

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

TATIANA DE FÁTIMA MARTINS PIRES

IMPACTO DO CLIMA NOS ELEMENTOS ANATÔMICOS DE
CLONES DE EUCALIPTO

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2023

TATIANA DE FÁTIMA MARTINS PIRES

IMPACTO DO CLIMA NOS ELEMENTOS ANATÔMICOS DE
CLONES DE EUCALIPTO

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Orientador: Dr. Jordão Cabral Moulin

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2023

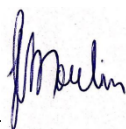
TATIANA DE FÁTIMA MARTINS PIRES

IMPACTO DO CLIMA NOS ELEMENTOS ANATÔMICOS DE
CLONES DE EUCALIPTO

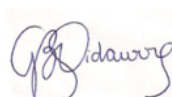
Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Aprovado em 12 de dezembro de 2023.

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Jordão Cabral Moulin
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Prof. Dra. Graziela Baptista Vidaurre
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinadora



Dra. Thayanne Caroline Castor Neto
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinadora

Aos meus pais e aos
meus irmãos.
Afetuosamente, dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e saúde.

Agradeço a mim, por ter suportado tanto e chegado até aqui.

Aos meus pais José Reis e Maria de Fátima pelo incentivo, apoio incondicional, pelas orações, por não ter deixado desistir, por fazerem tudo que estava ao alcance para concretização desse sonho.

Aos meus irmãos Robson, Renan e Luciana pelo apoio e ajuda durante todos esses anos.

A minha amiga Bárbara, pelo companheirismo, pelos trabalhos em dupla, pelas risadas e pelo apoio.

Ao grupo de amigos, Lorena, Maria, Eduardo e Wander, pelos trabalhos em grupo, pelo tempo vivido, pelas ajudas durante vários momentos na graduação, pelas risadas e fofocas.

Aos meus amigos Gustavo, Jéssica Terra, Anna, Karol e Cadu, pelos trabalhos realizados em grupo, pelos momentos de distração e pelas ajudas durante a graduação.

A Cinética Jr. e todas da EJ, por me proporcionarem uma vivência empresarial durante a graduação e por terem tornado os encontros e projetos mais divertidos.

Ao meu professor e orientador Jordão Cabral Moulin, pela oportunidade de participar de uma pesquisa de iniciação científica, pela orientação e por contribuir com a minha formação acadêmica.

A todos os professores, pelos conhecimentos transmitidos e por terem contribuído para a minha formação.

Ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, pela infraestrutura disponibilizada.

A Empresa Suzano S.A, pela concessão do material e parceria no âmbito do Edital Mai Dai/2020.

A turma 2019/1, pelo tempo vivido juntos e demais amigos que fiz na UFES pelos momentos compartilhados.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte dessa trajetória.

Muito obrigada!

RESUMO

O plantio de clones melhorados geneticamente são estratégias para obter materiais mais homogêneos e com qualidade conforme o produto que se deseja produzir, porém, devido a fatores ambientais podem gerar variações nos elementos anatômicos do lenho e assim gerar variação na qualidade da madeira. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de duas condições climáticas sobre a anatomia da madeira de eucalipto. Os materiais utilizados foram três clones de eucaliptos aos 6 anos de idade, sendo o *Eucalyptus urophylla* (C1), híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus Camaldulensis* (C2) e *Eucalyptus urophylla* (C4), oriundos de plantios da Suzano S.A, provenientes de São Miguel Arcanjo e Nova Viçosa. Foram realizadas análises de frequência e diâmetro de vasos, dimensões das fibras, também foi feita a quantificação dos elementos anatômicos por meio das lâminas histológicas e medições das fibras distantes e adjacentes aos raios e vasos. Os maiores diâmetros de vasos e comprimento de fibras foram dos clones provenientes de São Miguel Arcanjo. A frequência de vasos e espessura da parede das fibras diminuíram nos clones C1 e C4 provenientes de São Miguel Arcanjo. O clone C4 proveniente de Nova Viçosa apresentou maior área de vasos. As menores quantidades de células de raios e parênquimas foram encontradas no clone C2 proveniente de Nova Viçosa. As fibras adjacentes aos vasos apresentaram espessura de parede mais espessas. Os resultados do presente estudo indicaram que os elementos anatômicos dos clones analisados se comportaram de maneira distinta em função do ambiente, sendo possível observar que a interação ambiente x clone gerou variações anatômicas devido às condições climáticas de cada região.

Palavras-chave: Variação anatômica; Condição climática; Adaptabilidade das espécies; Clones de *Eucalyptus*; Quantificação anatômica.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 O problema e sua importância	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo geral	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 Impacto dos diferentes ambientes nos elementos anatômicos da madeira	5
2.2 Variação da morfologia das fibras conforme sua localização no lenho	6
3. METODOLOGIA	9
3.1 Área de estudo	9
3.2 Seleção das árvores e obtenção dos materiais para análise	11
3.2.1 Análise das fibras	12
3.2.2 Análise dos vasos	13
3.2.3 Análise da espessura da parede, largura da fibra e diâmetro do lume no plano transversal	14
3.2.4 Quantificação dos elementos anatômicos	15
3.2.5 Análises Estatísticas	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	17
4.1 Caracterização anatômica	17
4.2 Dimensões e frequência de fibras e vasos	17
4.3 Porcentagem dos elementos anatômicos	20
4.4 Comparação dos métodos de medição da espessura da parede das fibras ...	22
4.5 Geoindicador da espessura da parede celular da fibra em relação aos vasos e raios.....	23
5. CONCLUSÕES	26
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coordenadas dos locais de plantio.	9
Tabela 2 - Características dos plantios estudados.	9
Tabela 3 - Dimensões dos vasos das madeiras dos clones C1, C2 e C4.	17
Tabela 4- Dimensões das fibras das madeiras dos clones C1, C2 e C4.	18
Tabela 5 - Porcentagem dos elementos anatômicos presentes nas madeiras dos clones C1, C2 e C4.	20
Tabela 6 - Dimensões do diâmetro do lume, espessura da parede das fibras e largura da fibra mensurados pelos métodos de macerado e lâmina histológica.	23
Tabela 7 - Dimensões de espessura da parede de fibras adjacente aos raios, adjacente aos vasos e distante de vasos e raios.	24

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dados de precipitação, temperaturas mínimas, médias e máximas de São Miguel Arcanjo e Nova Viçosa registrados no período de 2016 a 2023.	10
Figura 2 - Dados de radiação e umidade relativa de São Miguel Arcanjo e Nova Viçosa registrados no período de 2016 a 2023.	11
Figura 3 - Amostragem da madeira para a avaliação anatômica.	12
Figura 4 - Lâminas temporárias de fibras montadas com glicerina (A); Medição das fibras no microscópio (B).	13
Figura 5 - Material corado e montados em lâminas histológicas temporárias (A); Medição dos vasos no microscópio (B).	14
Figura 6 - Medição de fibra distante de vasos e raios (A); Medição de fibra adjacente ao raio (B); Medição de fibra adjacente ao vaso (C).	15
Figura 7 - Imagem dos vasos (azul), raios (verdes) e parênquimas (laranja) coloridos pelo CorelDRAW.	16
Figura 8 - Características anatômicas do <i>E. urophylla</i> (C1); Híbrido de <i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i> e <i>E. urophylla</i> . Setas verdes – vasos solitários. Linhas azuis – Arranjo difuso. Arcos amarelos – Parênquimas escassos.	17

1. INTRODUÇÃO

Devido principalmente ao melhoramento genético, além de boa adaptação, crescimento rápido e facilidade de manejo, o eucalipto se tornou uma cultura com elevada importância comercial. É responsável por suprir grande parte da indústria de base florestal por meio do fornecimento de produtos como carvão, painéis, laminados, papel e celulose (JÚNIOR; COLODETTE, 2013; HULLER et al., 2017). A qualidade da madeira é fundamental para que esses produtos tenham alto valor agregado.

Junto com o melhoramento, a clonagem permite que o plantio florestal seja implantado em larga escala, com indivíduos mais homogêneos e que apresentem qualidades desejáveis conforme cada produto. No entanto, entender sobre a interação genótipo x ambiente é de suma importância, pois um determinado clone ou espécie pode apresentar resultados distintos conforme o local ao qual foi plantado (SOUZA, 2019).

Os efeitos edafoclimáticos como temperatura, vento, precipitação, geada além de propriedades do solo afetam de modo direto no desenvolvimento do eucalipto (TOSTA, 2019), interferindo também nas características químicas, físicas e anatômicas da madeira. Em relação às características anatômicas, a variação dos elementos celulares tanto em quantidade como em tamanho e arranjo influenciam na qualidade da madeira, como por exemplo, na densidade básica da madeira. Quando a madeira possuir fibras com espessura de parede maiores e maior quantidade de fibras em comparação aos vasos proporcionará aumento nos valores de densidade básica (COSTA, 2019; AZEVEDO, 2021).

O entendimento acerca das variações dos elementos anatômicos é de grande importância, pois são características fundamentais no desenvolvimento da planta e contribui para a escolha do melhor aproveitamento final da madeira.

