macerante; C - Amostras em banho-maria a 100°C por 4 horas; D – Fibras dissociadas.....20

Figura 3. Preparo das lâminas provisórias de clone de *Eucalyptus urophylla*. A – Glicerina, corante Safranina e macerado; B – Lâminas provisórias21

Figura 4. Esquema prático de uma fibra.....21

Figura 5. Dimensões das Fibras: Comprimento (A-C); Largura, diâmetro do lume e espessura da parede (D-F)22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tratamentos avaliados para o clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> em diferentes espaçamentos.....	18
Tabela 2. Valores encontrados para densidade dos tratamentos das fibras de clones de <i>Eucalyptus urophylla</i> aos 8 anos, plantados no município de Araripina-PE.....	24
Tabela 3. Valores das dimensões das fibras da madeira do clone C41 submetidos aos espaçamentos 2 x 1 m, 4 x 2 m e 3 x 2 m (<i>Eucalyptus urophylla</i>) plantados no município de Araripina-PE.....	24
Tabela 4. Valores médios para índice de Runkel, Índice de Enfeltramento, Coeficiente de Flexibilidade e Fração Parede e das dimensões de fibras dos tratamentos de <i>Eucalyptus urophylla</i>	26

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. Geral	13
2.2. Específicos.....	13
3. REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1. Florestas Plantadas	14
3.2. Gênero <i>Eucalyptus</i>	14
3.3. Características anatômicas	15
3.4. Densidade básica	16
3.5. Espaçamento do plantio.....	16
3.6. Celulose e papel.....	17
4. MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1. Coleta e preparo do material	19
4.2. Determinação da densidade da madeira	19
4.3. Análise morfológica e mensuração das dimensões das fibras.....	20
4.3.1. Processo de maceração.....	20
4.3.2. Montagem das lâminas, captura das imagens e mensuração das fibras.....	21
4.3.3. Parâmetros morfológicos indicadores de qualidade da polpa celulósica.....	23
4.4. Análise Estatística	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
6. CONCLUSÕES	30
7. REFERÊNCIAS	31

1. INTRODUÇÃO

O *Eucalyptus* representa o gênero florestal exótico mais importante do Brasil (KAGEYMA E VENCOVSKY, 1983; CARVALHO E NAHUZ, 2001; ALZATE *et al.*, 2005), e, em consequência disto, vem sendo extensivamente utilizado nos plantios florestais (BRACELPA, 2011).

De acordo com Dossa *et al.* (2002) um dos principais fatores que determinaram a expansão do *Eucalyptus* no mercado de papel, celulose e serraria, é o seu rápido crescimento. Nesse sentido, Silva (2005) apresenta diversas razões para tal expansão, as quais podemos citar a grande plasticidade do gênero, devido à diversidade de espécies adaptadas a diferentes condições de clima e solo; a alta produção de sementes e facilidade de propagação vegetativa; por apresentar características silviculturais desejáveis, como rápido crescimento e produtividade; e também, em função do melhoramento genético e pela adequação aos mais diferentes usos industriais, com grande aceitação no mercado.

Comitre (1999) ressalta sobre a importância da utilização de madeira de reflorestamento como matéria-prima para produção de papel e celulose, cuja demanda é alta, visto que se evita a exploração de florestas nativas. Com isso, Brito; Barrichelo (1977) afirmam sobre o uso madeira de diversas espécies do gênero *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal nas indústrias por apresentarem crescimento rápido.

Quando se estuda a anatomia da madeira, tem-se o objetivo de reconhecer alguns aspectos da estrutura anatômica que podem influenciar na flexibilidade e resistência da mesma. Para análise de qualidade da madeira, a quantificação do índice de densidade, comprimento e espessura da parede dos elementos fibrosos são primordiais (DENARDI, 2007).

Oliveira (1997) reportou que o volume dos vasos e as fibras são fatores importantes nas propriedades físicas e mecânicas da madeira em diferentes eucaliptos. Segundo Ferreira *et al.* (2010), as fibras têm como função principal a sustentação mecânica das árvores, além de correlacionar com as características físicas e químicas da madeira e contribuem na aplicação e uso final da madeira.

A estrutura anatômica da madeira exerce influência direta na densidade, a qual também influencia diretamente a anisotropia. Com isso, tratam-se de propriedades estreitamente correlatas (BATISTA; KLITZKE; SANTOS, 2010). De acordo com Kollmann e Côté Júnior (1968) quanto maior a densidade da madeira, maiores são a contração e o inchamento volumétricos, havendo uma relação praticamente linear entre essas propriedades.

A densidade da madeira depende das dimensões das células que a compõem: as fibras, os vasos e os parênquimas radial e axial, bem como da proporção, distribuição e quantidade destes elementos. Sabe-se que a densidade da madeira é uma propriedade importante na avaliação da qualidade da madeira quanto ao emprego final, influenciando também no potencial energético da madeira (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980). A densidade básica, espessura de parede, diâmetro de lume e fração parede da fibra influenciam na densidade energética do carvão vegetal (TAKARADA, 2015).

Ferreira *et al.* (2014) observaram a importância de empregar técnicas silviculturais adequadas, desde o plantio até o momento da colheita, para obter povoamentos florestais para fins comerciais, com produtividade satisfatória. Diante disso, o espaçamento de plantio é um dos fatores mais importantes na formação dos povoamentos de eucalipto, pois influencia nas práticas de implantação e manutenção (BALLONI; SIMÕES, 1980), na taxa de crescimento (LELES *et al.*, 2001), nas práticas de colheita do povoamento (MARTINS *et al.*, 2009) e na idade de corte e qualidade da madeira (CARDOSO JÚNIOR *et al.*, 2005).

O espaçamento tem grande influência na qualidade do sítio florestal, pois é a soma dos fatores que interferem na capacidade produtiva do povoamento florestal (STAPE *et al.*, 2010). Ainda, o adensamento do plantio pode trazer consequências negativas, visto o aumento da competitividade entre os indivíduos. Assim, torna-se importante analisar o fator produtividade, pois um plantio com maior espaçamento, conseqüentemente terá menos espécies por hectare plantado.

Devido à escassez de informações na literatura a respeito de materiais genéticos de *Eucalyptus* plantados no Estado de Pernambuco, há necessidade de estudos que avaliem as dimensões das fibras (comprimento, largura, espessura e diâmetro do lume) e as correlacionem com as outras propriedades da madeira, possibilitando uma qualificação do material e a indicação mais adequada para sua utilização final.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Caracterizar a madeira de um clone de *Eucalyptus urophylla* plantado em diferentes espaçamentos sob o ponto de vista da anatomia de fibras e da densidade da madeira para qualificar o uso para produção de celulose e papel.

