



FABÍOLA MAGALHÃES MENDES

**VARIAÇÃO ESPACIAL DAS FIBRAS DE EUCALIPTO
CONSIDERANDO A ESTRUTURA DOS ANÉIS ANUAIS DE
CRESCIMENTO**

**LAVRAS-MG
2021**

FABÍOLA MAGALHÃES MENDES

**VARIAÇÃO ESPACIAL DAS FIBRAS DE EUCALIPTO CONSIDERANDO A
ESTRUTURA DOS ANÉIS ANUAIS DE CRESCIMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Caracterização da Madeira e seus Produtos, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Paulo Fernando Trugilho
Orientador

Prof. Dr. Paulo Ricardo Gherardi Hein
Coorientador

**LAVRAS-MG
2021**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Mendes, Fabíola Magalhães.

Variação espacial das fibras de eucalipto considerando a
estrutura dos anéis anuais de crescimento / Fabíola Magalhães
Mendes. - 2021.

77 p. : il.

Orientador(a): Paulo Fernando Trugilho.

Coorientador(a): Paulo Ricardo Gherardi Hein.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Anatomia da madeira. 2. Biometria das fibras. 3. Índice de
qualidade. I. Trugilho, Paulo Fernando. II. Hein, Paulo Ricardo
Gherardi. III. Título.

FABÍOLA MAGALHÃES MENDES

**VARIAÇÃO ESPACIAL DAS FIBRAS DE EUCALIPTO CONSIDERANDO A
ESTRUTURA DOS ANÉIS ANUAIS DE CRESCIMENTO**

**EUCALIPTUS FIBER SPATIAL VARIATION CONSIDERING THE STRUCTURE
OF THE ANNUAL GROWTH RINGS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Caracterização da Madeira e seus Produtos, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 24 de março de 2021.

Dr. Paulo Fernando Trugilho DCF/UFLA

Dra. Angélica de Cássia Oliveira Carneiro DCF/UFV

Dra. Franciane Andrade de Pádua DCA-So/UFSCA

Prof. Dr. Paulo Fernando Trugilho
Orientador

Prof. Dr. Paulo Ricardo Gherardi Hein
Coorientador

**LAVRAS-MG
2021**

*À minha mãe Emília e aos meus irmãos.
Dedico*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por estar presente em todos os momentos que me trouxeram até aqui, me guiando e protegendo.

À Universidade Federal de Lavras, ao Departamento de Ciências Florestais e ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira pela oportunidade de me tornar mestre.

Aos professores, verdadeiros mestres, que me mostraram o caminho do saber.

Ao meu orientador, professor Paulo Fernando Trugilho por todo apoio, confiança, dedicação, paciência e pela credibilidade depositada em mim na elaboração deste trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Biomateriais por toda a ajuda na elaboração da pesquisa e apoio nos momentos difíceis.

Aos meus pais Emília e Sebastião pelos ensinamentos que formaram meu caráter. Em especial à minha mãe por me incentivar todas as vezes que achei que não fosse capaz, pelas sábias palavras nas horas difíceis e por tudo que sempre fez por mim ao longo de toda minha vida.

Agradeço aos meus irmãos, Bráulio, Ramon e Pablo pelo exemplo e apoio incondicional.

E a todas as pessoas que acreditaram em mim, e que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação.

Muito obrigada!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

As propriedades das fibras variam ao longo do fuste da árvore e essas variações estão relacionadas às atividades dos meristemas apical e câmbio vascular, onde o seu entendimento auxilia na melhor forma de aproveitamento da madeira. Existem vários estudos referentes ao padrão de variação dimensional das fibras ao longo do fuste nos sentidos radial e longitudinal, no entanto, a grande maioria não leva em consideração a estrutura dos anéis anuais de crescimento da árvore. Assim, esta pesquisa objetivou determinar o padrão de variação dimensional das fibras ao longo do fuste, além de estimar o modelo geral do padrão de variação com base na informação dos anéis anuais de crescimento da árvore. Dois clones de híbridos do cruzamento do *E. urophylla* x *E. grandis* com 10 anos de idade, que passaram por desbaste aos 4 anos, foram utilizados no estudo, sendo amostradas duas árvores por clone. Nas árvores selecionadas foram retirados discos em diferentes posições longitudinais: 0,30 m, 1,30 m e a cada dois metros até 23,3 m de altura. Após o preparo dos discos, os anéis de crescimento foram identificados, seccionados e amostrados para individualização das fibras. O método de Nicholls e Dadswell foi utilizado para a maceração. Vinte fibras foram mensuradas, por posição longitudinal de amostragem, com auxílio de microscópio óptico por meio do programa Dinocapture 2.0. Modelos de regressão linear foram utilizados para a obtenção do padrão de variação por característica da fibra nos sentidos radial e longitudinal ao longo do tronco. A seleção do melhor modelo foi com base na significância da regressão e de seus coeficientes, coeficiente de determinação ajustado, coeficiente de variação do modelo e a análise gráfica dos resíduos. Observou-se que longitudinalmente, dentro dos anéis anuais de crescimento, as dimensões das fibras e os seus índices indicativos de qualidade não apresentaram padrão de variação bem definido. O comprimento, espessura da parede, fração parede e índice de Runkel das fibras tenderam aumentar no sentido medula casca, enquanto que o diâmetro do lume e coeficiente de flexibilidade reduziram. Não foi possível definir um único modelo para predizer os padrões de variação por anel anual de crescimento.

Palavras-chave: Clone. Anatomia da madeira. Modelagem. *Eucalyptus*. Biometria das fibras. Índice de qualidade.

ABSTRACT

Fiber properties vary along the tree stem and these variations are related to the activities of the apical meristems and vascular cambium, where their understanding helps in the best wood utilization. There are several studies regarding the pattern of dimensional variation of fibers along the stem in the radial and longitudinal directions, however, the vast majority do not consider the structure of the tree's annual growth rings. Thus, this research aimed to determine the fiber's pattern of dimensional variation along the stem, in addition to estimating the general model of the variation pattern based on information from the tree's annual growth rings. Two hybrid clones from the crossing of *E. urophylla* x *E. grandis* with 10 years of age that underwent thinning at 4 years of age were used for the study, being sampled two trees per clone. In the selected trees, discs were removed in different longitudinal positions: 0.30 m, 1.30 m and every two meters up to 23.3 m in height. After the preparation of the discs, the growth rings were identified, sectioned and sampled for fiber individualization. Nicholls and Dadswell's method was used for maceration. Twenty fibers were measured, by longitudinal sampling position, with the aid of an optical microscope using the program Dinocapture 2.0. Linear regression models were used to obtain the pattern of variation by fiber characteristic in the radial and longitudinal directions along the stem. The selection of the best model was based on the significance of the regression and its coefficients, adjusted coefficient of determination, coefficient of variation of the model and the graphical analysis of the residues. It was observed that longitudinally, within the annual growth rings, the fiber's dimensions and their indicative quality indexes did not present a well-defined variation pattern. The fiber's length, wall thickness, wall fraction and Runkel index tended to increase in the marrow bark direction, while the lumen diameter and flexibility coefficient decreased. It was not possible to define a single model to predict the variation patterns per annual growth ring.

Keywords: Clone. Wood anatomy. Modeling. *Eucalyptus*. Fiber biometrics. Quality index.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do município de Luminárias	25
Figura 2 – Esquema de amostragem do tronco.....	26
Figura 3 – Separação dos anéis.....	27
Figura 4 – Mapas de variação do comprimento (C) médio das fibras dos clones A e B.....	65
Figura 5 - Mapas de variação da largura (L) média das fibras dos clones A e B.....	66
Figura 6 – Mapas de variação do diâmetro médio do lume (Lum) das fibras dos clones A e B	66
Figura 7 – Mapas de variação da espessura média da parede (Esp) das fibras dos clones A e B	67
Figura 8 – Mapas de variação do índice de enfiamento (IE) médio das fibras dos clones A e B	68
Figura 9 – Mapas de variação do coeficiente de flexibilidade (CF) médio das fibras dos clones A e B	69
Figura 10 – Mapas de variação da fração parede (FP) média das fibras dos clones A e B.....	70
Figura 11 – Mapas de variação do índice de Runkel (IR) médio das fibras dos clones A e B	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Modelos de regressão testados para obtenção de padrão de variação das características das fibras	29
Quadro 2 - Modelos de variação longitudinal do comprimento das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone A	43
Quadro 3 - Modelos de variação longitudinal do comprimento das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone B.....	44
Quadro 4 - Modelos de variação radial do comprimento das fibras por posição longitudinal do clone A.....	44
Quadro 5 - Modelos de variação radial do comprimento das fibras por posição longitudinal do clone B	45
Quadro 6 - Modelos de variação longitudinal da largura das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone A	46
Quadro 7 - Modelos de variação longitudinal da largura das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone B	46
Quadro 8 - Modelos de variação radial da largura das fibras por posição longitudinal do clone A	47
Quadro 9 - Modelos de variação radial da largura das fibras por posição longitudinal do clone B.....	47
Quadro 10 - Modelos de variação longitudinal do diâmetro do lume das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone A.....	48
Quadro 11 - Modelos de variação longitudinal do diâmetro do lume das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone B	49
Quadro 12 - Modelos de variação radial do diâmetro do lume das fibras por posição longitudinal do clone A.....	49
Quadro 13 - Modelos de variação radial do lume das fibras por posição longitudinal do clone B	50
Quadro 14 - Modelos de variação longitudinal da espessura das paredes das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone A	51
Quadro 15 - Modelos de variação longitudinal da espessura das paredes das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone B	51
Quadro 16 - Modelos de variação radial da espessura das paredes das fibras por posição longitudinal do clone A.....	52