Estudos de análise anatômica da madeira de clones em diferentes condições climáticas são importantes para gerar mais conhecimento sobre as modificações da madeira gerada pela interação clone x ambiente. Estudos como os realizados por Barbosa et al. (2019), Silva (2020) e Almeida et al. (2022), que ao estudarem a influência de diferentes condições climáticas sobre clones de eucalipto, obtiveram

menor espessura da parede das fibras, vasos com menores diâmetros e maior frequência em clones cultivados em região de menor precipitação. No ambiente de maior precipitação foi obtido maiores diâmetros de vasos, comprimento e espessura da parede das fibras.

Nesse sentido, estudos como esses de Barbosa et al., (2019), Silva (2020) e Almeida et al. (2022) acerca de modificações, variações e dimensões dos elementos anatômicos em diferentes condições climáticas permitem compreender as modificações estruturais que podem ocorrer. Possibilitando assim obter mais conhecimento sobre a madeira e sua qualidade.

1.1 O problema e sua importância

Durante a formação e desenvolvimento da árvore ocorrem processos fisiológicos responsáveis pela regulação da atividade cambial responsável pelo crescimento em diâmetro que proporciona a formação da madeira e pela atividade do meristema apical que é responsável pelo crescimento em altura.

Nestas atividades de crescimento ocorrem variações em quantidade, tamanho e frequência dos elementos anatômicos da madeira. Porém essas variações ainda podem aumentar entre espécies e dentro das mesmas espécies devido a influência de fatores do ambiente sobre os processos fisiológicos da planta, já que a estrutura da madeira resulta de interações entre genótipo x ambiente (KLOCK, 2006; OLIVEIRA et al., 2012).

O melhoramento genético e clonagem são técnicas que permitem obter e propagar plantios com as características desejadas e com bom rendimento em ambientes variáveis. No Brasil, os clones de eucalipto são obtidos por meio de clones derivados de plantas híbridas, no qual, é selecionado genótipos de espécies com características desejáveis e realizado o cruzamento para obtenção de clones superiores que atendam o mercado em qualidade da madeira e que tenham árvores propícias a resistir a variação do clima (DE RESENDE; ALVES, 2021).

O Brasil possui uma vasta área territorial contendo diferentes climas que variam devido a influência da latitude, altitude, pela maritimidade, vegetações, forma

de relevo, corrente marinha, além de massas de ar (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2017). Devido essa variação do clima em diferentes regiões, quando se tem plantio em diferentes estados, mesmo de um mesmo clone, pode se esperar que haja diferença nos elementos anatômicos do lenho em função do local de plantio.

Dessa forma, as possíveis variações ocorrentes na anatomia da madeira devido às diferentes condições climáticas podem ser significativas para influência da qualidade madeira para produção do produto final desejado. No qual, a variação da madeira colhida vai gerar também diminuição da qualidade do produto final produzido.

Os estudos referentes às variações dos elementos anatômicos de clones plantados em diferentes locais, permitem compreender o comportamento da adaptação desses clones. Além de mostrarem possíveis modificações em seus elementos anatômicos em função de diferentes condições de crescimento. Conseqüentemente com a obtenção desses estudos, os resultados podem auxiliar na escolha de locais de plantio que geram poucas variações no lenho além da melhor forma para o processamento final da madeira.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar alguns parâmetros anatômicos da madeira de clones de eucalipto em diferentes condições climáticas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o efeito do ambiente de maior temperatura e maior precipitação (Nova Viçosa) em relação ao de menor temperatura e menor precipitação (São Miguel Arcanjo) nas características anatômicas da madeira de clones de eucalipto.
- Comparar o método de medição das características das fibras pelas lâminas histológicas em relação ao tradicional método de fibras individualizadas obtidas no macerado.

- Comparar a espessura da parede celular das fibras que estão próximas e distantes dos vasos e dos raios nas duas regiões de plantio.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Impacto dos diferentes ambientes nos elementos anatômicos da madeira

Durante o crescimento, a árvore passa por processos de atividade dos meristemas apical e cambial que atuam no crescimento em altura e diâmetro respectivamente. Porém esses processos são influenciados por fatores de combinação de expressão genética, sinais hormonais e ambientais que atuam nas características anatômicas, gerando variações na madeira e em suas propriedades tecnológicas (TRINDADE, 2018).

Devido à grande demanda de madeira para variados setores florestais, a clonagem do eucalipto foi uma forma de propagação em escala comercial com o intuito de encontrar indivíduos com as melhores características e adaptações para se obter um plantio de qualidade e madeira uniforme (NUNES et al., 2002). Porém, as condições climáticas do local de plantio, podem gerar interferência no crescimento e desenvolvimento da árvore, e assim interferir diretamente na qualidade da madeira. Cada região possui características edafoclimáticas (temperatura, precipitação, geada e vento) e propriedades do solo (física, química e biológica) que afetam a produtividade de plantios. Além de outros fatores como manejo, ataque de pragas e doenças que também podem afetar o desenvolvimento das plantas (TOSTA, 2019).

Fatores ambientais podem interferir no crescimento da árvore, pois causam impactos sobre o período vegetativo e processos fisiológicos das plantas. Uma vez que o ambiente em que a planta está inserida apresentar condições ambientais desfavoráveis ao crescimento, respostas de adaptação aos processos fisiológicos da planta serão refletidos na atividade cambial e na anatomia do lenho, gerando diferenças na altura, diâmetro e densidade da madeira (OLIVEIRA et al., 2012).

A formação do lenho através do câmbio, ao ser influenciada pelas variações em ambientes tanto favoráveis quanto desfavoráveis, pode gerar diferentes alterações na qualidade da madeira. Em ambientes favoráveis em que as plantas possuem atividade cambial e fisiológica completa, pode resultar em acentuada divisão celular associado de um espessamento igual da parede celular, podendo proporcionar em madeiras com densidades baixas. Enquanto em ambientes desfavoráveis a lenta taxa de crescimento se torna demorada, podendo haver diminuição dos espaços porosos levando a produção de

uma madeira com maior densidade (OLIVEIRA et al., 2012; COSTA, 2019).

A falta de precipitação é um problema para os plantios, pois sem água a planta não consegue crescer e se desenvolver perfeitamente, sendo que a disponibilidade de água no ambiente vai gerar alterações nos elementos anatômicos da madeira. Em ambientes que ocorrem déficit hídrico, as plantas sujeitas a esse tipo de ambiente possuem elementos de vasos menores, mais próximos e em grande quantidade. Enquanto plantas sujeitas a ambientes com disponibilidade hídrica possuem maiores elementos de vasos e em menores quantidades (MORI et al., 2010). A estratégia de plantas em diminuir o diâmetro dos vasos em ambientes com falta de água coincide com o estudo de Barajas-Morales (1985), no qual, foi observado que em locais em que a aridez é elevada, as plantas modificam a estrutura de sua madeira, possuindo a tendência de diminuir o diâmetro dos vasos e aumentar espessura de parede. Essas modificações tornam-se em estratégias vantajosas, pois evitam colapso dos vasos em alta pressão e a diminuição dos tamanhos dos vasos confere maior proteção para reduzir a área dos vasos a serem afetados por embolias.

A variação na altitude interfere na temperatura, vento, precipitação, insolação e umidade do ar e assim determinam as características do clima de determinadas regiões. Segundo Mori et al. (2010), quando a altitude varia gera influência sobre os elementos anatômicos da madeira, ao elevar a altitude no lenho encontra-se maior quantidade de elementos de vasos, sendo eles mais estreitos e curtos, além de apresentarem fibras curtas.

2.2 Variação da morfologia das fibras conforme sua localização no lenho

O xilema secundário das angiospermas é composto por vasos, fibras, raios e parênquima axial, sendo que cada elemento anatômico desse exerce uma atividade fisiológica e/ou mecânica específica na madeira. Os vasos possuem função de conduzir seiva bruta (água e sais minerais), as células de parênquimas armazenam substâncias nutritivas e as fibras participam da sustentação mecânica da planta (ARAUJO, 2020).

Referente às fibras, sua morfologia tanto em comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lúmen pode afetar acentuadamente nas propriedades da

madeira como no aumento ou diminuição da densidade, assim como nas funções de transporte de sais minerais e água no xilema (YAHYA et al., 2015).

A estrutura das fibras é constituída por parede primária fina, parede secundária (S1, S2 e S3), sendo que a parede secundária S2 é constituída pelas microfibrilas formadas por longas cadeias de celulose (SILVA et al., 2009). Variações na estrutura da fibra, como o aumento da espessura da parede pode gerar ganhos de resistência mecânica tanto para madeira quanto resistência nos elementos anatômicos como vasos próximos às fibras (LONGUI et al., 2017).

Os efeitos climáticos são ocasionadores de alterações na estrutura anatômica do xilema, no qual modificações nesses componentes podem surgir como estratégia de adaptação em locais com pouca disponibilidade hídrica, ocorrendo devido às condições do ambiente que leva a planta investir em segurança hidráulica no xilema além de resistência à embolia (JANSSEN et al., 2020).

Propriedades mecânicas das fibras e a estrutura dos vasos estão correlacionados, no qual, alterações na anatomia desses elementos permitem gerar suporte na prevenção de colapso dos vasos em situações sob estresse hídrico no ambiente (JACOBSEN et al., 2005).