2.2 Específicos

- Determinar a densidade básica da madeira de clone de *Eucalyptus urophylla* plantado em diferentes espaçamentos;
- Avaliar o comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras da madeira;
- Qualificar o potencial morfológico da fibra por meio do Índice de Runkel, Índice de enfiamento, coeficiente de flexibilidade e Fração Parede;
- Avaliar as relações entre as dimensões das fibras e a densidade da madeira em função do espaçamento;
- Indicar o espaçamento adequado para plantio de clones de *Eucalyptus urophylla* para produção de celulose e papel.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Florestas plantadas

Os plantios de florestas foram introduzidos no Brasil há mais de um século. Como os recursos naturais da Mata Atlântica há muito tempo vinham sendo dilapidados, os plantios de espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* tornaram-se uma alternativa para suprir a alta demanda de madeira (SNIF, 2020).

As florestas plantadas no Brasil totalizam 9,55 milhões de hectares. Se tratando de produtividade em plantio florestais, o Brasil é referência mundial, pois apresenta alto volume de produção anual de madeira por área e um curto ciclo. Aliado a fatores como condições de clima e solo, há grande investimento do setor em pesquisa e desenvolvimento de melhores técnicas de manejo florestal, incluindo também melhoramento genético e práticas sustentáveis (IBÁ, 2021).

3.2 Gênero *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus* apresenta cerca de 730 espécies conhecidas botanicamente e tem a sua origem na Austrália, Tasmânia e outras ilhas da Oceania. No Brasil, os primeiros estudos com o gênero foram iniciados em 1904, por Edmundo Navarro de Andrade, que visava produzir madeira para carvão e dormentes para a estrada de ferro, entretanto, também desejava o reflorestamento das áreas nativas que haviam sido derrubadas (MARTINI, 2004; EMBRAPA, 2019).

No Brasil, o gênero *Eucalyptus* representa uma área de 7,47 milhões de hectares plantados, sendo a espécie mais plantada, principalmente por apresentar alta taxa de crescimento comparado com outras espécies, apresentando assim produtividade média de 36,8 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (IBÁ, 2021). Esses avanços são consequência de clones bem adaptados e melhores práticas de manejo para preparo do solo, adubação, espaçamento entre linhas, mudas de alta qualidade e controle integrado de plantas daninhas, pragas e doenças, além da influência direta sobre as condições climáticas (GONÇALVES *et al.*, 2017; LONDERO *et al.*, 2012; MELO *et al.*, 2016; STAPE *et al.*, 2010, 2001; ELLI *et al.*, 2020).

Num futuro próximo, quer seja pelas pressões ecológicas ou pela elevação do custo da madeira de origem de florestas naturais, ou ainda pelo constante aumento da consciência para a utilização de recursos florestais renováveis, poderão ocorrer dificuldades para suprimento de produtos florestais madeireiros; deste modo, é cada vez mais premente a necessidade de se buscar novas alternativas de madeira para abastecimento das indústrias do setor (COSTA, 1996).

Novas espécies de eucalipto necessitam ser pesquisadas e avaliadas quanto ao seu potencial para os mais diversos usos, também devem ser introduzidas de acordo com cada local e características próprias da árvore, as quais conferem maior resistência a geadas e outros fatores ambientais, além de qualidades referentes à madeira (NISGOSKI, DE MUÑIZ, KLOCK, 1998).

3.3 Características anatômicas

As fibras são as células peculiares das angiospermas, geralmente compondo a maior porcentagem (20-80%) de seu lenho, onde geralmente desempenham um papel de sustentação (BURGER e RICHTER, 1991). Especificamente, a porcentagem total de fibras de eucalipto é de aproximadamente 65%, a porcentagem de vasos sanguíneos de 17% e a porcentagem de tecido parenquimatoso de 18% (FOELKEL e BARRICHELO, 1975; BARRICHELO e BRITO, 1976).

Trevisan *et al.* (2017) enfatizaram a importância de entender as características anatômicas da madeira, como, por exemplo, as dimensões dos vasos e das fibras, que desempenham papel fundamental em processos fisiológicos e de sustentação. As fibras formam o tecido básico de sustentação mecânica da madeira de folhosas.

As dimensões geométricas mais importantes da fibra são comprimento, largura e espessura da parede (MENEGAZZO, 2012). Para muitas espécies de eucalipto, a estabilização do comprimento das fibras ocorre apenas quando as células do câmbio atingem seu comprimento máximo e assim começam a formar o lenho adulto (TOMAZELLO FILHO, 1987).

Há também uma estreita relação entre o comprimento da fibra e o rendimento do papel. Em geral, as fibras curtas contribuem para uma boa formação do papel, enquanto as fibras mais longas favorecem a resistência ao rasgo (GOMIDE *et al.*, 2005).

A espessura da parede das fibras está intimamente relacionada à densidade da madeira, e a variação da espessura da parede entre e dentro das árvores se assemelha ao padrão de variação da densidade (MALAN, 1995).

As propriedades do papel são influenciadas pelas características morfológicas da fibra, como largura, comprimento, espessura da parede e diâmetro do lúmen. A partir desses valores, o comportamento e a capacidade de fabricação de papel podem ser determinados, através de parâmetros como fração parede, índice de flexibilidade, índice de enfiamento e índice de Runkel (Nisgoski *et al.*, 2012).

3.4 Densidade básica

Dentre os parâmetros de qualidade da madeira, a densidade básica pode ser considerada como um dos principais, por refletir a associação de várias características simultaneamente, entretanto se mostra como uma característica complexa, com variações entre espécies, entre árvores da mesma espécie, radial e longitudinalmente em uma mesma árvore, ao longo da idade, com o espaçamento e local dos plantios (MOKFIENSKI *et al.*, 2003).

Uma avaliação adequada da densidade básica fornece, para a indústria de celulose e papel, indicações precisas com relação a impregnação dos cavacos e rendimento do processo e geralmente está associada às características de qualidade e de resistências físico-mecânicas da polpa (QUEIROZ *et al.*, 2004).

3.5 Espaçamento do plantio

A madeira pode apresentar diversas propriedades de acordo com os tratamentos silviculturais aos quais é submetida, dentre eles o espaçamento do plantio (TRUGILHO *et al.*, 1996). O espaçamento utilizado em um povoamento florestal deve ser determinado com base no produto para que se deseja, além do volume, dimensão da copa e galhos, qualidade da madeira, dentre outros. A densidade de um povoamento é a expressão quantitativa da população de árvores por unidade de área e pode ser descrita pela área basal, volume e frequência, isoladamente ou relacionada a outras variáveis para definir o espaço horizontal (SCHNEIDER, 1993).

O espaçamento pode exercer influência no desenvolvimento e produtividade das florestas, principalmente para as espécies de rápido crescimento (LELES *et al.*, 1998). De acordo com Harrington *et al.* (2009), sob ponto de vista do crescimento vegetal, o espaçamento é fator determinando no tempo e intensidade da competição pelos recursos entre as árvores, pois elas entram em competição quando há diminuição dos recursos disponíveis.

Segundo Delaine *et al.*, (2009) maiores espaçamentos de plantio favorecem a um maior ângulo microfibrilar e comprimento de fibras, sendo esta última a variável mais estudada em folhosas por ser considerada um fator limitante para o setor de celulose e uso de papel da madeira. Se o povoamento é muito denso, há menos espaço para o crescimento de cada árvore, afetando o desenvolvimento radicial e da copa, e, conseqüentemente, afetando a quantidade a qualidade da produção (SCOLFORO, 1997).