Quadro 17 - Modelos de variação radial da espessura das paredes das fibras por posição longitudinal do clone B	52
Quadro 18 - Modelos de variação longitudinal do índice de enfiletamento das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone A	53
Quadro 19 - Modelos de variação longitudinal do IE das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone B.....	54
Quadro 20 - Modelos de variação radial do índice de enfiletamento das fibras por posição longitudinal do clone A	55
Quadro 21 - Modelos de variação radial do índice de enfiletamento das fibras por posição longitudinal do clone B	55
Quadro 22 - Modelos de variação longitudinal do coeficiente de flexibilidade das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone A.....	56
Quadro 23 - Modelos de variação longitudinal do coeficiente de flexibilidade das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone B	56
Quadro 24 - Modelos de variação radial do coeficiente de flexibilidade das fibras por posição longitudinal do clone A	57
Quadro 25 - Modelos de variação radial do coeficiente de flexibilidade das fibras por posição longitudinal do clone B	58
Quadro 26 - Modelos de variação longitudinal da fração parede das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone A	59
Quadro 27 - Modelos de variação longitudinal da fração parede das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone B	59
Quadro 28 - Modelos de variação radial da fração parede das fibras por posição longitudinal do clone A	60
Quadro 29 - Modelos de variação radial da fração parede das fibras por posição longitudinal do clone B.....	61
Quadro 30 - Modelos de variação longitudinal do índice de Runkel das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone A	62
Quadro 31 - Modelos de variação longitudinal do índice de Runkel das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone B	62
Quadro 32 - Modelos de variação radial do IR das fibras por posição longitudinal do clone A	63
Quadro 33 - Modelos de variação radial do IR das fibras por posição longitudinal do clone B	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comprimento médio das fibras dos clones A e B	33
Tabela 2 - Largura média das fibras dos clones A e B	34
Tabela 3 - Diâmetro médio do lume das fibras dos clones A e B	35
Tabela 4 - Espessura média das paredes das fibras dos clones A e B	36
Tabela 5 – Índice de enfiamento das fibras dos clones A e B.....	39
Tabela 6 – Coeficiente de flexibilidade das fibras dos clones A e B	40
Tabela 7 – Fração parede das fibras dos clones A e B	41
Tabela 8 – Índice de Runkel das fibras dos clones A e B	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1	Formação da madeira.....	17
3.2	Anéis de crescimento	18
3.3	Variação espacial das características anatômicas da madeira	19
3.4	Influência da anatomia na utilização industrial da madeira	21
3.5	Modelos de variação	23
4	MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1	Características climatológicas do local de coleta	25
4.2	Características do material de pesquisa	25
4.3	Amostragem	26
4.4	Preparação das amostras	27
4.5	Medições das fibras.....	28
4.6	Análise estatística e modelagem.....	29
4.7	Confecção dos mapas.....	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1	Valores médios das dimensões das fibras dos clones A e B.....	31
5.2	Valores médios dos índices indicativos de qualidade das fibras dos clones A e B	37
5.3	Modelos de variação longitudinal e radial das dimensões das fibras dos clones A e B	43
5.3.1	Modelos de variação do comprimento das fibras dentro do tronco	43
5.3.2	Modelos de variação da largura das fibras dentro do tronco.....	45
5.3.3	Modelos de variação do diâmetro do lume das fibras dentro do tronco.....	48
5.3.4	Modelos de variação da espessura das paredes das fibras dentro do tronco	50
5.4	Modelos de variação longitudinal e radial dos índices de indicativo de qualidade das fibras dos clones A e B	53
5.4.1	Modelos de variação do índice de enfiamento dentro do tronco	53
5.4.2	Modelos de variação do coeficiente de flexibilidade dentro do tronco.....	56
5.4.3	Modelos de variação da fração parede dentro do tronco.....	58
5.4.4	Modelos de variação do índice de Runkel dentro do tronco	61
5.5	Mapas de variação das dimensões das fibras dos clones A e B.....	64
5.6	Mapas de variação dos índices indicativos de qualidade das fibras dos clones A e B	67
6	CONCLUSÃO	72
	REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

A área de floresta plantada no Brasil é de 9,0 milhões de hectares, desses 6,97 milhões de hectares são de eucalipto, o que corresponde a 77% do total. Além disso, a indústria brasileira de florestas plantadas é destaque no mundo por atuar com princípios de sustentabilidade e também pela competitividade e inovação, tendo reconhecimento mundial pela sua alta produtividade de madeira. O setor ainda possui relevância para o desenvolvimento social, ambiental e econômico no país (IBÁ, 2020).

Em 2019, aproximados 210,3 milhões de m³ de madeira proveniente de árvores plantadas no Brasil foram destinados para uso industrial, sendo 154,2 milhões de m³ madeira de eucalipto. Os principais setores industriais abastecidos por essas florestas são celulose e papel, painéis de madeira, pisos laminados e carvão vegetal. Além disso, o Brasil é considerado um dos principais produtores de celulose e papel e painéis de madeira no mundo (IBÁ, 2020).

Para atender à demanda dessas indústrias por madeira para suas diversas aplicações como, por exemplo, fibras, energia, entre outras, é necessário o melhor entendimento sobre a madeira, possibilitando destinar melhor essa matéria-prima, de forma a atender as diferentes exigências de cada setor para o desenvolvimento de produtos finais de qualidade.

A qualidade dos produtos feitos à base de madeira está relacionada, além das variáveis do processo, com as características da matéria-prima utilizada. Nesse sentido, a qualidade da madeira está relacionada com a combinação de fatores químicos, mecânicos, físicos e anatômicos que afetam o produto final desejável, ou seja, para cada tipo de produto final existe uma combinação de características da madeira que a define como sendo de qualidade para aquele determinado uso.

Além da composição química e das propriedades físico-mecânicas, as características anatômicas constituem índices indicativos de qualidade da madeira. No setor de celulose e papel, por exemplo, os elementos anatômicos da madeira são de suma importância, pois as madeiras com fibras de paredes mais espessas proporcionam maciez em papéis tissue e opacidade nos papéis de impressão, características essas fundamentais para a determinação da qualidade destes produtos (GOMIDE et al., 2005). Segundo Barrichelo e Brito (1976), além das dimensões das fibras propriamente ditas, relações entre essas dimensões estão relacionadas com a qualidade das fibras para o setor e conseqüentemente com propriedades que atribuem qualidade ao produto final da indústria de celulose e papel. Essas relações, segundo Foelkel (1978) geram os índices indicativos de qualidade das fibras, por exemplo, o índice de enfiletramento, coeficiente de flexibilidade, fração parede e índice de Runkel, entre outros.

Segundo Nisgoski et al. (2012) esses índices indicativos de qualidade, mostram a maneira como ocorre o entrelaçamento das fibras no processo de fabricação de papel, o que influencia nas propriedades do produto final. Devido a isso os índices são utilizados na indicação de madeiras de qualidade para a indústria de celulose e papel.

Para o setor de energia da biomassa, madeiras com fibras de paredes finas não são indicadas na produção de carvão, pois essa característica, associada a outros fatores, está associada com baixa densidade da madeira, e para se ter carvão de qualidade, além de outros fatores como alto teor de lignina, é desejável madeiras mais densas que, segundo Kolmann et al. (1975) está intimamente relacionada com o espessamento das paredes das fibras.

As variações das características na madeira estão relacionadas com os fatores ambientais, genéticos e a interação genótipo x ambiente. Além disso, as características podem variar entre espécies, entre indivíduos da mesma espécie e até mesmo dentro da árvore. No fuste a madeira pode variar no sentido radial e longitudinal, entre lenho inicial e lenho tardio, madeira juvenil e madeira adulta e cerne e alborno (TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996). Determinar o padrão das variações dentro da árvore pode auxiliar no melhor entendimento do comportamento dessa matéria prima dentro do processo produtivo, bem como a influência do material sobre a qualidade do produto final, possibilitando assim, uma melhor destinação das madeiras de floresta plantada para os diversos setores industriais. Conhecido o padrão de variação é possível determinar a característica desejada em amostragem mais simples, menos onerosa e que demandará menos custos de transporte de amostras e menos trabalho em nível de laboratórios.

Estudos anatômicos da madeira vêm sendo desenvolvidos em busca de se conhecer seus padrões de variação dentro do lenho, além de desenvolver modelos que consigam prever tal característica ao longo do fuste. Embora a biometria dos elementos anatômicos das espécies seja amplamente pesquisada, poucos são os trabalhos que investigam as variações radiais e longitudinais dessas dimensões levando em consideração a estrutura dos anéis anuais de crescimento da árvore, estrutura essa de grande importância na formação da madeira.

Os anéis anuais de crescimento são compostos pelos lenhos inicial e tardio e representam o incremento de madeira ao longo dos anos em uma árvore. Eles são formados conjuntamente às influências das variações ambientais. Em condições favoráveis é formado o lenho inicial, composto por fibras com paredes mais finas e em condições ambientais desfavoráveis é formado o lenho tardio, constituído de fibras de paredes mais espessas. Dessa forma, eventos ambientais, como períodos chuvosos ou secos, baixa temperatura e até mesmo ataque de patógenos influenciam na formação e dimensões dos elementos anatômicos que

formam os anéis (RAVEN et al., 2014). Logo, nos anéis de crescimento, presentes radial e longitudinalmente na árvore, estão registradas as variações anatômicas da madeira e conseqüentemente as variações das suas propriedades.

Nesse sentido, pesquisas que tratem da avaliação da variação espacial das dimensões das fibras dentro do fuste da árvore nos sentidos longitudinal e radial, considerando a estrutura dos anéis anuais de crescimento, para estabelecer o seu padrão de variação são necessárias. Obtido o padrão de variação da característica de interesse será possível estimar o seu valor em qualquer posição radial e longitudinal dentro do fuste da árvore (DOWNES et al., 1997).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estabelecer o padrão de variação dimensional das fibras de eucalipto e de seus índices indicativos de qualidade dentro do fuste, no sentido longitudinal e radial, considerando a estrutura dos anéis anuais de crescimento.

2.2 Objetivos específicos

- a) Estimar o modelo geral do padrão de variação longitudinal e radial das dimensões das fibras considerando os anéis anuais de crescimento;
- b) Estimar o modelo geral do padrão de variação longitudinal e radial dos índices indicativos de qualidade das fibras considerando os anéis anuais de crescimento;
- c) Obter os mapas da variação das características das fibras da madeira dentro do lenho.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Formação da madeira

A madeira é um material heterogêneo, composto por diferentes tipos de células que desempenham funções específicas, como condução de líquidos, armazenamento de nutrientes e sustentação (BURGER; RICHTER, 1991). A madeira de folhosas tem estrutura anatômica complexa, com tipos e formas variadas de elementos celulares dispostos em diferentes arranjos. Essa composição celular consiste em 26 a 56% de fibras (libriformes e fibrotraqueóides), 7 a 55% de vasos, 5 a 25% de parênquima radial e 0 a 23% de parênquima axial (KLOCK et al., 2005).