O espessamento da parede de fibras próximas aos vasos corresponde a uma estratégia que proporciona suporte mecânico e suporte para os vasos quanto a ocorrência de implosão dos vasos sob alta pressão em locais com déficit hídrico (JANSSEN et al., 2020; SILVA, 2020).

Esse aumento da espessura da parede gerado por ambientes com pouca disponibilidade hídrica, proporciona o aumento da densidade da madeira devido a compensação do consumo de energia ser revertido no fortalecimento das estruturas do lenho, tornando-o mais resistente e firme (SILVA, 2020).

Realizar medição de fibras no plano transversal por meio de lâminas histológicas, permite obter dimensões de largura da fibra, diâmetro do lume além da espessura de fibras próximas a elementos anatômicos como vasos e raios. A realização dessas medições por lâminas histológicas pode auxiliar na investigação de possíveis variações da morfologia das fibras próximas e distantes de vasos e raios influenciadas pelas condições climáticas do local de plantio.

Esse método de medição foi proposto por Yahya et al. (2015), para investigar a inter-relação da distância de vasos e as dimensões das fibras, pois pelo método tradicional de medição de fibras por maceração acaba perdendo a localização das fibras em relação aos vasos quando as fibras são maceradas e misturadas.

3. METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

As amostras de madeira foram provenientes de plantios da Suzano S.A de duas localidades, São Miguel Arcanjo e Nova Viçosa (Tabela 1). As espécies utilizadas foram o *Eucalyptus urophylla* (C1), híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus Camaldulensis* (C2) e *Eucalyptus urophylla* (C4). Todos os clones possuem 6 anos de idade.

Tabela 1 - Coordenadas dos locais de plantio.

Local Cidade /Estado	Coordenadas geográficas		Altitude (m)	Clima
	Longitude	Latitude		
Nova Viçosa - BA	39° 38' 49.8" W	17° 57' 08.2" S	11	Af
São Miguel Arcanjo - SP	47° 53' 45.6" W	23° 52' 07.7" S	660	Cfa

Af - clima tropical com todos os meses chuvosos; Cfa - clima quente úmido sem estiagem.

Fonte: Silva; Antunes; Eston, (2010); Gonçalves et al., (2009); Silva et a., (2013); CPRM – Serviço Geológico do Brasil, (2014); Suzano S.A.

Os dados climatológicos das cidades onde estão localizados os plantios foram obtidos das estações meteorológicas da empresa. Os cálculos das condições meteorológicas para cada cidade foram feitos com base nos meses de vida do experimento (Tabela 2).

Tabela 2 - Características dos plantios estudados.

Local Cidade/Estado	Data Plantio	Conclusão	Parcela	Espaçamento
------------------------	-----------------	-----------	---------	-------------

Nova Viçosa - BA	11/08/2016	11/08/2023	1 linha x 5 plantas	3,3 x 2,3 m
São Miguel Arcanjo - SP	09/08/2016	05/05/2023	1 linha x 5 plantas	3,0 x 1,8 m

Fonte: Suzano S.A.

A Figura 1 representa a soma anual de precipitação e temperatura onde estão situados os plantios. Na implantação, em 2016, o plantio de São Miguel Arcanjo apresentou uma maior precipitação (424,89 mm) em relação ao plantio de Nova Viçosa (376,87 mm). Essa maior precipitação em São Miguel Arcanjo ocorreu até o ano de 2017. Nos anos seguintes, as maiores precipitações ocorreram em Nova Viçosa.

Em São Miguel Arcanjo a temperatura mínima variou de 15 °C a 17 °C enquanto em Nova Viçosa variou de 20 °C a 21 °C. A temperatura média de São Miguel Arcanjo variou de 19 °C a 21 °C, enquanto em Nova Viçosa, a variação foi de 24 °C a 25 °C. Já a temperatura máxima de São Miguel Arcanjo foi de 26 °C a 28 °C, enquanto em Nova Viçosa variou de 29 °C a 31 °C (Figura 1).

Dessa forma, as temperaturas de São Miguel Arcanjo apresentaram menores médias tanto para temperatura mínima, média e máxima em comparação com as de Nova Viçosa.

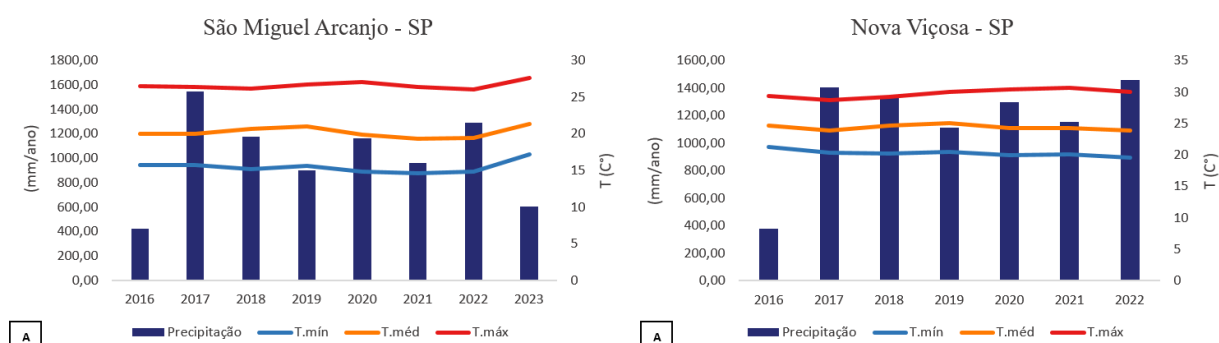


Figura 1 - Dados de precipitação, temperaturas mínimas, médias e máximas de São Miguel Arcanjo e Nova Viçosa registrados no período de 2016 a 2023.

Fonte: Suzano S.A.

São Miguel Arcanjo apresentou os menores valores de radiação em 2016 e umidade relativa entre 2016 a 2019. Já em Nova Viçosa foram registrados maiores valores de radiação entre 2017 a 2022 e umidade relativa de 2019 a 2021 (Figura 2).

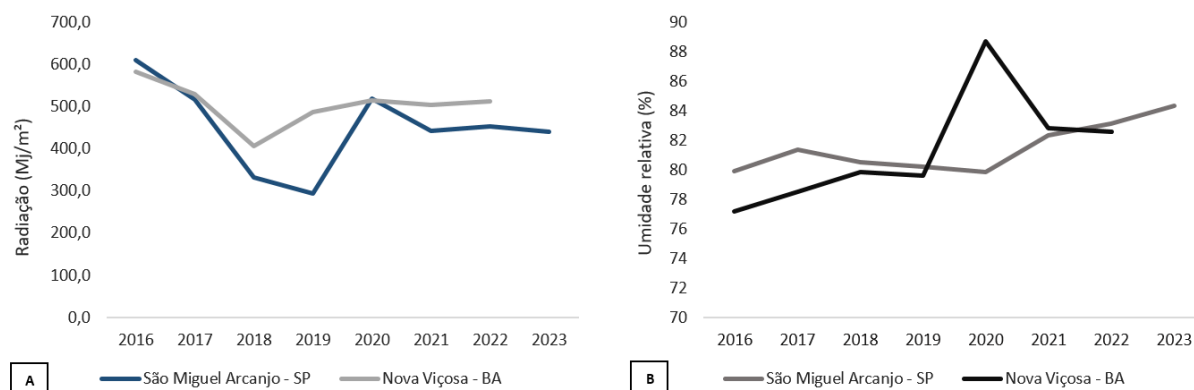


Figura 2 - Dados de radiação e umidade relativa de São Miguel Arcanjo e Nova Viçosa registrados no período de 2016 a 2023.

Fonte: Suzano S.A.

3.2 Seleção das árvores e obtenção dos materiais para análise

As árvores selecionadas para o experimento foram identificadas no local e foi estabelecido um diâmetro médio para seleção e marcação das árvores. Cinco árvores de cada clone foram escolhidas, logo foram derrubadas e submetidas à cubagem rigorosa, onde foram retirados discos na posição correspondente ao DAP (diâmetro a altura do peito), com 2,5 cm de espessura. Os discos foram devidamente identificados com código do sítio e n° da árvore, acondicionados e encaminhados para o Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM) da UFES.

Para as análises anatômicas dos discos de cada madeira, foram retiradas seção radial e da região do alburno foram retirados palitos para a maceração e obtenção de das amostras com dimensões de 1,0x1,5x2,0 cm, nas direções radiais, tangenciais e longitudinais respectivamente, para confecção de lâminas histológicas (Figura 3).