3.6 Celulose e papel

Desde a década de 1960, a produção de celulose e papel do Brasil vem crescendo em taxas superiores às vislumbradas pelos demais produtores no mundo (BALDIN *et al.*, 2017). Com isso, o eucalipto conquistou importante posição na indústria de papel e celulose, e cada vez mais vem recebendo tratamento científico e conquistando ganhos de qualidade e produtividade através das técnicas de melhoramento genético e manejo florestal. Hoje o *Eucalyptus* é o gênero mais utilizado neste setor e de maior abundância em termos de florestas plantadas. Atualmente, a busca de uso múltiplo das florestas e de melhores retornos para a madeira tem incentivado as empresas a desenvolverem estratégias para a oferta de madeira serrada deste gênero (COSTA, 1996).

O eucalipto produz a maior quantidade de madeira por unidade de área em um período de tempo muito curto. A celulose de eucalipto transformou o Brasil de importador em exportador do produto, tornando-se o maior produtor mundial de celulose (CAMPOS, 1997).

No ano de 2020, a produção de celulose no Brasil alcançou seu segundo maior volume histórico, totalizando 21 milhões de toneladas. Dessa maneira o Brasil se mantém sendo o maior exportador de celulose no mercado mundial em 2020, com US\$ 1,2 bilhão a mais do que o segundo colocado. Os principais destinos da exportação de celulose no ano de 2020 foram China (48%) e Estados Unidos (16%). A celulose representa 61% dos produtos exportados quando se trata do setor de árvores plantadas. O papel, segundo produto desta lista, manteve sua participação de 18% das exportações e tem a América do Sul como um dos principais destinos de venda (IBÁ, 2021).

Um dos pontos positivos relacionados à celulose branqueada de eucalipto é que, diferentemente do que se pensava anteriormente, é possível a produção satisfatória de papéis cuja aplicação não demanda altos níveis de resistência à tração ou ao arrebentamento como são os papéis para impressão e escrita por exemplo (RIBEIRO, 1976).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Coleta e preparo do material

Foi utilizado um clone de *Eucalyptus urophylla* com oito anos de idade plantado com espaçamentos 2 x 1m (T1), 4 x 2m (T2) e 3 x 2m (T3) (Tabela 1), proveniente de um plantio experimental Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), localizado na Chapada do Araripe, município de Araripina-PE. A região do plantio abrange, segundo Silva *et al.* (2015), uma área de 11.792,00 km², incluindo 10 municípios, com índices pluviométricos oscilando entre 500 e 800mm anuais e clima classificado, de acordo com Köppen, do tipo BSh (semiárido quente e seco) (BARROS *et al.*, 2010). O bioma predominante da região é Caatinga e os solos são do tipo argissolos e latossolos.

Tabela 1. Tratamentos avaliados para o clone de *Eucalyptus urophylla* em diferentes espaçamentos no município de Araripina-PE.

Tratamento	Clone	Espaçamento
1	C41 – <i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)	2 x 1 m
2	C41 – <i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)	4 x 2 m
3	C41 – <i>Eucalyptus urophylla</i> (cruzamento natural)	3 x 2 m

Para avaliação das propriedades da madeira foram utilizadas quinze árvores do clone avaliado, sendo cinco em cada plantio por plantio. Das árvores foram retirados dois discos (amostras) com cerca de 5 cm de espessura nas diferentes posições no sentido longitudinal, nas alturas a 1,30m do solo (DAP), 0%, 25%, 50%, 75% e 100% referente à altura comercial (diâmetro mínimo de 5 cm). Cada disco foi seccionado em quatro cunhas, das quais, uma foi utilizada para determinar os parâmetros referente anatomia das fibras e outra para determinar a densidade básica.

As análises foram realizadas no Laboratório de Tecnologia e Anatomia da Madeira do Departamento de Ciência Florestal, pertencente à Universidade Federal Rural de Pernambuco.

4.2 Determinação da densidade da madeira

A densidade básica da madeira foi determinada pelo método da imersão em água, conforme a NBR 11941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2003).

Sendo assim, as cunhas de madeira foram saturadas com água para obtenção do seu volume saturado com auxílio de uma balança de precisão. Posteriormente, as cunhas foram secas ao ar durante alguns dias e depois conduzidas a uma estufa de ventilação forçada a 103

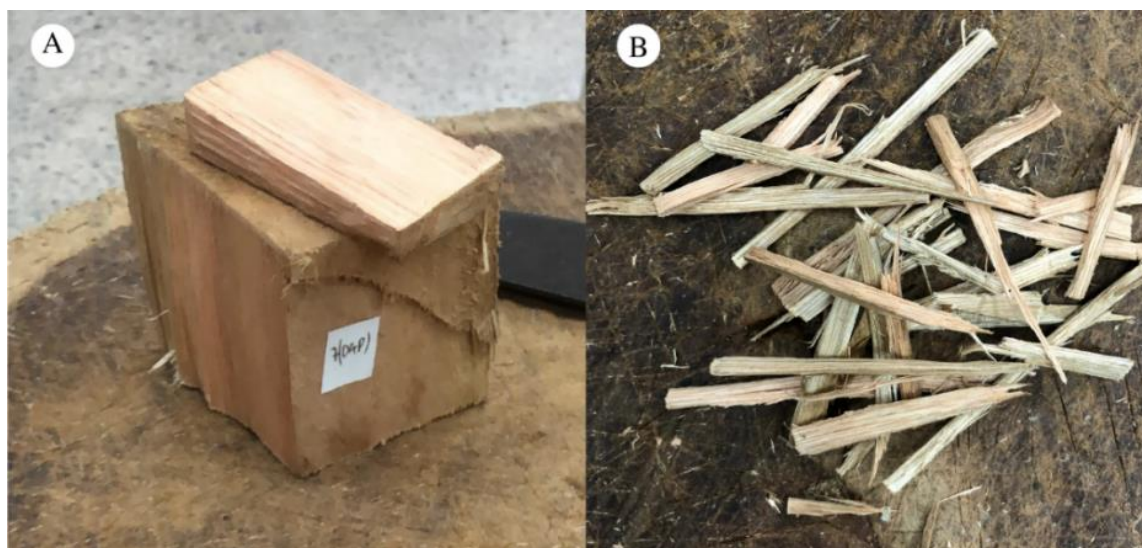
$\pm 2^{\circ}\text{C}$ para obtenção da massa seca. A determinação da densidade básica foi obtida por meio da relação da massa seca e seu respectivo volume saturado.

4.3 Análise morfológica e mensuração das dimensões das fibras

4.3.1 Processo de maceração

Para obtenção do macerado a cunha foi reduzida a cavacos (Figura 1 – A) e destes para filetes mais compactos (Figura 1 - B). A produção do macerado que consiste na dissociação de fragmentos de madeira, realizada de acordo com a metodologia Barrichelo e Foelkel (1983).