A formação da madeira ocorre a partir da divisão celular do câmbio vascular. O câmbio é um tecido meristemático secundário originado a partir do procâmbio e fica localizado entre o xilema e o floema. O câmbio é composto por células alongadas, com paredes finas e vacuolizadas. São elas as iniciais radiais, que dão origem aos raios, elementos esses essenciais na translocação de nutrientes entre o floema e o xilema, e as iniciais fusiformes, que se dividem periclinamente no plano tangencial, produzindo elementos axiais do tecido secundário da planta. Quando a divisão periclinar ocorre para o lado externo (sentido casca) é formado o tecido floemático, e quando a divisão ocorre para o lado interno (sentido medula) as células se diferenciam formando tecido xilemático, ou seja, a madeira propriamente dita (RAVEN et al., 2014). Dessa forma o câmbio exerce papel fundamental no crescimento radial dos troncos, galhos e raízes das gimnospermas e angiospermas (PLOMION; LEPROVOST; STOKES, 2001).

Os elementos anatômicos axiais formados pelo câmbio têm diferentes dimensões em decorrência de fatores que influenciam a atividade cambial como, por exemplo, a idade, ou seja, até que as células do câmbio atinjam seu tamanho máximo, o que demora alguns anos, as fibras formadas pelo câmbio terão o comprimento variável, aumentando no sentido medula-casca. Quando ocorrer a estabilização do comprimento das células, considera-se que o câmbio deu início a formação de madeira adulta (BISSET; DADSWELL, 1950, citados por TOMAZELLO FILHO, 1987). Outros fatores que influenciam a atividade cambial e, conseqüentemente, causam alterações nos elementos anatômicos, são as condições edafoclimáticas, bem como temperatura, precipitação e fotoperíodo (APPEZZATO-DA-GLORIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2006).

Os fatores ambientais influenciam a atividade cambial, pois diante de tais fatores, por

exemplo, a precipitação e temperatura, as plantas tendem a se adaptar alterando seus processos fisiológicos, como a respiração e fluxo do transporte de seiva, o que altera a anatomia do lenho (PLOMION; LEPROVOST; STOKES, 2001). Em regiões temperadas, no inverno ocorre redução da atividade cambial, neste período as fibras produzidas possuem paredes espessas e lume pequeno. No início da primavera, onde o clima é favorável ao crescimento da planta, ocorre a reativação do câmbio vascular e neste período as fibras produzidas possuem paredes mais finas e lumes maiores devido a intensa atividade fisiológica do vegetal (APPEZZATO-DA-GLORIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2006). Essas alterações no lenho são visíveis nos anéis de crescimento, em que os eventos ambientais respectivos àquele período ficam registrados nestes anéis (TOMAZELLO FILHO et al., 2001).

3.2 Anéis de crescimento

Os anéis de crescimento são o resultado da recorrente atividade do câmbio. Cada anel de crescimento, em regiões temperadas, representa o incremento anual no diâmetro da árvore, formada em resposta a variação da atividade cambial e variações ambientais (CHAGAS et al., 2005). Os anéis de crescimento são compostos por uma camada de lenho inicial e uma de lenho tardio.

O lenho inicial é a primeira porção de lenho formada pelo anel de crescimento. Este é composto por células mais largas, paredes mais finas e possuem menor densidade que o lenho tardio, formado em seguida. O lenho tardio é a última parte a ser formada no anel de crescimento e suas células são mais estreitas e com paredes mais espessas, logo possui maior densidade. A mudança do lenho inicial para o tardio dentro do anel de crescimento ocorre gradualmente, porém, a mudança do lenho tardio de um anel para o lenho inicial do novo anel ocorre de forma abrupta (RAVEN et al., 2014).

A diferença de densidade entre o lenho tardio e o lenho inicial do anel seguinte torna possível distinguir as camadas de crescimento (RAVEN et al., 2014). Além disso, os anéis de crescimento podem ser distinguidos, na maioria das espécies, pela alteração na coloração, em que o lenho tardio é mais escuro e lenho inicial mais claro (APPEZZATO-DA-GLORIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2006). Em angiospermas, os anéis de crescimento podem ser identificados por algumas estruturas anatômicas, como presença de células parenquimáticas no limite dos anéis (parênquima marginal), alargamento dos raios no limite dos anéis, maior concentração ou alargamento da dimensão dos poros no início do lenho inicial (porosidade em anel), espessamento das paredes das fibras gradualmente em decorrência da redução da

atividade cambial e alteração no espaçamento das faixas de parênquima axial (reticulado ou escalariforme). De acordo com a espécie podem ocorrer mais de uma dessas características, simultaneamente, possibilitando a identificação dos anéis de crescimento (IAWA, 1989).

Mudanças repentinas da disponibilidade de água ou outros fatores ambientais podem provocar a produção de mais de um anel de crescimento em um único ano, os chamados falsos anéis de crescimento. Estes não devem ser considerados para contabilizar a idade da árvore (RAVEN et al., 2014).

A largura dos anéis pode ser utilizada como índice da precipitação pluvial em dado período, pois em condições favoráveis (alta pluviosidade) os anéis de crescimento são largos e em condições desfavoráveis (baixa pluviosidade) os anéis são estreitos (RAVEN et al., 2014). Segundo Burger e Richter (1991) essa variação da largura dos anéis pode acontecer não só em função da pluviosidade, mas também em decorrência de fatores como luminosidade, temperatura, duração do período vegetativo, qualidade do solo e manejo silvicultural (espaçamento, adubação, competição e desbaste).

A largura e regularidade dos anéis possuem influência nas propriedades tecnológicas da madeira por estarem relacionados à variação da anatomia das fibras e, conseqüentemente, à variação da densidade da madeira, propriedades essas muito importantes para aplicações tecnológicas (BURGER; RICHTER, 1991).

3.3 Variação espacial das características anatômicas da madeira

Brisola e Demarco (2011) ao analisarem a estrutura anatômica das madeiras de *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. grandis x urophylla* caracterizam as espécies e híbridos como tendo fibras curtas, estreitas a médias, com paredes delgadas a espessas. Essas características podem variar, entre espécies, dentro da mesma espécie e até mesmo dentro do mesmo indivíduo. Segundo Miranda e Castelo (2012) em folhosas as dimensões das fibras podem variar no comprimento de 0,8 a 1,5mm, no diâmetro podem variar de 20 a 50 μm e na espessura da parede de 3 a 5 μm .

Essas variações anatômicas, assim como as composições químicas e físicas ocorrem em função de fatores genéticos, ambientais e interação genótipo x ambiente. Dentro da mesma árvore as variações ocorrem em relação à altura do tronco (longitudinalmente) e da medula até a casca (radialmente). Além disso, existem diferenças entre o cerne e o alburno, madeira de início e fim de estação de crescimento etc. (TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996).

González et al. (2014) avaliaram as relações entre dimensões de fibras e densidade

básica ao longo do fuste do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* com 8 anos de idade. Foram amostrados cinco discos retirados ao longo do fuste em posições diferentes (0%, 25%, 50%, 75%, 100%) da altura comercial no sentido base-topo. Segundo os autores as fibras apresentaram tendência em aumentar o comprimento a partir de 50% da altura do fuste. O diâmetro das fibras teve pouca variação no sentido longitudinal, sendo essa não uniforme e os menores valores foram encontrados nas posições 25% e 100% da altura do fuste.

Florsheim et al. (2009) avaliaram a variação anatômica nos sentidos longitudinal e radial da espécie *E. dunnii* aos 7 anos de idade. Foram retirados discos na base, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial para amostragem longitudinal. Para amostragem radial, foram tiradas amostras destes discos, nas posições 0%, 50% e 100% sentido medula-casca. Os autores observaram maior comprimento e diâmetro das fibras a 50% da altura comercial e a 100% fibras de menores diâmetro e comprimento. Os elementos de vaso de maior comprimento foram observados a 50% e maior diâmetro a 75% da altura comercial. Radialmente as fibras e vasos apresentaram variação crescente no sentido medula-casca. Schimleck et al. (2018) analisaram a variação da densidade básica, ângulo microfibrilar e módulo de elasticidade (MOE) da espécie de *Pinus taeda* de 13 e 22 anos, características essas que estão associadas a dimensão dos elementos anatômicos. Foram retirados discos a cada 1,5 m ao longo do fuste e radialmente foram amostradas 12 posições no sentido medula-casca de cada disco. A densidade básica aumentou no sentido medula-casca em todas as alturas, mas não foi significativa estatisticamente essa variação no sentido base-topo. Para as propriedades MOE e ângulo microfibrilar foi observado tendências nas variações longitudinais e radiais, enquanto que o MOE aumentou no sentido base-topo e no sentido medula-casca, o ângulo microfibrilar diminuiu nestes dois sentidos.

Tomazello Filho (1987) analisou a variação das dimensões das fibras no sentido radial (medula-casca) de três espécies de eucalipto (*E. globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*) com 10 anos de idade. Para amostragem utilizou-se 10 discos por espécie, todos retirados no DAP e os corpos de prova foram retirados em cinco posições radiais dos discos (0%, 25%, 50%, 75% e 100%) a partir da medula. O autor verificou o aumento do comprimento das fibras no sentido medula-casca, chegando a mais de 1 mm de comprimento a partir da porção de 50-75% do raio das amostras. Também foi observado aumento no diâmetro das fibras no sentido medula-casca de 16,3µm para 17,1µm, 15,8µm para 18,7µm e 17,4µm para 19,5µm nas espécies *E. globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*, respectivamente.