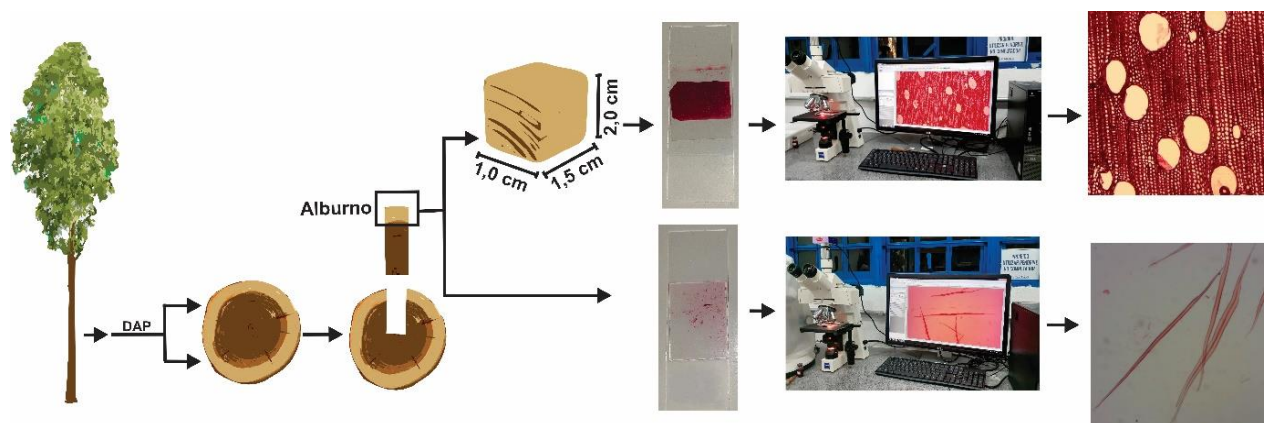


Figura 3 - Amostragem da madeira para a avaliação anatômica.

Fonte: A autora (2023).

3.2.1 Análise das fibras

Das amostras foi realizado o processo de maceração que é o processo de retirar pequenos “palitos” de madeira, no plano radial. Os palitos foram dispostos em frascos de 25 mL, em solução de ácido acético e peróxido de hidrogênio (1:1), posteriormente levados para estufa em temperatura de 60°C, durante 48 horas, conforme procedimentos propostos por Nicholls e Dadswell, descrito por Ramalho (1987). Após o tempo de 48 horas, a solução foi removida e o material colorido com safranina 1%, objetivando auxiliar na observação e medição das fibras no microscópio.

Durante o preparo das lâminas para visualização das fibras, foram retiradas pequenas amostras do material mais fino, com auxílio de uma pinça de alça e colocada sobre lâmina previamente preparada com uma gota de glicerina para evitar sobreposição das fibras (Figura 4A). Com a utilização do microscópio Zeiss Axiostar plus e do programa ImageView, em cada amostra, foram feitas 30 medições de comprimento, largura e diâmetro do lume (Figura 4B). A espessura da parede (EP) foi determinada pela diferença entre a largura da fibra (LF) e o diâmetro do lume (DL) dividido por 2 conforme a equação 1.

$$EP = \frac{LF - DL}{2} \quad (1)$$

Em que: EP: espessura da parede (μm); DL: diâmetro do lume (μm); LF: largura da fibra (μm).

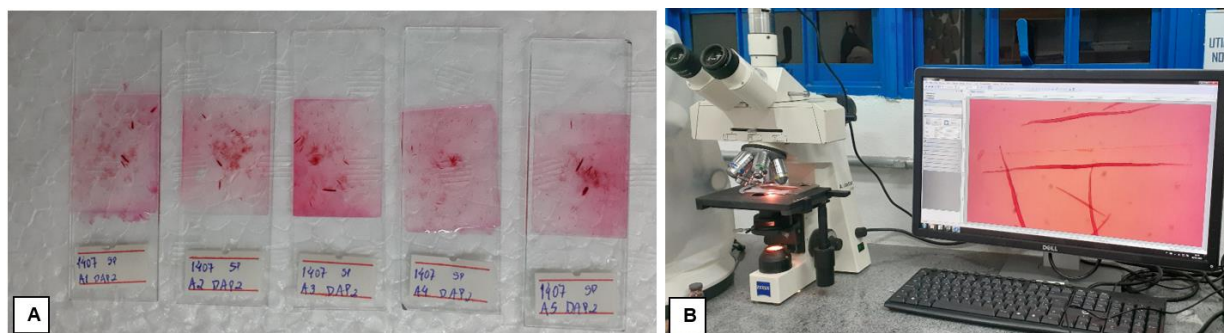


Figura 4 - Lâminas temporárias de fibras montadas com glicerina (A); Medição das fibras no microscópio (B).

Fonte: A autora (2023).

3.2.2 Análise dos vasos

Para as análises de vasos, as amostras foram amolecidas em água à ebulição e em seguida fixados em micrótomo de deslize, modelo Leica SM 2000R, para obtenção de cortes de espessura médias de $20 \mu\text{m}$ do plano transversal, e em seguida, foi realizado o processo de retirada da coloração do material. A retirada da coloração foi feita por meio da utilização de hipoclorito de sódio 60% aquecido. Após aquecimento, a solução foi colocada sobre o material por 5 minutos e, posteriormente, ocorreu a lavagem do material com água. Depois desse processo, foi feita a coloração do material com safranina, onde retirou-se o excesso do corante com álcool 80% e 20% e posteriormente foram montados em lâminas histológicas temporárias, com uso de glicerina e água (Figura 5A). Com a utilização de uma câmera digital para microscópio Zeiss Axiostar plus integrada ao software ImageView, foram retiradas 30 fotomicrografias de cada tratamento (Figura 5B). A análise do diâmetro tangencial e frequência dos vasos foi realizada conforme as normas da IAWA (1989).

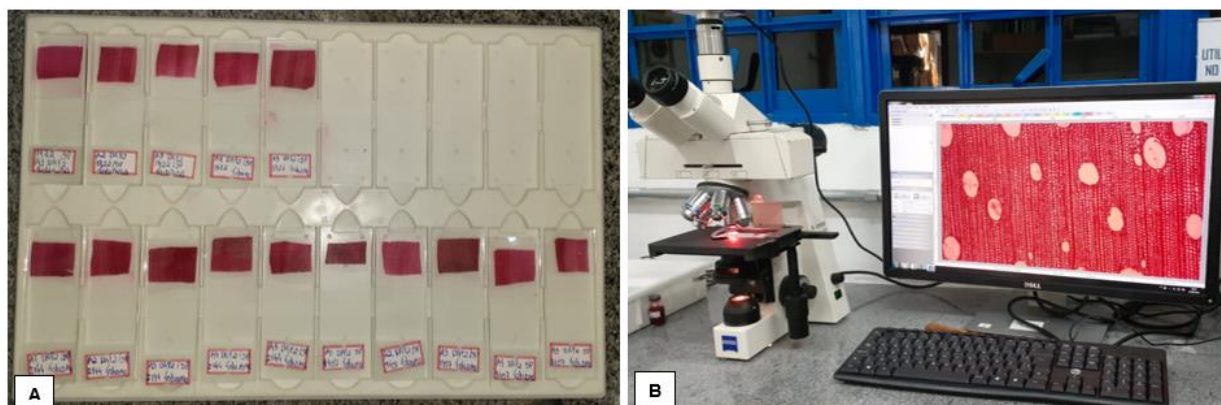


Figura 5 - Material corado e montados em lâminas histológicas temporárias (A); Medição dos vasos no microscópio (B).

Fonte: A autora (2023).

3.2.3 Análise da espessura da parede, largura da fibra e diâmetro do lume no plano transversal

Com a utilização das lâminas histológicas utilizadas para análises de vasos, foi realizada as medições das fibras no plano transversal por meio do microscópio com aumento de 40×, no qual foi realizado a medição das dimensões de 50 fibras (repetição) para cada posição distantes de vasos e raios, fibras adjacentes aos raios e fibras adjacentes aos vasos (YAHYA et al., 2015), o sentido das medições das fibras foram sempre paralelos ao vaso e raio para evitar a influência das espessuras da parede celular destes elementos anatômicos (Figura 6). Para calcular a largura e espessura da parede seguiu o método De Abreu Neto et al. (2020), sendo utilizada a medição do diâmetro do lúmen (DL) e a medição para cálculos da espessura da parede e espessura da fibra (MF), conforme as equações 2 e 3.

$$EP = \frac{(MF - DL)}{4} \quad (2)$$

$$LF = DL + 2 \times EP \quad (3)$$

Onde EP é a espessura da parede celular (μm), MF é a medição para cálculos da espessura da parede e espessura da fibra (μm), DL é o diâmetro do lúmen (μm) e LF é a largura da fibra (μm).