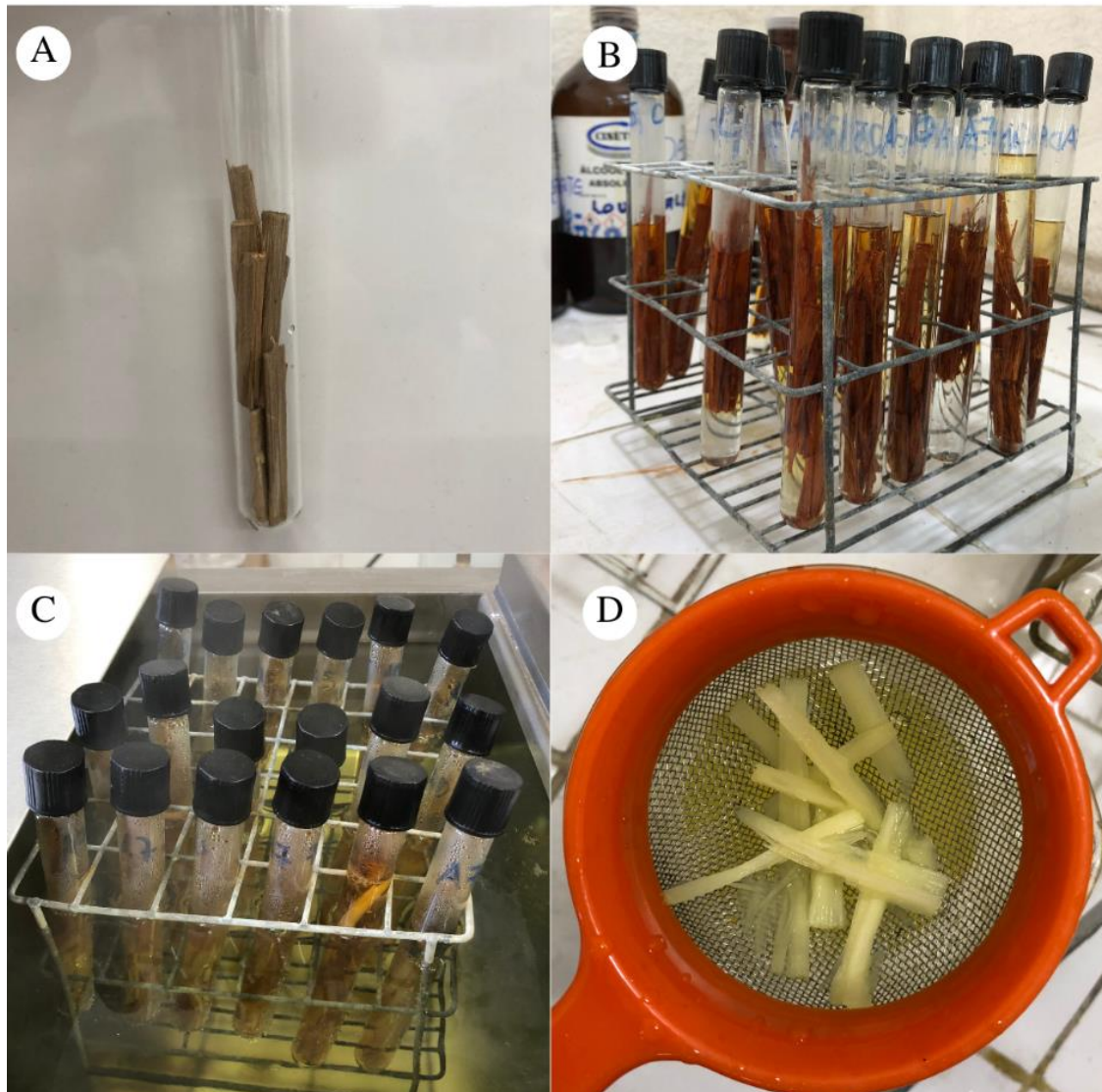
Figura 1. Filetes obtidos das amostras de cunhas coletadas no discos nas diferentes posições longitudinais de clone de *Eucalyptus urophylla* plantado no município de Araripina-PE.



Fonte: Autora, 2022.

O processo consistiu na mistura de ácido nítrico (HNO_3) e ácido acético (CH_3COOH) na proporção 1:3, que resultou uma solução macerante. Esta solução foi adicionada a tubos de ensaio com uma quantidade de amostras por tratamento (Figura 2 - A), e com volume suficiente para que as amostras ficassem completamente submersas (Figura 2 - B). Os tubos foram levados ao banho-maria a 100°C (Figura 2 – C) por 4 horas, e transcorrido o tempo a solução foi lavada e obtida as fibras dissociadas (Figura 2 - D), que foram transferidas para frascos de âmbar.

Figura 2. Etapas do processo para obtenção do macerado das fibras do clone de *Eucalyptus urophylla*. A – Quantidade de amostra por tubo de ensaio; B – Volume de solução macerante; C - Amostras em banho-maria a 100°C por 4 horas; D – Fibras dissociadas

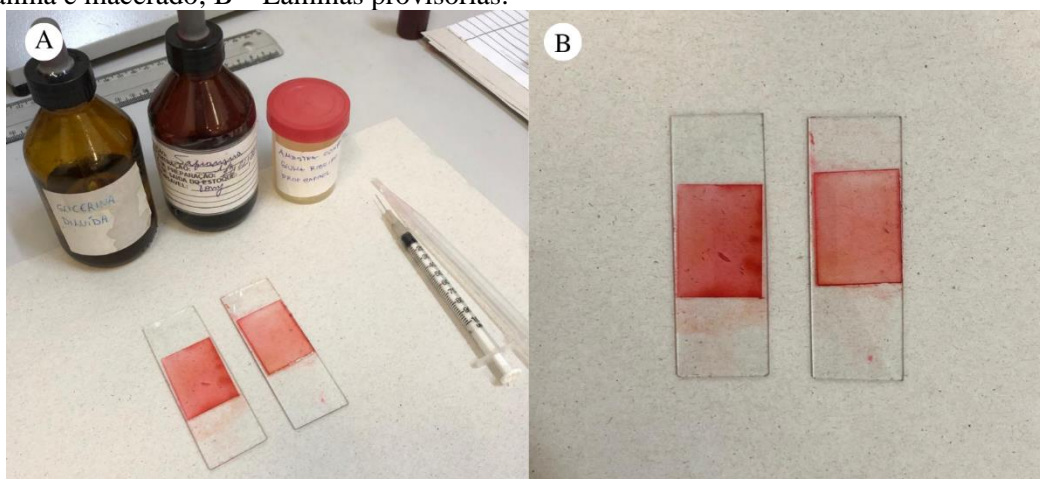


Fonte: Autora, 2022

4.3.2 Montagem das lâminas, captura das imagens e mensuração das fibras

A montagem das lâminas foi realizada utilizando a solução de fibras maceradas juntamente com o corante safranina e com glicerina na proporção de 1:1:1, onde foram transferidas para uma lâmina provisória (Figura 3).