Recentemente, Baldin et al. (2017) avaliaram o potencial de diferentes espécies de eucalipto (*E. benthamii*, *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*) para produção de celulose por meio

da anatomia do lenho. Foram retirados discos no DAP de três indivíduos por espécie. De cada disco foram retiradas amostras em três posições radiais (cerne, cerne periférico e alburno). Os autores verificaram o aumento do comprimento das fibras sentido medula-casca, corroborando com Tomazello Filho (1987). Além desses, diversos trabalhos concordam com a variação crescente das dimensões das fibras da madeira no sentido radial (medula-casca), porém não foi considerada nesses experimentos a estrutura dos anéis anuais de crescimento no processo de amostragem (GUARIZ et al., 2012; RAMOS et al., 2011; SANTINI JUNIOR et al., 2010; SILVA et al., 2007; TOMAZELLO FILHO, 1985a, 1985b).

Somado a isso e tendo em vista que as variações dimensionais estão relacionadas, entre outros fatores, com a formação dos anéis anuais de crescimento e que um único anel está presente em toda extensão do lenho (radial e longitudinalmente), torna-se importante a investigação da variação dimensional dos elementos anatômicos entre e dentro dos anéis de crescimento para a melhor caracterização do material e conseqüentemente melhor destinação final.

3.4 Influência da anatomia na utilização industrial da madeira

A variabilidade somada à heterogeneidade e anisotropia da madeira são alguns dos obstáculos no emprego dessa matéria-prima no setor industrial, apesar disso, a madeira oriunda de florestas plantadas abastece diferentes segmentos industriais no Brasil e no mundo. Segundo Shimoyama (1990) é necessário analisar anatomicamente a madeira de espécies de *Eucalyptus* para caracterizá-la de forma tecnológica para os mais diversos fins.

Por meio da análise anatômica quantitativa pode-se demonstrar porque algumas madeiras são melhores para determinada finalidade, possibilitando a melhor e mais precisa seleção das propriedades e, conseqüentemente, das utilidades para tais espécies (BRISOLA; DEMARCO, 2011). Segundo Tung et al. (2010) o comportamento das propriedades da madeira está intimamente relacionado a estrutura e ao arranjo das células. Para Silva et al. (2007) os estudos anatômicos possibilitam além da identificação das espécies, informações sobre a estrutura do lenho, o que permite identificar as relações entre essa estrutura e as características da madeira como, por exemplo, resistência mecânica, permeabilidade, resistência a agentes patogênicos e trabalhabilidade.

Para o setor industrial de celulose e papel a determinação dos valores quantitativos dos elementos anatômicos da madeira é de grande importância, pois além do comprimento, largura e espessura da parede das fibras influenciarem diretamente no rendimento do processo de

polpação e na qualidade do produto final, a variação das dimensões das fibras pode auxiliar no planejamento do processo operacional, pelo melhor entendimento quanto ao comportamento da matéria-prima durante o processo de polpação (BALDIN et al., 2017). Além disso, segundo Gomide et al. (2005) fibras mais longas aumentam a resistência ao rasgo do papel, enquanto fibras curtas favorecem a uniformização das folhas prontas, ou seja, as características morfológicas das fibras da madeira influenciam diretamente na qualidade do produto final.

No setor de celulose e papel, não apenas as dimensões isoladas das fibras são utilizadas para parâmetro de qualidade, mas também a relação entre elas. Essas relações geram índices que estão relacionados às propriedades do papel, por exemplo, o índice de enfiamento, coeficiente de flexibilidade, índice de Runkel e fração parede.

O índice de enfiamento indica o quanto a fibra é afilada. Este índice está relacionado à resistência ao rasgo e a dobras duplas da folha de papel de forma que, quanto maior o índice, melhor a formação da folha considerando essas propriedades (NISGOSKI, 2005). O coeficiente de flexibilidade é importante, pois está relacionado com a rigidez das fibras. Sendo que fibras com menor coeficiente de flexibilidade produzem papéis mais volumosos e com menor resistência, enquanto que fibras com maior coeficiente de flexibilidade produzem papéis mais densos e com melhor resistência (MENEGAZZO, 2012). O índice de Runkel demonstra o grau de colapso das fibras no processo de produção de papel, quanto menor o índice, maior o colapso, ou seja, maior a superfície de contato das fibras permitindo maior número de ligações e consequentemente gera um papel com maior resistência à tração (FLORSHEIM et al., 2009 citados por TALGATTI, 2020). E a fração parede está relacionada à facilidade de colapso e flexibilidade das fibras o que influencia na capacidade de ligação entre as mesmas. Fibras com esse índice muito alto são classificadas como muito rígidas, o que não é indicado para produção de celulose, pois influenciam negativamente nas propriedades como resistência à tração e ao arrebatamento segundo Foelkel e Barrichelo (1975). Dessa forma, identificar a variação desses índices dentro da madeira se torna importante para melhor conhecimento da matéria prima e destinação adequada da mesma para o setor de celulose e papel.

Para atender à indústria moveleira e de construção civil peças de madeira com dimensões limitadas podem ser utilizadas como base na confecção de estruturas maiores por meio da colagem com adesivos. Segundo Kollmann et al. (1975) algumas características intrínsecas da madeira causam interferências no processo de colagem, por exemplo, a variabilidade da densidade básica e porosidade entre os lenhos inicial e tardio, juvenil e adulto, cerne e alburno e presença de extrativos dentro dos elementos anatômicos. A densidade é o fator que mais influencia pois, madeiras de menor densidade, possui tendência de maior

permeabilidade, ou seja, mais espaços vazios propícios para entrada do adesivo na madeira e, conseqüentemente, maior será a força de ligação das faces (MARRA, 1992).

Segundo Kolmann et al. (1975) a variação da densidade básica está relacionada intimamente com o espessamento das paredes dos elementos anatômicos estruturais da madeira, ou seja, a variação anatômica pode influenciar na qualidade da madeira destinada para indústria moveleira e da construção civil. Isso acontece porque madeiras com menor densidade, fibras de menor comprimento e paredes mais finas, como ocorre nas madeiras juvenis, podem interferir no processo de adesão para montagem de peças maiores ou painéis que atendam as demandas do setor. Além disso, anéis de crescimento mais largos, com menor resistência mecânica e alta contração podem gerar tensões na linha de cola. Essas variações podem afetar a mobilidade do adesivo e influenciar na cura do mesmo interferindo na qualidade do produto final (VITAL; MACIEL; DELLA LUCIA, 2006).

Já no setor de carvão vegetal a espessura da parede celular é fator relevantes segundo Botrel et al. (2010) tendo em vista que para esse fim a madeira deve apresentar alta densidade. Shimoyama (1990) afirma que a espessura da parede celular é fator de grande influência na densidade da madeira, pois quanto mais espessa as paredes da fibra, maior a densidade básica.

A composição, estrutura e organização dos elementos anatômicos são fatores que determinam as propriedades da madeira. Por isso se faz importante o estudo anatômico da madeira, para além de identificar espécies, levando em consideração suas características, prever o comportamento da madeira de acordo com sua utilização e só então destinar a madeira para fins mais adequados (BURGER; RICHTER, 1991; APPEZZATO-DA-GLORIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2006).

O estudo anatômico e definição das características da madeira são necessários não apenas para garantir qualidade no produto final, mas também para auxiliar no processo de produção dos produtos à base de madeira, bem como para os fabricantes de maquinários, que poderão melhor adaptar seus equipamentos que processam essa matéria-prima. Mas para isso, se faz necessário uma amostragem intensa e adequada, para que diante das variações existentes seja possível determinar as características de forma mais precisa e que represente a árvore como um todo.

3.5 Modelos de variação

Métodos de amostragem com base no conhecimento sobre as variações dentro da árvore poderiam ser desenvolvidos para facilitar a retirada de materiale possibilitar a determinação

mais precisa de dada característica da madeira (WASSENBERG et al., 2015). Para obter o melhor método de amostragem que estime uma característica da árvore inteira é preciso conhecer o seu padrão de variação dentro do fuste.

Os padrões de variação de uma dada característica dentro do fuste podem ser obtidos por meio de modelos matemáticos e esses podem ser integrados, utilizando valores amostrados radial e longitudinal, para se obter o valor médio para a árvore inteira (DOWNES et al., 1997). Segundo os autores, modelos que conseguem prever uma característica dentro do anel anual de crescimento podem ser usados para encontrar os valores daquela característica em qualquer ponto do caule. Isso é possível, uma vez que os anéis de crescimento tem em sua estrutura (longitudinal e radial) um padrão de variação de crescimento e um único anel está presente longitudinal e radialmente no fuste. Logo, podem ser utilizados para se obter o melhor ponto de amostragem. Identificado este ponto será possível economizar tempo, espaço e recursos na determinação das características de interesse.

Segundo Briggs (2010) e Burkhart e Tomé (2012) o desenvolvimento de modelos que preveem a variação das propriedades da madeira é importante para melhor entender as mudanças que ocorrem nessas propriedades. Para Dahlen, Auty e Eberhardt (2018) o desenvolvimento de sistemas de modelos de qualidade é um avanço importante na integração das propriedades da madeira no crescimento da floresta e nos sistemas de produção.

Schimleck et al. (2018) utilizaram métodos de interpolação para desenvolver mapas que mostram as variações de densidade, MOE e ângulo microfibrilar dentro da árvore. Os autores consideraram o uso destes mapas eficientes para demonstrar e comparar essas variações entre indivíduos.

A utilização dos mapas de variação, obtidos por métodos de interpolação, ou avaliar as variações por modelos de predição são métodos que permitem a visualização das mudanças nas características de interesse em qualquer ponto específico dentro do lenho das árvores. No caso dos modelos de predição é possível ainda determinar o local dentro do lenho que estime a característica média geral do indivíduo, facilitando a amostragem na árvore e reduzindo custos operacionais.