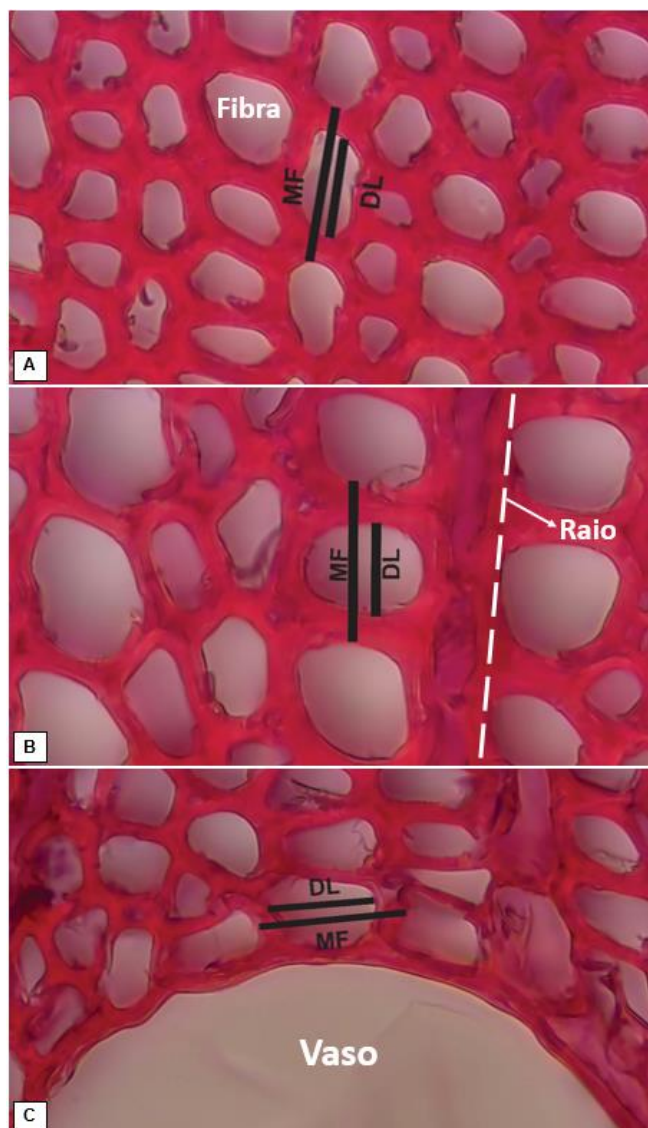


Figura 6 - Medição de fibra distante de vasos e raios (A); Medição de fibra adjacente ao raio (B); Medição de fibra adjacente ao vaso (C).

Fonte: A autora (2023).

3.2.4 Quantificação dos elementos anatômicos

As análises de quantificação dos elementos anatômicos seguiram a metodologia de Kotowska, Wright e Westoby (2020) e Angélico et al. (2021), foram realizadas por meio das lâminas histológicas utilizadas para as análises de diâmetro e frequência de vaso. Foram utilizadas 5 fotomicrografias com dimensões de 4175 x 4168 Pixels por lâmina de cada clone. De cada imagem foi selecionado um quadrante de área de 1 mm², que posteriormente foram coloridas as diferentes células anatômicas

no programa CorelDRAW que permite desenhar formas sobre a imagem e preencher com cor desejada (Figura 7) e em seguida a quantificação foi realizada no programa GIMP que permite a contagem da área de regiões da imagem com cores similares.



Figura 7 - Imagem dos vasos (azul), raios (verdes) e parênquimas (laranja) coloridos pelo CorelDRAW.

Fonte: A autora (2023).

3.2.5 Análises Estatísticas

Para verificar a variação na anatomia da madeira dos clones nas duas regiões, foi adotado o delineamento inteiramente casualizado (ANOVA), quando ANOVA apresentou significativa, foi aplicado o teste de Tukey a 5% de significância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização anatômica

O híbrido *E. grandis* x *E. camaldulensis* (C2) e *E. urophylla* (C1 e C4) compartilham características semelhantes em relação aos vasos, apresentando porosidade difusa, agrupamento predominantemente solitários, arranjo diagonal e em secção transversal os vasos possuem formato ovalado a circular. Referente ao parênquima axial, compartilham da composição de parênquima escasso (Figura 8).

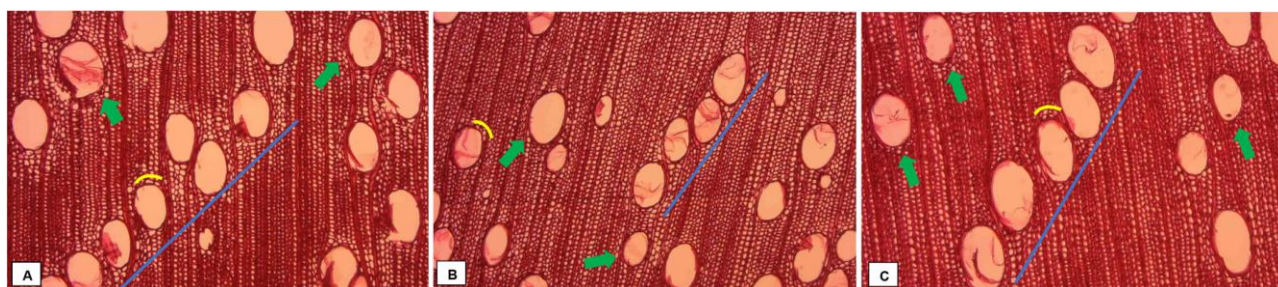


Figura 8 - Características anatômicas do *E. urophylla* (C1); Híbrido de *E. grandis* x *E. camaldulensis* e *E. urophylla*. Setas verdes – vasos solitários. Linhas azuis – Arranjo difuso. Arcos amarelos – Parênquimas escassos.

Fonte: A autora (2023).

4.2 Dimensões e frequência de fibras e vasos

Para os três clones provenientes de São Miguel Arcanjo, os valores médios dos diâmetros de vasos foram superiores em relação aos plantados em Nova Viçosa. Já em relação a frequência de vasos, os clones C1 e C4 provenientes de São Miguel Arcanjo foram menores (Tabela 3).

Tabela 3 - Dimensões dos vasos das madeiras dos clones C1, C2 e C4.

Material genético	Clima	Município	Local	Diâmetro de vaso (μm)	Frequência de vaso ($\text{n}^\circ/\text{mm}^2$)
C2	Cfa	São Miguel Arcanjo	SP	100,27 a	6,80 a
	Af	Nova Viçosa	BA	89,83 b	6,80 a

C4	Cfa	São Miguel Arcanjo	SP	119,42 a	5,00 b
	Af	Nova Viçosa	BA	103,53 b	6,20 a
C1	Cfa	São Miguel Arcanjo	SP	107,44 a	6,00 b
	Af	Nova Viçosa	BA	83,17 b	8,72 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna na espécie não diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Tukey. Fonte: A autora (2023).

A diminuição do tamanho dos vasos permite maior segurança a susceptibilidade de ocorrência de embolia e colapso dos vasos, enquanto o aumento da frequência de vasos permite o aumento da chance dos vasos se manterem ativos com eficiência de condução de água mantida caso outros vasos sofram embolia devido a diminuição da disponibilidade de água no local (OLIVEIRA, 2020). Dessa forma, a redução do diâmetro de vasos e aumento da frequência encontrados nos 03 clones provenientes de Nova Viçosa são adaptações anatômicas positivas para a continuação do desempenho dos processos fisiológicos dessas árvores.

Os maiores comprimentos de fibras foram encontrados para os 03 clones provenientes de São Miguel Arcanjo e os maiores valores de espessura de parede foram encontrados no sítio de Nova Viçosa. (Tabela 4).

Tabela 4- Dimensões das fibras das madeiras dos clones C1, C2 e C4.

Material genético	Clima	Município	Estado	CF (µm)	LF (µm)	DL (µm)	EP (µm)
C2	Cfa	São Miguel Arcanjo	SP	1153,07 a	21,03 a	13,06 a	3,98 a
	Af	Nova Viçosa	BA	1100,58 b	21,18 a	12,92 a	4,13 a
C4	Cfa	São Miguel Arcanjo	SP	1228,73 a	18,96 a	10,35 a	4,27 b
	Af	Nova Viçosa	BA	1053,64 b	19,29 a	9,95 a	4,67 a
C1	Cfa	São Miguel Arcanjo	SP	1260,08 a	21,20 a	12,10 a	4,55 b
	Af	Nova Viçosa	BA	1168,73 b	21,69 a	11,93 a	4,88 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna na espécie não diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Tukey. CF – comprimento de fibras. LF – largura da fibra. DL – Diâmetro do lume. EP – Espessura da parede da fibra. Fonte: A autora (2023).

A redução das dimensões dos elementos anatômicos dos clones provenientes de Nova Viçosa, como em diâmetro de vasos e comprimento de fibras, pode ser explicada devido a diferenças climáticas nos locais de plantio. De acordo com os dados climáticos de Nova Viçosa, foram registradas maiores médias de radiação e temperatura na região, enquanto para São Miguel Arcanjo foram registradas menores médias de radiação e temperatura. A combinação de redução das chuvas, aumento da radiação solar e diminuição da cobertura por nuvens pode aumentar a evapotranspiração e diminuir a disponibilidade de água para planta (HARBUSCH, 2014), e devido a essa menor disponibilidade de água pode levar a planta a modificar seus elementos de vasos, havendo redução em seu tamanho para diminuir risco de embolismo.

A variação na temperatura pode afetar na relação da parede celular e o lúmen das fibras, bem como no número e distribuição dos vasos do xilema das árvores, tanto no estágio de mudas quanto em árvores adultas (THOMAS; MONTAGU; CONROY, 2007). No trabalho de Almeida et al. (2022), ao avaliarem as diferenças na anatomia da madeira de clone de *E. urophylla* explicado pelas condições climáticas do local, foi encontrado que em locais com temperaturas amenas, foi observado menor diâmetro do lúmen da fibra e maior espessura da parede da fibra, estando relacionado com a realização de trocas gasosas, já que nesses ambientes há maior duração dos estômatos abertos. O aumento da duração de estômatos abertos nesses ambientes é proporcionado pelas baixas temperaturas e boas condições de umidade do ar que não geram risco de perda de água para planta e assim não necessitam limitar trocas gasosas nem a fotossíntese (ALMEIDA et al., 2022).