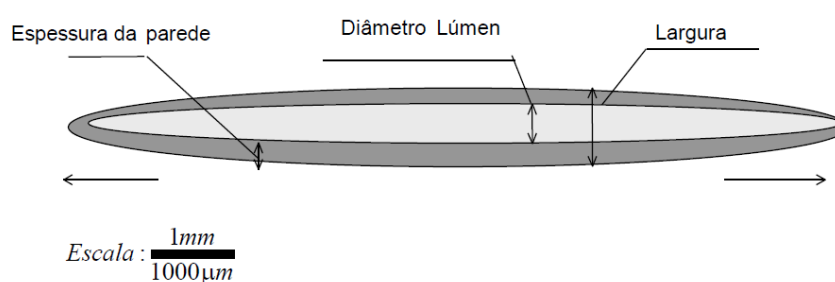
Figura 3. Preparo das lâminas provisórias de clone de *Eucalyptus urophylla*. A – Glicerina, corante Safranina e macerado; B – Lâminas provisórias.



Fonte: Autora, 2022

Das lâminas, foi realizada a medição de quarentas fibras individualmente por tratamento, determinando o comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede (Figura 4), conforme as orientações da Comissão Panamericana de Normas Técnicas – COPANT (1974). Para as medições do comprimento, largura e diâmetro do lume, foi utilizado um microscópio ótico (lentes objetivas de 40X e 4X), com o sistema de aquisição de imagens Honestech TVR 25®, por meio de uma câmera acoplada. As fibras foram visualizadas no monitor e a captura das imagens e a mensuração das fibras foram realizadas com o auxílio do software ImageProPlus®.

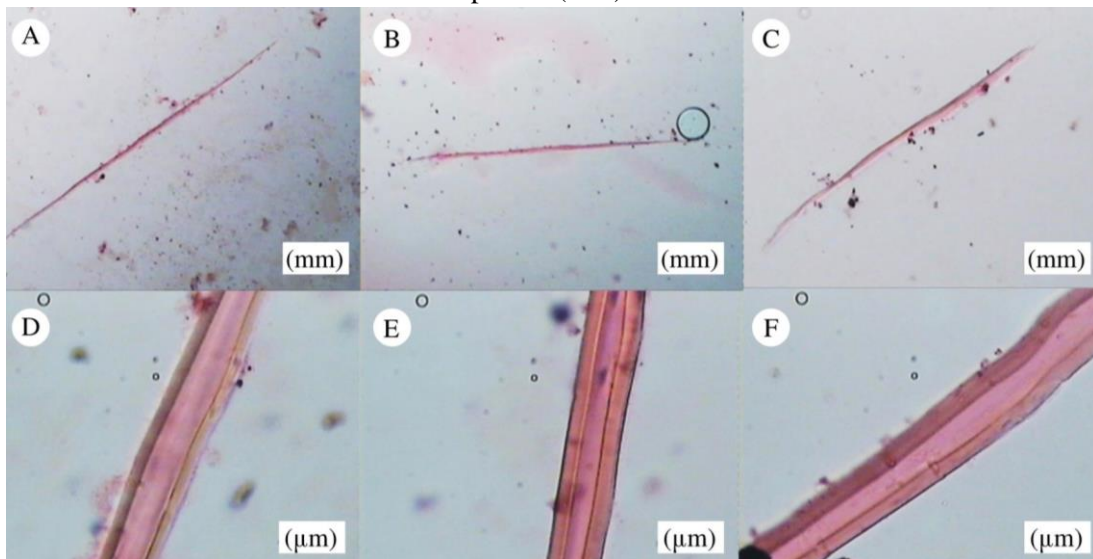
Figura 4. Esquema prático de uma fibra.



Fonte: SHIMOYAMA, 2005.

A Figura 5 evidencia o macerado do material apresentando as fibras, em (A-C) comprimento da fibra, (D-F) largura, diâmetro do lume e espessura da parede, onde pode-se observar as características anatômicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*.

Figura 5. Dimensões das Fibras: Comprimento (A-C); Largura, diâmetro do lume e espessura da parede (D-F).



Fonte: Autora, 2022.

4.3.3 Parâmetros morfológicos indicadores da qualidade da polpa celulósica

A partir das características mensuradas foram calculados o Índice de Runkel (Equação 1), Índice de Enfeltramento (Equação 2), Coeficiente de Flexibilidade (Equação 3) e Fração Parede (Equação 4) de acordo com o indicado por Barrichelo e Foelkel (1975). A espessura da parede celular das fibras foi determinada de forma indireta a partir da diferença entre a largura da parede e o diâmetro do lume dividido por dois (Equação 5).

$$IR = \frac{2.EPF}{DL} \quad (\text{Equação 1})$$

$$IE = \frac{CFi}{LF} \quad (\text{Equação 2})$$

$$CF = \frac{DL}{LF} \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

$$FP = \frac{EPC}{\frac{LF}{2}} \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

$$EPF = \frac{(LF-DL)}{2} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

EPF = Espessura da Parede da Fibra (μm);

DL = Diâmetro do Lúmen (μm);

CFi = Comprimento da Fibra (μm);

LF = Largura da Fibra (μm).

4.4 Análise Estatística

Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), no qual, os dados foram tabulados e submetidos à análise descritiva com auxílio do Excel (2007). Para verificar se houve diferença significativa entre os tratamentos foi realizada a análise de variância, com teste de Tukey, a 95% de probabilidade para comparação das médias, com auxílio do software SISVAR® versão 5.6

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados da estatística descritiva para a densidade básica da madeira de *Eucalyptus urophylla*.

Tabela 2. Valores encontrados para densidade dos tratamentos das fibras de clones de *Eucalyptus urophylla* aos 8 anos, plantados no município de Araripina-PE.

Tratamento	Densidade básica (g/cm ³)			
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
1	0,566	0,616	0,584 a	0,0196
2	0,656	0,708	0,684 c	0,0174
3	0,625	0,661	0,642 b	0,0198

Observou-se que a madeira proveniente do menor espaçamento (Tratamento 1) apresentou menor valor médio de densidade básica, seguido do tratamento 3. Esta, apresenta conformidade com o apresentado por Brito; Barrichelo (1980), onde foi observado valor de 0,594 g/cm³, para *Eucalyptus urophylla* com 4 anos de idade.

A densidade básica média do tratamento 2 foi de 0,684 g/cm³, o que já era esperado pois segundo Rocha (2000), as árvores plantadas em maiores espaçamentos possuem uma maior disponibilidade de água e nutrientes, o que irá resultar em maior copa e maior quantidade de fotoassimilados produzidos, os quais irão regular o espessamento da parede celular e, conseqüentemente, ocasionar um aumento na densidade básica da madeira, corroborando com o encontrado neste estudo. Sendo assim, recomendado o uso deste tratamento.