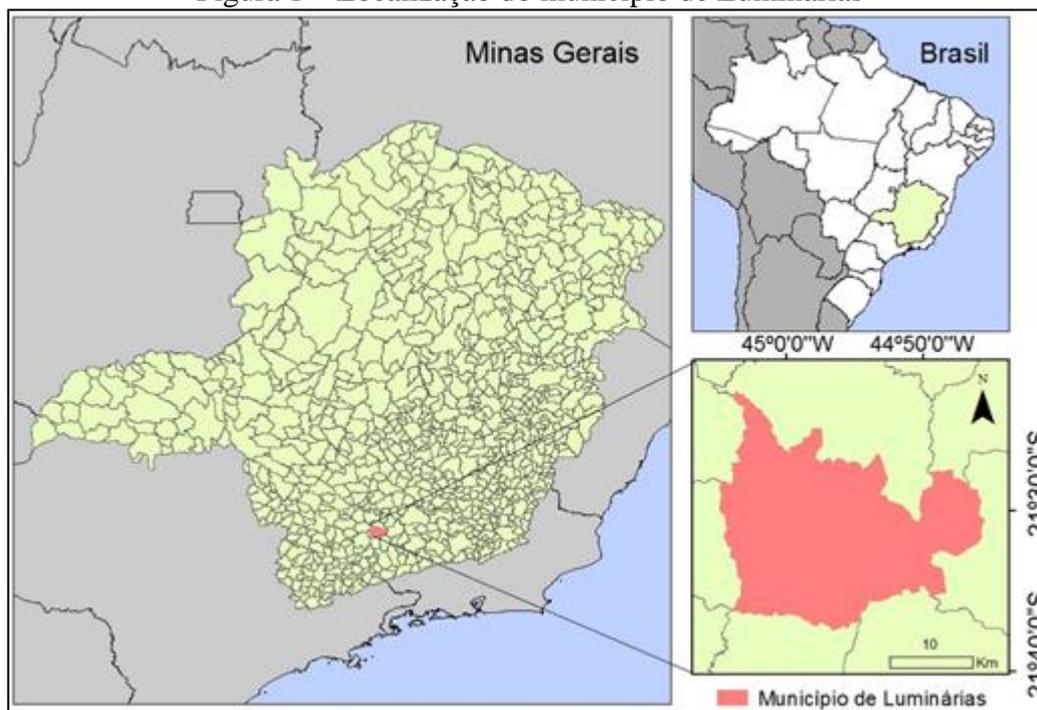
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Características climatológicas do local de coleta

As árvores utilizadas no experimento foram coletadas de plantio clonal localizado no município de Luminárias-MG, na região Sul de Minas Gerais (Figura 1).

O município possui altitude variando de 1144 metros no ponto mais alto e 943 metros na região central, temperatura média anual de 19,6°C, com médias mensais variando de 21,8°C no verão (janeiro) e 16,0°C no inverno (junho). A precipitação média anual é de 1517mm e, segundo a classificação climática de Köppen – Geiger, Luminárias possui Clima Subtropical úmido (Cwb), com verão úmido e inverno seco (CARVALHO; SILVA; OLIVEIRA, 2007; RODRIGUES et al., 2007).

Figura 1 – Localização do município de Luminárias



Fonte: Da Autora (2021)

4.2 Características do material de pesquisa

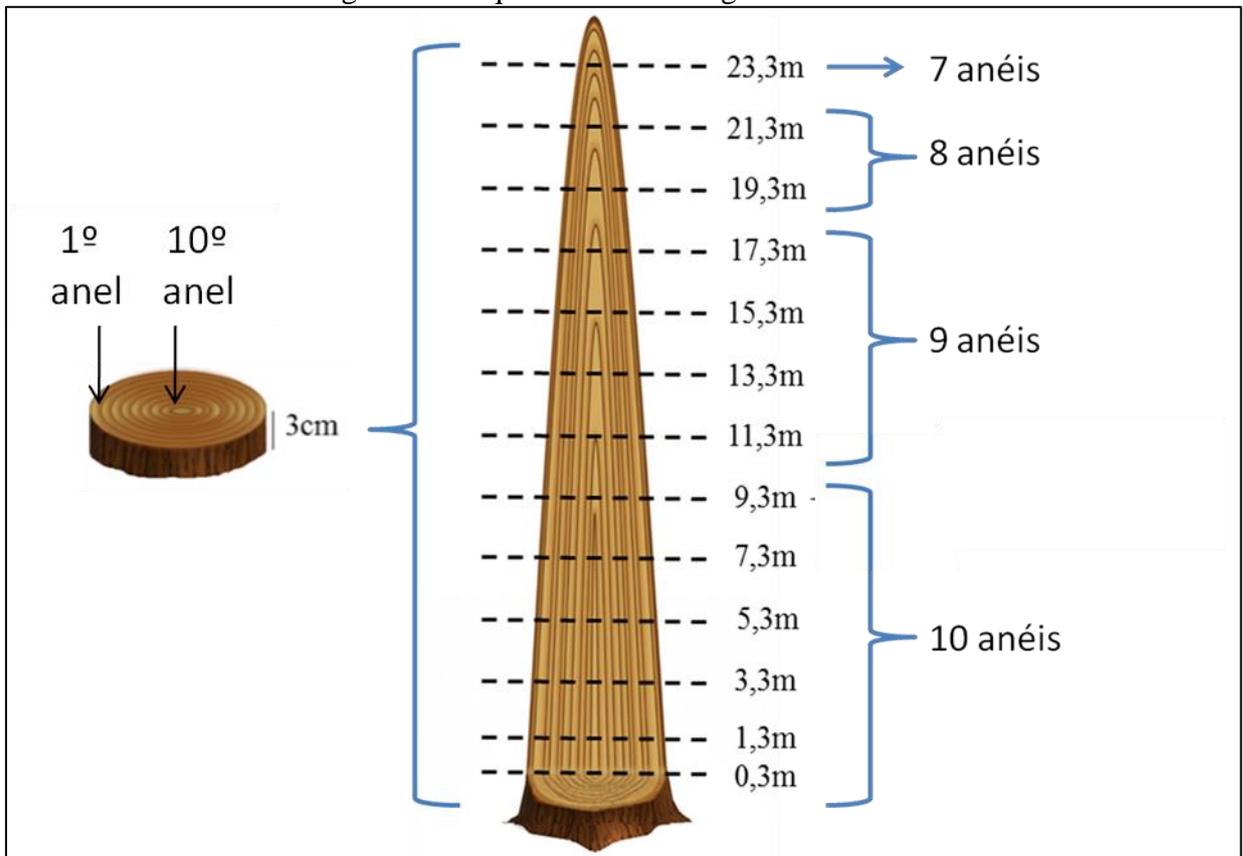
O material analisado foi dois clones (A e B) híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* com 10 anos de idade (2007 – 2017) e oriundos de plantio com espaçamento inicial de 3x2m, que passou por desbaste aos quatro anos de idade (2011).

4.3 Amostragem

Para composição das amostras foram utilizadas duas árvores do clone A e duas do clone B. As duas árvores do mesmo clone foram selecionadas aleatoriamente dentro de um mesmo talhão, na região central do talhão evitando efeito de borda e essas estavam distantes entre si em no máximo 10 metros. Os indivíduos coletados tinham o fuste retilíneo, sem bifurcação e com bom estado fitossanitário.

Após a seleção dos indivíduos, com a árvore ainda em pé, foi realizada a medição do diâmetro a 1,30 m de altura do solo (DAP) com auxílio de uma fita métrica e em seguida realizado o corte das árvores. Em seguida, mediu-se a altura das árvores com auxílio de uma trena. Em sequência foram retirados discos de 3 cm de espessura ao longo do tronco, nas seguintes posições longitudinais (sentido base-topo): 0,30 m, 1,30 m (DAP) e a partir do DAP a cada dois metros até a altura de 23,30 m, totalizando treze discos por árvore (Figura 2).

Figura 2 – Esquema de amostragem do tronco



Fonte: Da Autora (2021)

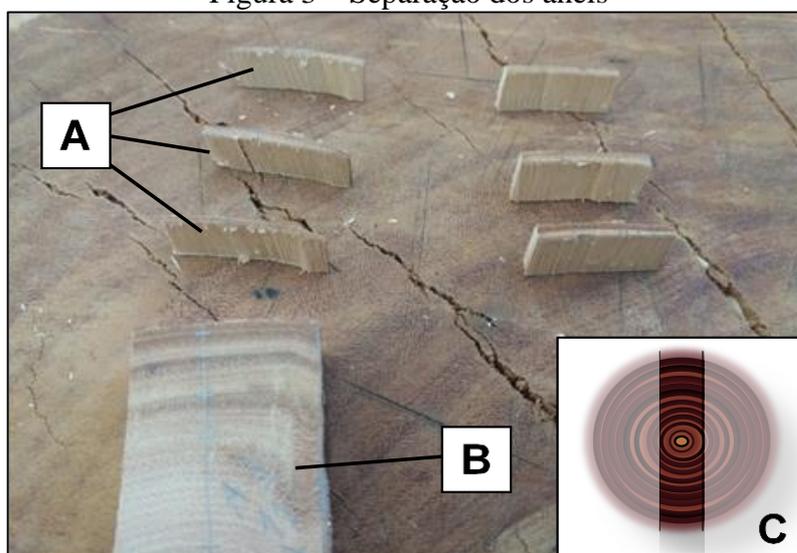
A amostragem horizontal (medula casca) foi realizada considerando cada anel presente em cada um dos discos, totalizando 119 amostras por árvore.

4.4 Preparação das amostras

No Laboratório de Biomateriais da UFLA, os discos foram descascados, congelados e mantidos no freezer convencional por dois meses. Esse procedimento foi realizado para melhorar a visualização dos anéis anuais de crescimento, além de manter a integridade física e sanitária do material. Os discos foram descongelados ao ar livre e preparados para o processo de identificação. Para isso, inicialmente eles foram aplainados e depois lixados com lixas com granulometrias de 120, 220 e 320 grãos até a obtenção de uma superfície lisa que facilitasse a visualização dos anéis de crescimento, como recomendado pelo método padrão utilizado no Laboratório de Ecologia Florestal da Universidade Federal de Lavras. Depois de preparados, os discos foram fotografados com câmera semiprofissional, fixada à um tripé, possibilitando que todos os mesmos fossem observados a uma mesma altura, impedindo assim erros na identificação dos anéis de crescimento. A identificação dos anéis foi realizada com auxílio de lupa microscópica com aumento de 1/100 mm e os anéis foram numerados de fora para dentro (sentido casca medula) como recomendado por Downes et al. (1997).

Após a identificação e numeração dos anéis de crescimento retirou-se uma bagueta radial, passando pela medula, para facilitar a retirada dos anéis (Figura 3).

Figura 3 – Separação dos anéis



Legenda: A= Anéis de crescimento; B= Bagueta; C= Local de retirada da bagueta.