Os diferentes ambientes podem influenciar em mecanismos de adaptação que podem gerar modificações nos elementos anatômicos, por exemplo, plantas que estão inseridas em ambientes com pouca disponibilidade hídrica induzem a formação de vasos com tamanho diminuído para auxiliar na redução da ocorrência de cavitação e embolia (COSTA, 2019). Quando o ambiente está com boa disponibilidade de água os elementos de vasos nas plantas tendem a serem maiores e mais largos para serem mais eficientes para conduzir água (FERREIRA et al., 2019).

Já em ambientes com déficit hídrico as plantas podem diminuir o tamanho e aumentar a quantidade dos seus elementos de vasos para auxiliar em sua segurança, já que vasos maiores em ambientes com déficit hídrico podem levar ao risco de cavitação e, por consequência aumenta o risco de embolismo e assim levar a diminuição da capacidade de condução dos vasos (MORI et al., 2010; FERREIRA et al., 2019). Os menores valores de diâmetro de vasos e maior frequência de vasos obtidos para os clones provenientes de Nova Viçosa, podem ser decorrentes de modificações ao longo do tempo. Sendo que, os fatores climáticos como maior quantidade média anual de radiação, menor umidade relativa do ar e maior temperatura da região podem ter aumentado a evapotranspiração e diminuído a quantidade de água disponível para a planta levando a estimulação da modificação dos vasos para aumentar a segurança para uma possível ocorrência de embolismo.

O processo de cavitação é um fenômeno físico, associado a morfologia do xilema, e pode ocorrer por fatores variados. Podendo ser devido a fatores de ocorrência de períodos de seca que ocorre falta de água no solo e o xilema necessita realizar maior tensão para retirar água, porém essa tensão pode alcançar níveis elevados gerando o processo de cavitação (ruptura da coluna de água) e consequentemente levar a ocorrência do processo de embolia (OLIVEIRA, 2020).

4.3 Porcentagem dos elementos anatômicos

A área expressa em porcentagem sobre a quantidade dos elementos celulares pode ser visualizada na Tabela 5. O clone C4 proveniente de São Miguel Arcanjo obteve a menor área de vasos, enquanto o clone proveniente de Nova Viçosa apresentou maior área de vasos. Nos clones C1 e C2 não houve variação da área de vasos.

Tabela 5 - Porcentagem dos elementos anatômicos presentes nas madeiras dos clones C1, C2 e C4.

Material genético	Clima	Município	Estado	Vasos (%)	Raios (%)	Parênquima (%)	Fibras (%)
-------------------	-------	-----------	--------	-----------	-----------	----------------	------------

C2	Cfa	São Miguel Arcanjo	SP	13,36 a	12,10 a	0,39 a	74,14 a
	Af	Nova Viçosa	Bahia	13,23 a	11,13 b	0,24 b	75,39 a
C4	Cfa	São Miguel Arcanjo	SP	13,09 b	11,29 a	0,23 a	75,38 a
	Af	Nova Viçosa	Bahia	15,50 a	11,87 a	0,18 a	72,44 b
C1	Cfa	São Miguel Arcanjo	SP	12,73 a	12,56 a	0,35 a	74,34 a
	Af	Nova Viçosa	Bahia	11,90 a	12,25 a	0,28 a	75,56 a

Médias seguidas da mesma letra entre o material genético não diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Tukey. Fonte: A autora (2023).

O aumento da área do clone C4 proveniente de Nova Viçosa pode estar associado ao aumento do número de vasos e redução do seu diâmetro (Tabela 5), este mecanismo é estratégico para redução da embolia e melhor aproveitamento dos recursos disponíveis no solo para colaborar na sobrevivência e desenvolvimento da árvore (FRANCO, 2018).

Em relação aos resultados de porcentagem de raios e parênquimas, o clone C2 proveniente de Nova Viçosa apresentou menores valores, isto pode ser relacionado a variação de temperatura e pluviosidade entre os dois estados, já que a temperatura e precipitação pode estimular a quantidade de parênquima na planta e aquelas que possuem maior quantidade de células parenquimáticas conseguem reverter a embolia de forma mais eficaz (LUCHI; SILVA; MORAES, 2005), uma vez que este clone apresentou maior diâmetro de vaso (Tabela 3). Os raios possuem a função de armazenar e deslocar nutrientes do floema para o xilema e de água do xilema para o floema transversalmente (LIMA et al., 2021). Já as células parenquimáticas possuem a função de armazenar substâncias nutritivas (REIS; REIS, 2016).

Segundo Pech et al. (2023) há evidências que células de parênquimas estão relacionadas nos mecanismos de reabastecer o xilema, no qual, essas células estão ligadas a disponibilidade de carboidrato não estruturais presentes no caule, consequentemente com forças osmóticas necessárias para o reenchimento dos vasos depois de ocorrência de episódios de déficit hídrico. Tanto o parênquima radial quanto

o axial, possuem função de aumentar força osmótica no interior dos vasos por meio da movimentação de substâncias osmóticas ativas que aumentam o fluxo nos vasos e assim conseguem reverter a embolia ocorrida no xilema após a volta de períodos chuvosos (LUCHI; SILVA; MORAES, 2005).

Os menores valores de porcentagem de fibras foram encontrados no clone C4 proveniente de Nova Viçosa, enquanto o clone do plantio de São Miguel Arcanjo apresentou maior valor (Tabela 5). As fibras possuem a função de fornecer resistência mecânica a madeira (EVANGELISTA, 2007), logo, árvores que possuem menores quantidades de fibra em seu lenho como o clone C4 proveniente de Nova Viçosa podem possuir menor resistência e menor densidade.

Quando ocorre variação na quantificação dos elementos anatômicos da madeira pode gerar variação nas propriedades físicas da madeira como na densidade e estabilidade dimensional da madeira, nas propriedades mecânicas como resistência à compressão, tração, flexão e fendilhamento e nas propriedades químicas que estão relacionadas aos teores celulose, hemicelulose, lignina e extrativos (MORAES NETO et al., 2009; VALE; DIAS; SANTANA, 2010). Essas variações irão influenciar na aplicabilidade da madeira conforme a finalidade para seu uso, por exemplo, madeira com maior quantidade de fibras é benéfico para indústrias de celulose já que as fibras possuem em sua estrutura maior proporção de composição química de celulose, sendo cerca de 45% (MORAIS; NASCIMENTO; MELO, 2005).

4.4 Comparação dos métodos de medição da espessura da parede das fibras

Este tópico é para comparar o método de medição das fibras a partir das lâminas histológicas proposta por Yahya et al. 2015 em relação ao método tradicional a partir das fibras individualizadas obtidas pelo macerado (Tabela 6). O diâmetro do lume foi igual entre os dois métodos, já os valores obtidos de espessura de parede e largura da fibra foram menores pelo método por lâmina histológica.

Apesar das diferenças nos resultados obtidos entre os dois métodos de medição, a utilização da lâmina histológica revelou consistentemente valores inferiores de largura e espessura da parede celular da fibra em todas as condições

estudadas. Este método demonstrou potencial como geoindicador das características das fibras, indicando sua distribuição no lenho. No entanto, são necessários estudos adicionais para determinar se o método de medição por lâmina sempre resultará em valores menores e compreender a relação entre ambos. Essa análise mais aprofundada é importante para sua aplicação em trabalhos futuros.

Tabela 6 - Dimensões do diâmetro do lume, espessura da parede das fibras e largura da fibra mensurados pelos métodos de macerado e lâmina histológica.

Material genético	Método	Nova Viçosa - BA			São Miguel Arcanjo - SP		
		DL (μm)	EP (μm)	LF (μm)	DL (μm)	EP (μm)	LF (μm)
C2	Macerado	12,92a	4,13a	21,18a	13,06a	3,98a	21,03a
	Lâmina histológica	12,08a	2,27b	16,63b	13,77a	2,00b	17,78b
C1	Macerado	9,98a	4,65a	19,29a	10,35a	4,31a	18,96a
	Lâmina histológica	8,63a	2,32b	12,25b	10,85a	2,37b	15,59b
C4	Macerado	11,93a	4,88 a	21,69 a	12,10 a	4,43 a	21,20a
	Lâmina histológica	12,66a	2,82b	18,32 b	13,44 a	2,73 b	18,87b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Tukey. DL: Diâmetro do lume, EP: Espessura da parede, LF: Largura da fibra. Fonte: A autora (2023).

4.5 Geoindicador da espessura da parede celular da fibra em relação aos vasos e raios

Na Tabela 7 são apresentadas as medições da espessura da parede celular das fibras próximas dos vasos e raios, como aquelas distantes de ambos os elementos celulares. A espessura da parede celular das fibras adjacentes aos vasos foi maior, o que pode estar relacionado ao fato de que fibras com paredes mais espessas proporcionam maior suporte mecânico aos vasos para suportar pressões negativas em períodos de seca evitando implosão (ANSELMO, 2015). Durante períodos de déficit hídrico ocorre tensão na coluna de água no vaso da planta que vai gerar a cavitação e consequentemente a embolia. Quando essa tensão é muito grande e supera a

resistência das paredes dos vasos, acaba ocorrendo a implosão do vaso (SANTOS, 2019; BRITO, 2021).