Esse aumento na densidade básica com o aumento do espaçamento também foi constatado em clones de *Eucalyptus saligna* (BERGER, et al., 2000; Garcia, et al., 1991).

Ainda, o resultado encontrado está de acordo com os resultados obtidos por Batista, Kloitzke, Santos (2010), onde foi observado o valor de 0,56 g/cm³ quando estudado a espécie *Eucalyptus dunii*.

Existe uma forte influência da densidade básica da madeira na seleção de clones para melhoramento florestal e, isso se deve ao fato da sua alta correlação com o consumo específico, ou seja, a quantidade de m³ de madeira por tonelada de celulose (GOMIDE, et al., 2010).

Na Tabela 3, encontram-se os resultados da estatística descritiva do comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras ao longo do fuste da madeira do clone de *Eucalyptus urophylla*. Os valores das dimensões das fibras foram comparados entre si pelo teste Tukey a 5% de significância, onde foram constatadas diferenças significativas

entre os tratamentos, que demonstra ser recomendável a seleção de um espaçamento ideal a fim de alcançar uma maior produtividade.

Tabela 3. Valores das dimensões das fibras da madeira do clone C41 submetidos aos espaçamentos 2 x 1 m, 4 x 2 m e 3 x 2 m (*Eucalyptus urophylla*) plantados no município de Araripina-PE.

Variável (µm)	Tratamentos	Fibras				
		Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
Comprimento	1	529,243	1203,420	810,422 b	143,849	5,634
	2	439,036	1026,251	748,211 c	134,778	5,551
	3	112,780	1209,344	822,755 a	173,425	4,744
Largura	1	10,827	30,303	16,770 a	3,809	4,402
	2	10,204	22,634	15,423 b	3,251	4,744
	3	10,347	19,005	15,061 c	2,104	7,160
Diâmetro do Lume	1	2,392	15,963	7,532 a	3,125	2,410
	2	2,584	12,365	6,992 b	2,384	2,933
	3	3,326	10,517	5,546 c	1,927	2,877
Espessura da parede	1	2,938	10,001	4,619 b	1,341	3,443
	2	2,226	7,459	4,216 c	1,059	3,980
	3	3,219	6,433	4,757 a	0,836	5,692

* As médias seguidas da mesma letra não diferem ao nível de significância de 5% (p – valor>0,05).

De acordo com Gomide *et al.* (2005) conhecer as características anatômicas dos elementos fibrosos das polpas permite a previsão de indicações das propriedades de seus papéis. Ainda segundo Baldin *et al.*, 2017 determinar os valores quantitativos das fibras é de crucial importância para que se permitam previsões acerca do comportamento da polpa em condições operacionais de processo, visto que as fibras se constituem no elemento anatômico mais abundante na madeira e seu comprimento, espessura e largura da parede afetam, diretamente, o rendimento e a qualidade do produto final.

Em geral, a madeira das espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam fibras curtas. Sendo assim, os valores médios apresentados para comprimento dos tratamentos indicam resultados satisfatórios para a espécie de *Eucalyptus urophylla*. Shimoyama (1990) afirma que o gênero *Eucalyptus* possui comprimento de fibras próximo de 1.000 µm, sendo assim, o tratamento 3 seria mais indicado para a produção de papel e celulose, pois provavelmente deve apresentar maiores resistências, principalmente ao rasgo, quando comparadas ao produto obtido dos tratamentos 1 e 2.

Os valores para largura se encontram dentro do estabelecido por Tomazello Filho (1987), que observou os valores entre 11 a 21,5 μm em *Eucalyptus sp.* com 10 anos de idade.

Quanto ao diâmetro do lume, estes valores estão de acordo com o apresentado por Shimoyama (1990) em relação ao estudo de *Eucalyptus urophylla*.

De acordo com Barrichelo e Brito (1976), a espessura da parede das fibras, apresentadas pelas espécies de eucaliptos, se encontram na faixa de 2,5 a 6,0 μm . Com isso, os valores verificados para esta medição são consoantes ao esperado e observado na literatura.

Mokfienski *et al.* (2003) afirmam fibras com menores espessuras de parede e maiores diâmetros de lúmen têm maior potencial de colapso, facilidade de refino, maior área de contato entre fibras na formação da folha de papel e, logo, maior resistência mecânica. A resistência mecânica, associada à opacidade, constitui-se no principal atributo de qualidade de papeis de escrita e impressão, também chamados de papeis refinados.

De acordo com os valores das medições realizadas nas fibras do material em estudo podem ser calculados coeficientes e índices, que irão corroborar, de antemão, a compreender as características gerais da fibra da espécie estudada e as propriedades para melhor designação desta matéria-prima. Na Tabela 4 são apresentadas as relações entre as dimensões das fibras por meio do índice de Runkel, índice de enfiamento, coeficiente de flexibilidade e fração parede para os três tratamentos avaliados.

Tabela 4. Valores médios para índice de Runkel, Índice de Enfiamento, Coeficiente de Flexibilidade e Fração Parede e das dimensões de fibras dos tratamentos de *Eucalyptus urophylla*.

Parâmetro	Tratamento		
	1	2	3
Índice de Runkel	1.23 b	1.21 c	1.72 a
Índice de Enfiamento	48.33 c	48.51 b	54.63 a
Coeficiente de Flexibilidade (%)	44.91 b	45.34 a	38.82 c
Fração Parede (%)	55.09 b	54.66 c	63.18 a

* As médias seguidas da mesma letra não diferem ao nível de significância de 5% (p – valor > 0,05).

Foi constatado diferença significativa de valores entre os tratamentos, sendo assim, a recomendação de uso com base nesses índices deve ser atribuída a um espaçamento ideal.

O índice de Runkel avalia o grau de colapso das fibras durante o processo de produção de papel, quanto menor, maior será o colapso permitindo às fibras uma maior superfície de contato, estabelecendo maior número de ligações, resultando em um papel com maior resistência à tração e ao estouro (FLORSHEIM *et al.*, 2009). De acordo com o proposto por Runkel (1952), os três tratamentos estudados são classificados, de maneira geral, como

regulares. Visto que a fibra com índice até 0,25 é considerada excelente para a produção de papel; de 0,25 a 0,50 é muito boa; de 0,50 a 1,00 é boa; de 1,00 a 2,00 regular, e acima de 2,0 não deve ser usada para papel, tendo em vista se tratar de fibras com paredes espessas ou muito espessas.

Segundo Nisgoski *et al.* (2012), valores altos não são desejados uma vez que a fibra se torna rígida e com maior dificuldade de acomodação e união na folha de papel. Sendo assim, com base nos valores do Índice de Runkel, os tratamentos deste estudo podem ser classificados como regulares para a produção de polpa celulósica.

Em relação ao índice de Enfeltramento, o Tratamento 3 foi classificado como bom para o papel seguindo a classificação de Mogollón e Aguilera (2002), onde afirmam que valores acima a 50 são mais indicados para boas características do papel relacionadas ao rasgo e dobras duplas. Os tratamentos 1 e 2 apresentaram valores inferiores a 50, sendo assim, classificados como regulares.