Fonte: Adaptado de Lima (2018)

A separação dos anéis de crescimento, na bagueta radial, foi realizada com auxílio de bisturi cirúrgico e as amostras de cada anel de crescimento foram submetidas ao processo de maceração para dissociação dos elementos anatômicos.

4.5 Medições das fibras

A preparação do macerado para medições dos elementos anatômicos foi realizada de acordo com método proposto por Nicholls e Dadswell, descrito por Ramalho (1987), utilizando ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio 30% (1:1), estufa à 60°C por três dias. Após esse processo as amostras foram lavadas com água deionizada e coradas com Safranina em solução aquosa 1%.

As medições das dimensões das fibras foram realizadas em microscópio óptico Nikon E200 equipado com câmera e com auxílio do Software Dinocapture 2.0. Em cada amostra foram medidos o comprimento, largura e diâmetro do lume de vinte fibras, totalizando 2380 fibras medidas por árvore, ou seja, foram medidas 4760 fibras por clone.

Os comprimentos das fibras foram mensurados utilizando-se a objetiva de 4x e a largura das fibras e diâmetro do lume foram medidos na objetiva de 40x.

A espessura da parede das fibras foi calculada a partir das medições dos diâmetros, por meio da seguinte equação:

$$Ep_{fibra} = \frac{(L_{fibra} - d_{lume})}{2}$$

em que, Ep_{fibra} é a espessura da parede da fibra (μm), L_{fibra} é a largura da fibra (μm) e d_{lume} é o diâmetro do lume da fibra (μm).

Também foram obtidos o índice de enfiamento (**IE**), coeficiente de flexibilidade (**CF**), fração parede (**FP**) e o índice de Runkel (**IR**) por meio das relações entre as dimensões das fibras, conforme as equações 1, 2, 3 e 4.

$$(1) \quad IE = \frac{C_{fibra} \times 1000}{L_{fibra}}$$

$$(2) \quad CF = \frac{d_{lume}}{L_{fibra}} \times 100$$

$$(3) \quad FP = \frac{2 \times Ep_{fibra}}{L_{fibra}} \times 100$$

$$(4) \quad IR = \frac{2 \times Ep_{fibra}}{d_{lume}}$$

Sendo que, em (1), **IE** é o índice de enfiamento, C_{fibra} é o comprimento da fibra (mm),

L_{fibra} é a largura da fibra (μm). Em (2), CF é o coeficiente de flexibilidade, d_{lume} é o diâmetro do lume da fibra (μm) e L_{fibra} é a largura da fibra (μm). Em (3), FP é a fração parede, Ep_{fibra} é a espessura da parede da fibra (μm) e L_{fibra} é a largura da fibra (μm). E em (4), IR é o índice de Runkel, Ep_{fibra} é a espessura da parede da fibra (μm) e d_{lume} é o diâmetro do lume da fibra (μm).

4.6 Análise estatística e modelagem

Para a análise dos dados foram testados 12 modelos de regressão simples e múltiplos apresentados na Quadro 1 para obtenção do padrão de variação, por característica da fibra. A seleção do melhor modelo foi com base na significância da regressão e de seus coeficientes de regressão (análise de variância da regressão), coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado), coeficiente de variação do modelo e a análise gráfica dos resíduos padronizados.

Quadro 1 – Modelos de regressão testados para obtenção de padrão de variação das características das fibras

Modelo	Equação do Modelo
Linear	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i$
Quadrático	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_i^2 + \varepsilon_i$
Cúbico	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_i^2 + \beta_3^3 + \varepsilon_i$
Raiz Quadrada	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \sqrt{X_i} + \beta_2 X_i + \varepsilon_i$
Potencial	$Y_i = \beta_0 \cdot X_i^{\beta_1} + \varepsilon_i$
Exponencial	$Y_i = \beta_0 \cdot \beta_1^{X_i} + \varepsilon_i$
Hiperbólico 1	$Y_i = \beta_0 + \frac{\beta_1}{X_i} + \varepsilon_i$
Hiperbólico 2	$Y_i = \frac{1}{(\beta_0 + \beta_1 X_i)} + \varepsilon_i$
Logarítmico (e)	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln(X_i) + \varepsilon_i$
Logarítmico (10)	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \log(X_i) + \varepsilon_i$
Log Recíproco	$\log(Y_i) = \beta_0 + \frac{\beta_1}{X_i} + \varepsilon_i$
Cúbico Raiz	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \sqrt{X_i} + \beta_2 X_i + \beta_3 X_i^{1,5} + \varepsilon_i$

Fonte: SAEG (2007)

Os modelos foram ajustados utilizando-se do *software* Sistema de Análises Estatísticas (SAEG) versão 5.0, pacote REGREAMD1.

4.7 Confeccção dos mapas

Após a realização da biometria das fibras e análise estatística dos dados foram confeccionados os mapas de variação das dimensões das fibras e também dos índices indicativos de qualidade nos sentidos longitudinal e radial do fuste, considerando os anéis anuais de crescimento para os clones A e B. A confeccção dos mapas foi realizada com o *Software* SURFER 20. Esse software possui período de liberação gratuita de 13 dias após sua instalação e por meio deste foi possível a confeccção dos mapas com interpolação dos dados biométricos e dos índices indicativos de qualidade das fibras com a posição espacial no fuste, pelo método de Mínima Curvatura.

Para a confeccção dos mapas, por meio do programa Surfer 20, foram realizados os seguintes passos: File -> New -> Grid Data -> Browse -> selecionado o arquivo no formato .xls com os dados de interesse. Dessa forma, os dados de interesse por anel de crescimento em cada posição longitudinal foram inseridos no programa. Na primeira coluna foram anexados os valores para o eixo X do mapa, ou seja, os anéis de anuais de crescimento de 1 a 10, na segunda coluna os valores do eixo Y, ou seja, as posições longitudinais do tronco de 0,3 m até 23,3 m, e na terceira e última coluna (eixo Z) foram inseridos os valores da característica de interesse obtida por anel anual de crescimento na sua posição longitudinal. Em seguida, para obter o mapa de variação de cada característica, considerando os valores longitudinais e radiais, selecionou-se o método de interpolação de Mínima Curvatura (Minimum Curvature), clicar em Avançar -> Skip to End -> Concluir.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Valores médios das dimensões das fibras dos clones A e B

Na Tabela 1 estão apresentados os valores médios do comprimento das fibras por anel anual de crescimento, por altura no tronco da árvore dos clones A e B, além do valor médio geral. O clone A apresentou comprimento médio geral das fibras aproximadamente 5% maior que o clone B. Pode se observar tendência no aumento do comprimento das fibras no sentido medula-casca em ambos os clones, principalmente quando se observa o 1º e o último anel em cada posição longitudinal, porém essa tendência é mais discreta nos anéis intermediários devido à baixa magnitude dos valores de comprimento, o que está de acordo com os resultados encontrados por Tomazello Filho (1987) que avaliou o comprimento das fibras por porções radiais do tronco, não considerando os anéis anuais de crescimento.

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios da largura das fibras por anel anual de crescimento, por altura no tronco da árvore dos clones A e B, além do valor médio geral. O clone A apresentou largura média das fibras 3% maior que no clone B, aproximadamente. Não foi possível observar uma tendência no padrão de variação da largura das fibras em ambos os clones, o que corrobora com Gonzalez et al. (2014) que não encontraram padrão de variação longitudinal para largura das fibras de *E. urophylla* x *E. grandis* com 8 anos de idade.

Na Tabela 3 estão apresentados os valores médios do diâmetro do lume das fibras por anel anual de crescimento, por posição longitudinal no tronco da árvore dos clones A e B e também o valor médio geral. O clone A apresentou diâmetro médio do lume das fibras 15% maior que do clone B, aproximadamente. Pode-se observar tendência de redução do diâmetro do lume sentido medula-casca em todas as posições longitudinais nos dois clones. Estes resultados corroboram com Ramos et al. (2011) que observaram redução do diâmetro do lume das fibras no sentido medula-casca ao estudarem a variação radial das características das fibras de *Eucalyptus grandis*.

Na Tabela 4 estão apresentados os valores médios da espessura da parede das fibras por anel anual de crescimento, por posição longitudinal no tronco da árvore dos clones A e B e também o valor geral. A média geral da espessura da parede do Clone A é de 4,97 µm e do clone B 5,51 µm, ou seja, no Clone B a espessura média da parede das fibras é de aproximadamente 10% maior que no clone A. Pode-se observar tendência de aumento da espessura das paredes das fibras sentido medula-casca ao longo de todo o tronco nos dois clones. Esses resultados corroboram com Baldin et al. (2017) que ao avaliar a anatomia de

várias espécies de *Eucalyptus* com 5 anos de idade encontrou gradual aumento da espessura da parede no sentido medula-casca nas espécies de *E. dunnii* e *E. saligna*. Entretanto, os mesmos autores também afirmam que não foi possível definir uma tendência geral de variação da espessura da parede, pois as espécies *E. benthamii* e *E. grandis* apesar de apresentar aumento entre cerne e cerne periférico, houve redução da espessura da parede celular no alburno. A amostragem radial realizada pelos autores foram porções do disco (cerne, cerne periférico e alburno), sendo o disco retirado no DAP das árvores.