Tabela 7 - Dimensões de espessura da parede de fibras adjacente aos raios, adjacente aos vasos e distante de vasos e raios.

Material genético	Clima	Município	Local	Fibras adjacente ao Raio	Fibras adjacente ao Vaso	Fibras distante de vaso e raio
C2	Cfa	São Miguel	SP	2.25 b	2.67 a	2.09 c
		Arcanjo				
	Af	Nova Viçosa	BA	2.28 b	3.00 a	2.37 b
C4	Cfa	São Miguel	SP	3.05 a	2.87 ab	2.73 b
		Arcanjo				
	Af	Nova Viçosa	BA	2.80 b	3.05 a	2.74 b
C1	Cfa	São Miguel	SP	2.79 a	2.80 a	2.44 b
		Arcanjo				
	Af	Nova Viçosa	BA	2.44 b	2.76 a	2.51 b

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Tukey. Fonte: A autora (2023).

Nos clones C1 e C4 as fibras adjacentes aos raios apresentaram maior espessura de parede na região de São Miguel Arcanjo. As fibras de maior espessura próximas aos raios colaboram com o suporte mecânico e colabora com melhor transporte dos nutrientes no raio devido o suporte mecânico gerado pela parede espessa das fibras (ANSELMO, 2015).

Dessa forma, as diferentes condições de crescimento das árvores podem influenciar nas variações dos seus elementos anatômicos (KOTOWSKA; WRIGHT; WESTOBY, 2020), essas variações podem ocorrer dentro e entre árvores das mesmas espécies plantadas em regiões diferentes. Essas variações são resultantes de fatores edafoclimáticos que exercem influência nos processos fisiológicos, ocasionando alterações nos elementos anatômicos da madeira ao longo do desenvolvimento da planta.

Apesar da clonagem ser realizada com intuito de se obter plantio com maior homogeneidade e sem grandes variações nas características desejáveis da madeira,

com a interação do clone x ambiente é possível que ocorram variações nas propriedades químicas, físicas e anatômicas da madeira, que conseqüentemente podem afetar na qualidade da madeira (POLLASTRELLI RODRIGUES, 2017).

Portanto, estudos referentes às variações dos elementos anatômicos de clones provenientes de diferentes locais são importantes para entender a influência das condições climáticas do local de plantio sobre as estratégias adaptativas da planta e como ela se comporta em determinado local. A partir do entendimento dessa interação, é possível auxiliar na escolha de clones com maior estabilidade e adaptação para continuação da produtividade e qualidade do plantio, já que a madeira é um material complexo e variável e as variações que ocorrem em seu lenho acabam influenciando no seu valor comercial (POLLASTRELLI RODRIGUES, 2017; COSTA, 2019).

5. CONCLUSÕES

Foi possível observar que a interação do ambiente x clone gerou variações nos elementos anatômicos estudados, devido às condições climáticas de crescimento dos plantios de cada região.

Os resultados do presente estudo indicam que os elementos anatômicos dos clones de *E. urophylla* (C1 e C4) e o híbrido de *E. grandis* x *E. Camaldulensis* (C2) se comportam de maneira distinta em função do ambiente.

O ambiente com menor temperatura e menor precipitação ocasionou em maiores diâmetros de vasos que podem auxiliar na melhor condução de água para a planta, enquanto os maiores comprimentos de fibras e porcentagem de fibras podem proporcionar maior resistência e densidade à madeira. O ambiente com maior temperatura e maior precipitação ocasionou o aumento da frequência de vasos que pode auxiliar a condução de água mesmo com a diminuição do diâmetro de vasos.

O método de medição das características das fibras por lâmina histológica diferiu para espessura da parede celular e largura das fibras em relação ao método tradicional de fibras individualizadas, contudo, mostrou-se positivo para ser utilizado como geoindicadores das características das fibras, indicando sua distribuição no lenho.

As fibras adjacentes aos vasos apresentaram espessura de parede mais espessas, possibilitando proporcionar maior resistência aos vasos para que reduza o risco de ocorrência de implosão.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, M. N. F.; VIDAURRE, G. B.; LOUZADA, J. L. P. C.; PEZZOPANE, J. E. M.; OLIVEIRA, J. C. L.; CÂMARA, A. P.; SILVA, M. E. C. M.; BARROS, A. I. R. N.; MATOS, C. da C.; ALVES, A. M. M.; CAMPOE, O. C.; ALVARES, C. A. Differences in wood anatomy and chemistry of a *Eucalyptus urophylla* clone explained by site climate conditions. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 52, n. 5, p. 834-844, 2022.
- ANGÉLICO, T. D. S.; MARCATI, C. R.; ROSSI, S.; SILVA, M. R. da; SONSIN-OLIVEIRA, J. Soil effects on stem growth and wood anatomy of tamboril are mediated by tree age. **Forests**, Winston-Salem, NC, v. 12, n. 8, p. 1058, 9 ago. 2021.
- ANSELMO, G. C. **Relações entre caracteres anatômicos do xilema, densidade de madeira e segurança hidráulica em espécies do semiárido**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2015. f. 48.
- ARAÚJO, H. J. B. de. Caracterização do material madeira. In: SEABRA, G. (org.). **Educação ambiental: o desenvolvimento sustentável na economia globalizada**. Ituiutaba, MG: Barlavento, 2020. p. 31-44.
- AZEVEDO, S. R. V. **Caracterização da madeira e do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes espaçamentos no Sertão pernambucano**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Recife, 2021. f. 80.
- BARAJAS-MORALES, J. Wood structural differences between trees of two tropical forests in Mexico. **IAWA Bull.**, v. 6, n. 4, p. 355-364, 1985.
- BARBOSA, T. L.; OLIVEIRA, J. T. da S.; ROCHA, S. M. G.; CÂMARA, A. P.; VIDAURRE, G. B.; ROSADO, A. M.; LEITE, F. P. Influence of site in the wood quality of *Eucalyptus* in plantations in Brazil. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 81, n. 3, p. 247-253, 2019.
- BARREIROS, R. M.; GONÇALVES, J. L. de. M.; SANSÍGOLO, C. A.; POGGIANI, F. Modificações na produtividade e nas características físicas e químicas da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n.1, p.103-111, 2007.
- BRAGA, J. H. de. O. **Crescimento e fotossíntese de eucalipto: efeitos da concentração de CO₂ atmosférico, deficiência hídrica e microclima**. Dissertação (Mestrado em Concentração Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2016. f. 82.
- BRITO, N. D. da. S. **Estratégias de segurança hidráulica e características anatômicas de plantas lenhosas da Caatinga em resposta à sazonalidade**

climática. 2021. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2021. f. 45.

COSTA, S. E. de L. **Efeito de ambientes contrastantes sobre a densidade básica e o incremento médio anual da madeira de clones de Eucalipto**. 2019. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais. Macaíba, RN, 2019. f. 56.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Atlas pluviométrico do Brasil; equações intensidade-duração-frequência: estação pluviográfica Itamaraju; código 01739005 (ANA); Estação Pluviométrica Helvécia (EFBM); código 01739006 (ANA)**. Porto Alegre: CPRM, 2014.

DA SILVA, B. G. da; ANTUNES, A. Z.; DE ESTON, M. R. de. Variação local na composição da comunidade de aves no Parque Estadual Carlos Botelho, São Miguel Arcanjo–SP e propostas para o monitoramento do impacto do ecoturismo. **Revista do Instituto Florestal**, v. 22, n. 2, p. 215-232, 2010. DOI: 10.24278/2178-5031.2010222263.

DE ABREU NETO, R.; LIMA, J. T.; TAKARADA, L. M.; TRUGILHO, P. F. Effect of thermal treatment on fiber morphology in wood pyrolysis. **Wood Sci. Technol**, v. 55, p. 95–108, 2020. DOI: 10.1007/s00226-020-01238-6.

DE RESENDE, M. D. V.; ALVES, R. S. Genética: estratégias de melhoramento e métodos de seleção. Brasília, DF: **Embrapa**, 2021. cap. 3.

EVANGELISTA, W. V. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* ST Blake, oriunda de consórcio agrossilvipastoril**. 2007. Dissertação (Mestrado em Magister Scientiae) – Universidade Federal de Viçosa, 2007. f. 120.

FERNANDES, J. B. **Crescimento, características nutricionais e fisiológicas de progênies de *Eucalyptus grandis* W. Hill. Ex. Maiden sob diferentes doses de fósforo**. 2015. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015. p. 44.

FERREIRA, C. A.; URBINATI, C. V.; RIBEIRO, A. de. O.; DUARTE, P. J.; MOURI, F. A.; ASSIS, M. R. Relações morfo-anatômicas dos elementos traqueais de genótipos de *Eucalyptus* L' Héritier. **Scientia Agraria Paranaensis**, p. 232-243, 2019.