O coeficiente de flexibilidade está em conformidade com os valores encontrados por Shimoyama (1990), que afirma que quanto maior for o seu valor, mais flexível se torna a fibra colaborando para maiores ligações entre as mesmas. Segundo Menegazzo (2012) a celulose que apresente fibras com maior coeficiente de flexibilidade formará um papel mais denso e com melhores resistências, Foelkel e Barrichelo (1975) corroboram com esta informação, explicando que quando aumenta as resistências à tração e ao arrebentamento a resistência ao rasgo diminui.

O coeficiente de flexibilidade é a relação percentual entre a largura média do lume e a largura média das fibras. Quanto maior for o coeficiente de flexibilidade, mais flexíveis são as fibras e maior é a possibilidade de ligação entre elas. Em consequência, aumentam o comprimento de auto-ruptura e/ou índice de tração (D'ALMEIDA, 1988). Com isso, o Tratamento 2 apresenta valores mais elevados sendo mais indicado, seguido do Tratamento 1, que apresenta valores próximos. O Tratamento 3, com maior espaçamento, se mostra menos flexível.

Assim como o índice de Runkel, a Fração Parede está relacionada à rigidez da fibra. Quanto maior o valor apresentado, mais rígida a fibra pode tornar-se. Em decorrência disto, dificultará a formação do papel, afetando as suas propriedades de resistência (GONÇALEZ *et al.* 2014). Os valores de fração parede dos Tratamentos 1 e 2 se mostraram inferiores com o aferido por Gonzalez *et al.* (2014) em estudo com *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla* com 8 anos de idade. Este dado sugere que o clone estudado apresenta dimensões de fibras mais favoráveis à produção de papel, representando baixa espessura da parede em

relação ao diâmetro do lúmen. O Tratamento 3 está de acordo com o estudo, mostrando regular para o uso.

Como exposto, o Estado de Pernambuco apresenta condições promissoras ao plantio de *Eucalyptus urophylla* com potencial para produção de celulose e papel. O clone cultivado no espaçamento 3 x 2 m (T3), apresentou valores mais aderentes ao uso, quando comparado ao espaçamento 2 x 1 m (T1) e 4 x 2 m (T2). Além da distância entre as árvores, fatores como a disponibilidade hídrica e a disposição do clone no plantio podem afetar o desenvolvimento. Também é importante considerar os constituintes químicos da madeira.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para a madeira desse estudo, utilizando material genético de clone de *Eucalyptus urophylla* proveniente de plantio experimental, apresentaram resultados satisfatórios, pois fornece fibras com características anatômicas desejadas para o setor de celulose e papel.

Os tratamentos avaliados sofrem influência do espaçamento, sendo o tratamento 3, com espaçamento intermediário (3 x 2 m), mais indicado para a produção de celulose, com base nas variáveis analisadas no presente estudo.

7. REFERÊNCIAS

ALZATE, S. B. A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.68, p.87-95, 2005.

AS FLORESTAS plantadas. **Sistema Nacional de Informações Florestais**, 2020. Disponível em: <<https://snif.florestal.gov.br/pt-br/florestas-plantadas/405-as-florestas-plantadas>>. Acesso em: 26, set 2022.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **NBR 11941: Madeira - determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6p

BALDIN, T.; MARCHIORI, J. N. C.; NISGOSKI, S.; TALGATTI, M.; DENARDI, L. 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.

BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. **O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais**. Série Técnica IPEF, Piracicaba, v.1, n.3, p.1-16, 1980.

BARRICHELO, L. E. G.; FOELKEL, C. E. F. **Processo nítrico-acético para maceração de madeira**. Silvicultura, v.8, n.28, p. 732-733, 1983.

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. **A madeira das espécies de eucalipto como matéria-prima para a indústria de celulose e papel**. Série Divulgação PRODEPEF, n.13, p.1-145, 1976.

BARROS, B. C.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; REBOUÇAS, A. C. M. N. Volumetria e sobrevivência de espécies nativas e exóticas no polo gesseiro do Araripe, PE. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 641-647, 2010.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C, V, T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilidade**. 2000. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

BRACELPA – **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL**. “Relatório estatístico florestal 2010/2011”. 49p. 2011.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L.E.G. **Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I. densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto**. IPEF, Piracicaba, n.14, p.9-20, 1977.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: 2. Densidade da madeira x densidade do carvão.** IPEF, Piracicaba, v. 1, n. 20, p. 101-113, 1980.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira.** São Paulo, 153p. 1991.
CALDERON, C. M. A. **O segmento moveleiro na região do Alto Juruá – AC: Perfil e uso de tecnologias alternativas para a caracterização das principais espécies madeireiras.** Tese (doutorado), Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Brasília – DF, 2012.

CAMPOS, E. S. **Análise comparativa de pastas celulósicas branqueadas de eucaliptos para a fabricação de papéis de impressão e escrita.** 1997. 93f. 104 Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 1997.

CARDOSO JÚNIOR, A. A.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S. R.; MENDES, L. M. Deformação residual longitudinal em diferentes espaçamentos e idades em clone de híbrido de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 218-224, 2005.

CARVALHO, A. M.; NAHUZ, M. A. R. Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis x urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.59, p.61-76, 2001.

COMITRE, V. **O consumo de energia no setor de papel e celulose e impactos na agricultura.** 1999. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

COSTA, E.M. **A madeira do eucalipto na indústria moveleira.** In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO, 1996, Curitiba. Anais... Curitiba: ABPM/SBS, 1996. p.75-90

D'ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e papel - Tecnologia de fabricação do papel.** 2. ed. São Paulo: SENAI-IPT. v. 2. 1988. 964p.

DELANIE, L. C. T.; JOELMA, N. O.; GILMARA PIRES, M. P.; JANAINA, S. S.; JOÃO VICENTE, F. L. Influência do espaçamento no ângulo das microfibrilas e comprimento de fibras de clone de eucalipto. **Revista Forestal Latino americana**, v. 24, n. 1, p. 67-83, 2009.

DE NORMAS TÉCNICAS, Comissão Panamericana. COPANT. **Descrição das características gerais e macroscópicas das madeiras de angiospermas dicotiledôneas.** La paz: COPANT, 1974.

DENARDI, L. **Anatomia e flexibilidade do caule de quatro espécies lenhosas para o manejo biotécnico de cursos de água.** 2007. 112f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

DOSSA, D; SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.; RODIGHERI, H. R. **Produção e rentabilidade dos eucaliptos em empresas florestais.** Embrapa Florestas-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2002.

ELLI, E. F., SENTELHAS, P. C., HUTH, N., CARNEIRO, R. L.; ALVARES, C. A. Gauging the effects of climate variability on *Eucalyptus* plantations productivity across Brazil: A processbased modelling approach. **Ecological Indicators**, 114, 106325. (2020).

EMBRAPA. Perguntas e Respostas. 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/florestas/transferecia-de-tecnologia/eucalipto/perguntas-e-respostas>>. Acesso em: 02, setembro 2022.