Tabela 1 – Comprimento médio das fibras dos clones A e B

		Comprimento da fibra (mm)										
PL(m)	Anel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
		Casca					Medula					
23,3		1,09	1,11	1,07	1,02	1,02	1,01	0,87				1,03
		(1,01)	(1,04)	(0,96)	(0,94)	(0,94)	(0,97)	(0,82)				(0,95)
21,3		1,09	1,07	1,04	1,03	1,01	1,09	0,98	0,88			1,02
		(1,00)	(1,02)	(0,97)	(1,02)	(1,01)	(1,01)	(0,89)	(0,79)			(0,96)
19,3		1,12	1,08	1,14	1,12	1,14	1,08	1,01	0,83			1,06
		(1,03)	(1,09)	(1,00)	(1,01)	(0,97)	(1,00)	(0,89)	(0,81)			(0,98)
17,3		1,10	1,17	1,11	1,12	1,09	1,10	1,00	0,97	0,81		1,05
		(1,08)	(1,08)	(1,10)	(1,06)	(1,05)	(1,08)	(1,09)	(0,92)	(0,80)		(1,03)
15,3		1,11	1,15	1,10	1,08	1,16	1,16	1,09	1,06	0,86		1,09
		(1,03)	(1,04)	(1,06)	(1,05)	(1,01)	(1,07)	(1,06)	(1,01)	(0,83)		(1,02)
13,3		1,19	1,19	1,18	1,13	1,13	1,20	1,13	1,09	1,07		1,15
		(1,05)	(1,08)	(1,07)	(1,08)	(1,12)	(1,09)	(1,06)	(1,04)	(0,85)		(1,05)
11,3		1,17	1,18	1,18	1,16	1,14	1,16	1,17	1,09	0,94		1,13
		(1,10)	(1,11)	(1,10)	(1,07)	(1,07)	(1,08)	(1,08)	(1,10)	(0,95)		(1,07)
9,3		1,06	1,12	1,03	1,06	1,12	1,16	1,17	1,12	1,04	0,83	1,07
		(1,07)	(1,09)	(1,10)	(1,07)	(1,05)	(1,08)	(1,04)	(1,03)	(0,98)	(0,85)	(1,04)
7,3		1,11	1,09	1,11	1,16	1,10	1,12	1,14	1,09	1,00	0,87	1,08
		(1,15)	(1,11)	(1,12)	(1,05)	(1,10)	(1,01)	(1,05)	(1,01)	(1,06)	(0,83)	(1,05)
5,3		1,12	1,07	1,07	1,11	1,07	1,11	1,05	1,13	1,01	0,94	1,07
		(1,01)	(1,06)	(1,05)	(1,06)	(1,09)	(1,11)	(1,05)	(1,10)	(1,06)	(0,88)	(1,05)
3,3		1,06	1,14	1,06	1,06	1,15	1,14	1,10	1,13	1,07	1,05	1,10
		(1,09)	(1,06)	(1,08)	(1,13)	(1,09)	(1,13)	(1,11)	(1,03)	(1,04)	(0,92)	(1,07)
1,3		1,13	1,20	1,11	1,05	1,08	1,13	1,08	1,10	1,10	0,97	1,09
		(1,06)	(1,07)	(1,13)	(1,06)	(1,09)	(1,05)	(1,06)	(1,03)	(1,00)	(0,91)	(1,05)
0,3		1,07	1,12	1,06	1,07	1,10	1,05	1,05	1,08	0,99	0,92	1,05
		(1,03)	(1,08)	(1,04)	(0,98)	(1,08)	(0,98)	(1,01)	(0,99)	(0,97)	(0,91)	(1,01)
Média		1,11	1,13	1,10	1,09	1,10	1,12	1,06	1,05	0,99	0,93	1,08
		(1,05)	(1,07)	(1,06)	(1,04)	(1,05)	(1,05)	(1,01)	(0,99)	(0,95)	(0,88)	(1,03)

PL= Posição longitudinal (m); Valores entre parênteses são referentes ao clone B.

Fonte: Da Autora (2021)

Tabela 2 – Largura média das fibras dos clones A e B

		Largura da fibra (µm)										
Anel	PL(m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
		Casca					Medula					
23,3		20,80 (20,82)	21,11 (21,09)	20,22 (19,52)	21,27 (20,04)	20,66 (19,35)	20,61 (20,07)	19,46 (17,85)				20,59 (19,82)
21,3		20,24 (20,70)	20,68 (20,49)	20,41 (19,35)	21,02 (20,53)	20,85 (21,42)	21,62 (20,38)	20,62 (19,16)	18,98 (18,57)			20,55 (20,07)
19,3		21,68 (21,06)	19,35 (20,98)	21,84 (20,39)	22,15 (20,13)	20,53 (19,75)	20,79 (19,95)	20,53 (19,67)	19,09 (18,80)			20,74 (20,09)
17,3		21,66 (21,53)	21,60 (21,41)	21,52 (19,68)	21,76 (20,73)	21,58 (19,92)	21,90 (23,00)	21,52 (20,77)	20,63 (19,85)	20,97 (21,00)		21,46 (20,88)
15,3		22,85 (22,01)	21,57 (21,73)	21,28 (21,26)	21,47 (21,48)	22,65 (19,79)	22,14 (20,99)	23,66 (20,98)	21,94 (20,95)	20,75 (18,36)		22,03 (20,84)
13,3		21,78 (21,72)	22,71 (22,18)	22,83 (20,35)	23,46 (21,05)	22,60 (20,21)	22,81 (19,55)	21,80 (20,30)	21,51 (20,44)	20,73 (18,77)		22,25 (20,51)
11,3		22,29 (20,80)	22,10 (20,62)	21,32 (20,82)	22,34 (20,84)	22,60 (21,30)	23,09 (20,61)	22,83 (20,38)	22,48 (21,88)	19,78 (20,55)		22,09 (20,87)
9,3		23,47 (20,50)	22,85 (21,00)	21,84 (21,90)	22,38 (21,39)	22,95 (20,95)	21,88 (21,68)	22,41 (20,84)	22,68 (21,86)	20,50 (20,66)	20,72 (19,79)	22,17 (21,06)
7,3		22,21 (23,24)	22,60 (22,86)	21,55 (22,56)	22,46 (23,67)	21,59 (21,51)	21,78 (21,18)	23,13 (20,22)	23,58 (20,87)	23,81 (20,97)	19,61 (21,70)	22,23 (21,88)
5,3		21,97 (21,81)	21,74 (21,37)	20,91 (20,94)	21,34 (21,45)	21,49 (21,09)	20,23 (21,73)	21,55 (20,66)	22,62 (20,88)	22,74 (22,45)	20,75 (20,98)	21,53 (21,34)
3,3		20,87 (21,73)	21,88 (22,76)	20,91 (22,56)	22,15 (23,34)	21,78 (22,06)	22,17 (22,67)	22,07 (22,07)	21,73 (20,56)	22,74 (21,82)	23,24 (21,41)	21,95 (22,10)
1,3		22,13 (22,20)	21,90 (21,75)	20,34 (21,51)	21,94 (20,80)	21,06 (22,24)	22,13 (21,03)	21,53 (20,36)	23,05 (21,88)	22,31 (21,62)	21,66 (21,37)	21,81 (21,48)
0,3		22,51 (21,59)	20,25 (21,76)	21,06 (20,53)	21,69 (20,82)	20,78 (21,16)	20,40 (20,47)	20,80 (20,24)	22,18 (20,76)	21,00 (21,02)	20,98 (22,64)	21,17 (21,10)
Média		21,88 (21,52)	21,56 (21,54)	21,23 (20,88)	21,96 (21,25)	21,62 (20,83)	21,66 (21,02)	21,69 (20,27)	21,71 (20,61)	21,53 (20,72)	21,16 (21,32)	21,63 (20,99)

PL= Posição longitudinal (m); Valores entre parênteses são referentes ao clone B.

Fonte: Da Autora (2021)

Tabela 3 – Diâmetro médio do lume das fibras dos clones A e B

		Diâmetro do Lume das fibras (μm)										
PL(m)	Anel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
		Casca					Medula					
23,3		9,53 (9,42)	10,29 (9,86)	10,77 (7,29)	12,26 (9,53)	10,34 (8,65)	12,27 (9,93)	10,48 (9,06)				10,85 (9,11)
21,3		9,00 (8,52)	10,05 (9,94)	9,54 (8,38)	11,54 (10,04)	10,39 (10,31)	11,99 (10,40)	11,38 (10,07)	10,77 (9,47)			10,58 (9,64)
19,3		9,27 (8,04)	8,34 (9,53)	11,84 (8,76)	12,89 (8,73)	10,45 (8,32)	10,66 (9,10)	12,23 (9,06)	10,49 (10,21)			10,77 (8,97)
17,3		10,14 (9,30)	11,19 (9,60)	11,39 (7,50)	12,61 (9,88)	11,31 (9,00)	12,63 (11,88)	11,55 (10,67)	12,08 (10,86)	13,41 (12,70)		11,81 (10,15)
15,3		11,18 (8,62)	10,83 (8,62)	9,90 (9,17)	12,37 (10,20)	12,62 (9,04)	12,70 (9,84)	15,09 (10,53)	13,11 (10,61)	12,96 (9,69)		12,31 (9,59)
13,3		9,14 (8,87)	11,02 (10,27)	11,34 (8,05)	13,35 (10,15)	12,13 (8,91)	13,39 (8,72)	11,59 (9,76)	12,23 (10,10)	11,86 (10,51)		11,78 (9,48)
11,3		8,89 (8,34)	9,55 (7,38)	9,35 (8,50)	10,95 (10,51)	11,99 (9,87)	12,94 (10,01)	13,74 (10,08)	14,09 (11,87)	12,41 (10,90)		11,55 (9,72)
9,3		11,31 (7,70)	11,08 (7,61)	10,98 (9,06)	12,56 (10,41)	11,78 (8,23)	11,16 (10,27)	13,03 (9,32)	13,01 (11,34)	12,03 (11,55)	13,54 (11,32)	12,05 (9,68)
7,3		10,65 (10,09)	10,89 (9,74)	9,39 (10,11)	11,48 (12,71)	11,77 (9,35)	10,80 (9,77)	13,18 (9,33)	13,80 (10,51)	16,41 (11,46)	12,56 (13,77)	12,09 (10,68)
5,3		9,94 (8,93)	10,07 (9,18)	9,73 (7,43)	11,02 (9,64)	9,34 (8,41)	10,88 (10,40)	11,73 (10,41)	14,22 (10,47)	14,68 (12,51)	13,65 (13,04)	11,53 (10,04)
3,3		9,59 (7,30)	11,90 (10,78)	10,56 (10,19)	12,18 (11,76)	10,62 (10,91)	12,09 (10,86)	12,84 (11,35)	13,16 (10,85)	15,39 (12,72)	15,93 (13,94)	12,42 (11,07)
1,3		11,35 (9,09)	10,97 (9,11)	10,24 (9,51)	12,57 (9,43)	10,20 (9,88)	12,31 (9,89)	13,50 (9,80)	14,50 (11,96)	14,46 (12,42)	14,29 (13,48)	12,44 (10,46)
0,3		11,66 (8,82)	10,10 (9,32)	10,83 (8,45)	11,86 (9,48)	10,18 (9,57)	11,33 (9,95)	11,72 (9,45)	13,96 (11,21)	13,35 (11,75)	13,71 (14,79)	11,87 (10,28)
Média		10,13 (8,70)	10,48 (9,30)	10,45 (8,65)	12,13 (10,19)	11,01 (9,26)	11,94 (10,08)	12,47 (9,91)	12,95 (10,79)	13,70 (11,62)	13,95 (13,39)	11,75 (9,96)

PL= Posição longitudinal (m); Valores entre parênteses são referentes ao clone B.