FRANCO, M. P. **Plasticidade de árvores de *Eucalyptus grandis* no contexto das mudanças climáticas: interação do déficit hídrico e da fertilização no crescimento e qualidade do lenho das árvores**. 2018. Tese (Doutorado em Tecnologia de Produtos Florestais). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T da S.; LUCIA, R. M. D.; SARTÓRIO, R. C. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 33, p. 501-509, 2009.

GUIMARÃES, M. M. C. **Crescimento de plantas jovens de *Eucalyptus urophylla* em meio hidropônico com diferentes proporções de nitrato e amônio**, 2012. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação de Mestrado em Agronomia, Vitória da Conquista, 2012. f. 46-56.

HARBUSCH, M. **The effect of climate variables on sapwood anatomy of *Eucalyptus***. 2014. Dissertation (Doctorate in Philosophy). Faculty of Agriculture and Environment, New South Wales, Australia, 2014.

HULLER, L. A. S.; HASELEIN, C. R.; SILVEIRA, A. G.; MENEZES, W. M. de.; TALGATTI, M.; SOUZA, J. T. de. Modificação térmica e propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus cloeziana*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 90, p. 183-188, 2017.

IAWA COMMITTEE. International Association of Wood Anatomists. List of microscope features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, v. 10, n. 3, p. 234-332, 1989.

JACOBSEN, A. L.; EWERS, F. W.; PRATT, R. B.; PADDOCK, G. A.; DAVIS, S. D. Do xylem fibers affect vessel cavitation resistance?. **Plant physiology**, v. 139, n. 1, p. 546-556, 2005.

JANSSEN, T. A. J.; HÖLTTÄ, T.; FLEISCHER, K.; NAUDTS, K.; DOLMAN, H. Wood allocation trade-offs between fiber wall, fiber lumen, and axial parenchyma drive drought resistance in neotropical trees. **Plant, Cell & Environment**, v. 43, n. 4, p. 965-980, 2020.

JÚNIOR, D. L.; COLODETTE, J. L. Importância e versatilidade da madeira de eucalipto para a indústria de base florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 76, p. 429-438, 2013.

KAVA, J. **Produtividade de *Eucalyptus urograndis* (*E. urophylla* x *E. grandis*) aos dois anos de idade submetido a diferentes sistemas de produção - talhadia e a reforma florestal**. 2020. Especialização (Especialista em gestão Florestal) - Universidade do Paraná, Curitiba, 2020.

KLOCK, U. **Química da Madeira: A formação da Madeira**. 2006. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/formacaodamadeira.pdf>. Acesso em: 02 set. 2023.

KOTOWSKA, M. M.; WRIGHT, I. J.; WESTOBY, M. Parenchyma abundance in wood of evergreen trees varies independently of nutrients. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, 19 fev. 2020.

- LIMA, P. A. F.; DIAS, V. S.; JESUS, A. N. M. de.; SANTOS, A. M.; VIEIRA, T. S.; MELO, J. A. S. de.; LIMA, J. F. de.; ALVES, T. S.; SOUSA, K. G. A. de. Características anatômicas e suas influências nas propriedades da madeira: um referencial teórico. Madeiras nativas e plantadas do Brasil: qualidade, pesquisas e atualidades - volume 2. **Editora Científica**. 2021. p. 14-31.
- LONGUI, E. L.; OLIVEIRA, I. R. de.; GRAEBNER, R. C.; FREITAS, M. L. M.; FLORSHEIM, S. M. B.; GARCIA, J. N. Relationships among wood anatomy, hydraulic conductivity, density and shear parallel to the grain in the wood of 24-year-old *Handroanthus vellosi* (Bignoniaceae). **Rodriguésia**, v. 68, p. 1217-1224, 2017.
- LUCHI, A. E.; SILVA, L. C. P.; MORAES, M. A. Anatomia comparada do lenho de *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. Em áreas de cerrado e de plantação de *Pinus elliottii* Engelm. **Brazilian Journal of Botany**, v. 28, p. 809-820, 2005.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. Oficina de textos, 2017.
- MORA, A. L.; GARCIA, C. H. A cultura do Eucalipto no Brasil. **Sociedade Brasileira de Silvicultura**: São Paulo, 2000. p. 112.
- MORAES NETO, S. P. de; TELES, R. F.; RODRIGUES, T. O.; VALE, A. T. Propriedades mecânicas da madeira de cinco procedências de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* implantadas no Cerrado do Distrito Federal. 2009. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, 2009. p. 20.
- MORAIS, S. A. L. de; NASCIMENTO, E. A. do; MELO, D. C. de. Análise da madeira de *Pinus oocarpa* parte I: estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, v. 29, p. 461-470, 2005.
- MORI, C. L. S. de O.; BRITO, J. O.; TOMAZELLO FILHO, M.; SCOLFORO, J. R. S.; GOMES JÚNIOR, F. Influência da idade e altitude nas características anatômicas, químicas e de densidade básica da madeira de candeia-*Eremanthus erythropappus*. **Floresta**, v. 40, n. 4, 2010.
- NUNES, G. H. de S.; REZENDE, G. D. S. P.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. Implicações da interação genótipos x ambientes na seleção de clones de eucalipto. **Cerne**, V.8, N.1, P.049-058, 2002.
- OLIVEIRA, G. M. V.; MELLO, J. M. de.; TRUGILHO, P. F.; SCOLFORO, J. R. S.; ALTOÉ, T. F.; NETO, A. J. da S.; OLIVEIRA, A. D. de. Efeito do ambiente sobre a densidade da madeira em diferentes fitosionomias do Estado de Minas Gerais. **Cerne**, v. 18, p. 345-352, 2012.
- OLIVEIRA, L. A. **Aspectos hidráulicos da tolerância à seca em clones de eucalipto**. 2020. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; DOS SANTOS, P. E. T. Escolha de cultivares de eucaliptos em função do ambiente e do uso. 2013. **Embrapa Florestas**. Comunicado técnico, 316. Colombo: Embrapa Florestas, 2013.

PECH, T. M.; CAMPOE, O. C.; GUILLEMOT, J.; MAIRE, G. L. Caracterização anatômica do parênquima radial em clone de *Eucalyptus*. **Série Técnica IPEF**, v. 26, n. 48, 2023.

POLLASTRELLI RODRIGUES, B. **Efeito de ambientes contrastantes na produção florestal e nas propriedades da madeira de clones de *Eucalyptus***. 2017. Tese (Doutorado em Concentração Ciências Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2017. f. 70.

RAMALHO, R. S. **O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras**. Viçosa. UFV. p. 4, 1987.

REIS, C. A. F.; DOS SANTOS, P. E. T.; PALUDZYSZYN FILHO, E. Avaliação de clones de eucalipto em Ponta Porã, Mato Grosso do Sul. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 34, n. 80, p. 263-269, 2014.

REIS, P. C.; REIS, L. Caracterização anatômica macroscópica da madeira de quatro espécies de *Lecythidaceae*. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 24, 2016.

SANTOS, J. A. R. **Eficiência e segurança hidráulica de *Tachigali chrysaloides van der Werff. (leguminosae)* no sudoeste da Amazônia**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais). Universidade Federal do Acre, 2019. f. 32.

SILVA, A. P. C. da. Respostas estruturais do xilema de *Eucalyptus* às diferentes condições hídricas. 2020. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. 2020. f. 107.

SILVA, E. A.; GOMES, J. B. V.; FILHO, J. C. de A.; SILVA, C. A.; CARVALHO, S. A. de.; CURTI, N. Podzolização em solos de áreas de depressão de topo dos tabuleiros costeiros do Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 11-24, 2013.

SILVA, R.; HARAGUCHI, S. K.; MUNIZ, E. C.; RUBIRA, A. F. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, v. 32, p. 661-671, 2009.

SIQUEIRA, L. de. **Variabilidade genética de população selecionada e teste de paternidade de uma progênie de polinização aberta de *Eucalyptus Grandis Hill ex Maiden***. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2009. f. 40.

SOUZA, V. B. de. **Crescimento inicial de clones de eucalipto na Região do Vale do Submédio São Francisco**, 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em

Agronomia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Petrolina, 2019. f. 28-31.

THOMAS, D. S.; MONTAGU, K. D.; CONROY, J. P. Temperature effects on wood anatomy, wood density, photosynthesis and biomass partitioning of *Eucalyptus grandis* seedlings. **Tree Physiology**, v. 27, n. 2, p. 251-260, 2007.

TOSTA, W. F. G. **Efeitos edafoclimáticos na produtividade de *Eucalyptus globulus* Labill. em Portugal continental**. 2019. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Florestais) - Instituto Politécnico de Bragança - IPB. Bragança, 2019. p. 75.

TRINDADE, E. G. B. **Influência do espaçamento em propriedades físicas e anatômicas da madeira de eucalipto**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2018. p. 73.

VALE, A. T. do; DIAS, Í. S.; SANTANA, M. A. E. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de cerrado. **Ciência Florestal**, v. 20, p. 137-145, 2010.

YAHYA, R.; SUNDARYONO, A.; IMAI, T.; SUGIYAMA, J. Distance from vessels changes fibre morphology in *Acacia mangium*. **IAWA journal**, v. 36, n. 1, p. 36-43, 2015.