FERREIRA, D. H. A. A.; LELES, P. S. S.; MACHADO, E. C.; ABREU, A. H. M.; ABÍLIO, F. M. Crescimento de clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em diferentes espaçamentos. **Floresta**, v. 44, n. 3, p. 431-440, 2014.

FERREIRA, S.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; ROSADO, A. M.; MONTEIRO, T. C. Resistência mecânica de caules de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias. **Cerne**, Lavras, v. 16, p. 133-140, 2010.

FLORSHEIM, S.M.B.; COUTO, H. T. Z.; LIMA, I. L.; LOUNGUI, E. L. Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunii* aos sete anos de idade. **Revista do Instituto Florestal**, v.21, n.1, p.79-91, 2009.

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

GARCIA, C. H., CORRADINE, L., ALVARENGA, S. F. **Comportamento florestal do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos**. IPEF,1991 (Circular Técnica nº179).

GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A. D. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**, v. 34, p. 339-344, 2010.

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**, v. 29, n. 1, p. 129-137, Fev, 2005.

GONCALEZ, J. C.; SANTOS, G. L.; SILVA JÚNIOR, F. G.; MARTINS, I. S. M; COSTA, J. A. Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 81-89, 2014.

GONÇALVES, J.L.; ALVARES, C.A.; ROCHA, J;H.; BRANDANI, C.B.; HAKAMADA, R. **Manejo de plantios de eucalipto em regiões com estresse hídrico**. Sul. Por. J. Para. Sci. 1-15. 2017.

HARRINGTON, T. B.; HARRINGTON, C. A.; DEBELL, D. S. Effects of planting spacing and site quality on 25-year growth and mortality relationships of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*). **Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 18–25, 2009.

IBÁ - Industria Brasileira de Árvores, 2021. RELATÓRIO 2021. Brasília. Disponível em:<<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>>. Acesso em: 13, setembro 2022

KAGEYAMA, P. Y.; VENCOVSKY, R. **Variação genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden**. IPEF, Piracicaba, n.24, p.9-26, 1983.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ JUNIOR, W. A. **Principles of Wood Science and Technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1968. 592 p.

LELES, P. S. S.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MORAIS, E. J. Relações hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. **Revista Árvore**, v. 22, n. 1, p. 41-50, 1998.

LELES, P. S. S.; REIS, G. G.; REISM, G.; MORAIS, E. J. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 59, p. 77-87, 2001.

LONDERO, E.K.; SCHUMACHER, M.V.; RAMOS, L.O.O; RAMIRO, G.A.; SZYMCZAK, D.A., 2012. Influências de diferentes períodos de controle e convivência com plantas daninhas em eucalipto. **Cerne** 18, 441-447.

MALLAN, F.A. ***Eucalyptus* improvement for lumber production**. In: SEMINARIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, IPEF/IPT, Anais, São Paulo, IPEF/IPT, 05-06, abr., 1995. p.1-19.

MARTINI, A. J. **O plantador de eucaliptos: a questão da preservação florestal no Brasil e o resgate documental do legado de Edmundo Navarro de Andrade**. 2004. 320p. Dissertação (Mestrado em Historia Social) - Faculdade de Filosofia, Historia e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MARTINS, R. J.; SEIXAS, F.; STAPE, J. L. Avaliação técnica e econômica de um harvester trabalhando em diferentes condições de espaçamento e arranjo de plantio em povoamento de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba v. 37, n. 83, p. 253-263, 2009.

MELO, E. A. S.C.; GONÇALVES, J. L. M.; ROCHA, J. H. T.; HAKAMADA, R. E.; BAZANI, J. H.; WENZEL, A. V. A.; JR, J. C. A.; BORGES, J. S.; MALHEIROS, R.; LEMOS, C. M. Z.; FERREIRA, E. V. O.; FERRAZ, A. V. Responses of clonal eucalypt plantations to N, P and K fertilizer application in different edaphoclimatic conditions. **Forests** 7. 2016

MENEGAZZO, Miguel Lara. **Características morfológicas de celuloses branqueadas de pinus e *eucalyptus* em analisador óptico automático de fibras**. 2012. x, 65 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2012.

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

MOKFIENSKI, A.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, C. **Importância da densidade e do teor de carboidratos totais da madeira de eucalipto no desempenho da**

linha de fibra. Colóquio internacional sobre celulose Kraft de Eucalipto, v. 1, p. 15-38, 2003.

NISGOSKI, S.; DE MUÑIZ, G.; KLOCK, U. Caracterização anatômica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. **Ciência Florestal**, v. 8, p. 67-76, 1998.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B.; TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; VENSON, I. **Características anatômicas da madeira e índices de resistência do papel de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake proveniente de plantio experimental.** v.40, n.94, p.203-211, 2012.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil.** 1997. 2v. 439f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, 1997.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology.** 4th ed. New York: McGraw Hill, 1980. 722 p.

QUEIROZ, S. C. S; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C. Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* ST Blake. **Revista Árvore**, v. 28, p. 901-909, 2004.

RIBEIRO JR., A. **Considerações gerais sobre o uso de celulose de eucalipto na fabricação de papel, in: Convenção anual da ABCP**, 9., 1976, São Paulo. Anais... São Paulo: ABCP, 1976 p. 47-49.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria-prima para Serrarias.** 2000. 185 f. Tese (Doutorado)–Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

RUNKEL, R.O.H. **Pulp from tropical wood.** TAAP, v.35, n.4, p.174- 178, 1952.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal.** Santa Maria: UFSM, 1993. 348p

SCOLFORO, J.R.S. **Modelos para expressar o crescimento e a produção florestal, parte 1.** Lavras: ESAL, FAPE, 1994. 188p.

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

SILVA, J. C. Cresce presença do eucalipto no Brasil. **Revista da Madeira**, n. 92, p.61-66, 2005.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, R.A.; LOOS, R.A. **The Brazil *eucalyptus* potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production.** Forest Ecology and Management, Amsterdam, v. 259, p. 1684-1694, 2010.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S. R.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M. A.; LIMA, A. M. N.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; ANDRADE, H. B.; ALVES, J. M.; SILVA, G. G. C.; AZEVEDO, M. R. 2010. **Projeto de produtividade potencial do eucalipto Brasil: influência da água, nutrientes e uniformidade do povoamento na produção de madeira.** Por. Eco Gerenciar. 259, 1684-1694.

TAKARADA, L. M. **Efeito da morfologia das fibras das madeiras de *Eucalyptus* e *Corymbia* na produção e qualidade do carvão vegetal.** 2015, 74 p. Dissertação (mestrado acadêmico) –Universidade Federal de Lavras, 2015.

TOMAZELLO FILHO, MARIO. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*. **Revista IPEF**, v. 36, p. 35-42, 1987.

TREVISAN, R.; ROSA, M.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; GATTO, D. A. Dimensões das fibras e sua relação com a idade de transição entre lenho juvenil e adulto de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, v.27, n.4, p.1385- 1393, 2017

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