Fonte: Da Autora (2021)

Tabela 4 – Espessura média das paredes das fibras dos clones A e B

		Espessura das paredes (µm)										
Anel	PL(m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
		Casca					Medula					
23,3		5,63 (5,70)	5,41 (5,62)	4,72 (6,11)	4,51 (5,25)	5,16 (5,35)	4,17 (5,07)	4,49 (4,39)				4,87 (5,36)
21,3		5,62 (6,09)	5,31 (5,28)	5,43 (5,49)	4,74 (5,24)	5,23 (5,56)	4,81 (4,99)	4,62 (4,54)	4,11 (4,55)			4,98 (5,22)
19,3		6,21 (6,51)	5,50 (5,73)	5,00 (5,81)	4,63 (5,70)	5,04 (5,72)	5,06 (5,43)	4,15 (5,30)	4,30 (4,29)			4,99 (5,56)
17,3		5,76 (6,12)	5,20 (5,90)	5,07 (6,09)	4,58 (5,43)	5,14 (5,46)	4,63 (5,56)	4,98 (5,05)	4,27 (4,50)	3,78 (4,15)		4,82 (5,36)
15,3		5,84 (6,69)	5,37 (6,56)	5,69 (6,05)	4,55 (5,64)	5,01 (5,38)	4,72 (5,57)	4,28 (5,23)	4,42 (5,17)	3,89 (4,34)		4,86 (5,62)
13,3		6,32 (6,43)	5,85 (5,96)	5,74 (6,15)	5,05 (5,45)	5,24 (5,65)	4,71 (5,42)	5,10 (5,27)	4,64 (5,17)	4,43 (4,13)		5,23 (5,51)
11,3		6,70 (6,23)	6,28 (6,62)	5,99 (6,16)	5,70 (5,17)	5,30 (5,72)	5,07 (5,30)	4,55 (5,15)	4,19 (5,01)	3,68 (4,82)		5,27 (5,58)
9,3		6,08 (6,40)	5,88 (6,69)	5,43 (6,42)	4,91 (5,49)	5,59 (6,36)	5,36 (5,71)	4,69 (5,76)	4,84 (5,26)	4,23 (4,56)	3,59 (4,24)	5,06 (5,69)
7,3		5,78 (6,57)	5,86 (6,56)	6,08 (6,22)	5,49 (5,48)	4,91 (6,08)	5,49 (5,71)	4,97 (5,44)	4,89 (5,18)	3,70 (4,75)	3,53 (3,97)	5,07 (5,60)
5,3		6,01 (6,44)	5,83 (6,09)	5,59 (6,76)	5,16 (5,91)	6,07 (6,34)	4,68 (5,67)	4,91 (5,13)	4,20 (5,20)	4,03 (4,97)	3,55 (3,97)	5,00 (5,65)
3,3		5,64 (7,22)	4,99 (5,99)	5,17 (6,19)	4,99 (5,79)	5,58 (5,57)	5,04 (5,91)	4,62 (5,36)	4,29 (4,85)	3,68 (4,55)	3,65 (3,73)	4,76 (5,52)
1,3		5,39 (6,55)	5,47 (6,32)	5,05 (6,00)	4,69 (5,69)	5,43 (6,18)	4,91 (5,57)	4,02 (5,28)	4,27 (4,96)	3,93 (4,60)	3,68 (3,95)	4,68 (5,51)
0,3		5,42 (6,38)	5,08 (6,22)	5,12 (6,04)	4,91 (5,67)	5,30 (5,79)	4,54 (5,26)	4,54 (5,40)	4,11 (4,77)	3,83 (4,64)	3,63 (3,93)	4,65 (5,41)
Média		5,88 (6,41)	5,54 (6,12)	5,39 (6,12)	4,92 (5,53)	5,31 (5,78)	4,86 (5,47)	4,61 (5,18)	4,38 (4,91)	3,92 (4,55)	3,61 (3,96)	4,97 (5,51)

PL= Posição longitudinal (m); Valores entre parênteses são referentes ao clone B.

Fonte: Da Autora (2021)

5.2 Valores médios dos índices indicativos de qualidade das fibras dos clones A e B

Na Tabela 5 estão apresentados os valores médios do índice de enfiamento (IE) das fibras por anel anual de crescimento, por posição longitudinal no tronco da árvore dos dois clones estudados (A e B), além da média geral. O clone A apresentou IE médio de 49,88% enquanto no clone B o IE médio foi de 49,03%. No clone A o índice de enfiamento médio das fibras é aproximadamente 2% maior que no clone B. Ambos os clones não apresentaram padrão de variação bem definido do IE das fibras nos sentidos radial ou longitudinal, mas as fibras nos últimos anéis anuais de crescimento em cada posição longitudinal apresentaram menores valores do IE. Porém, segundo Baldi (2001) fibras com IE acima de 50% são mais indicadas para produção de papéis com maior resistência ao rasgo e arrebentamento, pois o IE está diretamente relacionado a essas características.

Na Tabela 6 estão apresentados os valores médios do coeficiente de flexibilidade (CF) das fibras por anel anual de crescimento, por altura no tronco da árvore dos clones A e B e também a média geral do CF. O clone A apresentou CF médio de 54,19 % e o clone B CF médio de 47,39%. Ou seja, o clone A demonstrou CF médio das fibras 12%, aproximadamente, maior que no clone B. Segundo Menegazzo (2012) fibras com maiores valores de CF permitem produção de papéis mais densos e com melhor resistência, enquanto baixos valores de CF indicam que as fibras possuem maior rigidez, logo formarão papéis mais volumosos e de baixa resistência. Além disso, pode se observar tendência de diminuição do coeficiente de flexibilidade das fibras no sentido medula-casca em todas as alturas nos dois clones.

Na Tabela 7 estão apresentados os valores médios da fração parede (FP) das fibras por anel anual de crescimento, por posição longitudinal no tronco da árvore dos clones A e B, além da média geral. Pode se observar tendência no aumento da fração parede das fibras no sentido medula-casca nos dois clones em todas as posições longitudinais. Porém o clone A apresentou FP média das fibras de 45,81%, enquanto no clone B a FP média das fibras foi de 52,61%, ou seja, a média das fibras do clone A foi, aproximadamente, 15% menor que no clone B. Segundo Foelkel & Barrichelo (1975) citados por Talgatti et al. (2020) fibras com FP superiores a 40% indicam que as mesmas vão se tornando pouco flexíveis, ou seja, mais rígidas e conseqüentemente apresentam dificuldades nas interligações o que reduz a qualidade do papel. Porém, segundo Foelkel (1978) fibras com FP até 60% ainda podem ser utilizadas na produção de papéis.

Na Tabela 8 estão apresentados os valores médios do índice de Runkel (IR) das fibras por anel anual de crescimento, por posição longitudinal no tronco da árvore dos clones A e B e

também a média geral. O clone A apresentou IR médio das fibras de 0,88 e o clone B 1,16, ou seja, o índice de Runkel médio do clone B é 24% maior que no clone A, aproximadamente. Além disso, pode se observar que os índices médios de Runkel das fibras apresentam tendência de aumento no sentido medula-casca em todas as alturas do tronco para ambos os clones. Segundo Nisgoski (2005) e O IR >1 indica que as fibras são mais rígidas e tem baixa capacidade de interligação o que não é indicado para fabricação de papel, ou seja, fibras com menores valores de IR são mais indicadas para a indústria de papel.

Tabela 5 – Índice de enfieltramento das fibras dos clones A e B

Anel	IE (%)										Média	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
PL(m)	Casca					Medula						
23,3	52,71 (48,44)	52,91 (49,49)	53,04 (49,67)	47,88 (46,87)	49,37 (48,58)	49,35 (48,59)	45,21 (45,73)					50,07 (48,20)
21,3	54,01 (48,51)	52,17 (49,99)	51,00 (49,97)	48,89 (49,48)	48,41 (47,33)	50,29 (49,60)	47,49 (46,53)	45,96 (42,56)				49,78 (47,99)
19,3	51,69 (48,71)	56,10 (52,08)	52,09 (49,44)	50,35 (49,99)	55,42 (49,18)	52,14 (50,25)	49,35 (45,46)	43,25 (43,20)				51,30 (48,54)
17,3	51,01 (49,99)	54,23 (50,51)	51,88 (56,12)	51,67 (51,13)	51,00 (53,01)	50,15 (47,01)	46,50 (52,38)	46,96 (46,53)	38,40 (38,34)			49,09 (49,45)
15,3	48,72 (46,79)	53,21 (48,06)	51,75 (49,86)	50,30 (49,06)	51,07 (51,12)	52,52 (50,90)	45,89 (50,37)	48,41 (48,35)	41,37 (45,30)			49,25 (48,87)
13,3	54,69 (49,00)	52,44 (48,87)	51,62 (52,69)	48,13 (51,51)	50,01 (55,46)	52,66 (55,85)	52,07 (52,29)	50,61 (50,77)	51,09 (45,72)			51,48 (51,35)
11,3	52,74 (53,15)	53,41 (53,78)	55,44 (52,86)	51,85 (51,34)	50,46 (50,51)	50,19 (52,23)	51,23 (53,50)	48,55 (50,54)	47,65 (46,00)			51,28 (51,55)
9,3	45,12 (52,57)	49,25 (52,08)	47,36 (50,47)	47,50 (50,27)	48,82 (50,03)	53,17 (49,84)	52,11 (50,03)	49,21 (47,43)	50,67 (47,27)	39,91 (42,74)		48,31 (49,27)
7,3	50,06 (49,45)	48,40 (48,48)	51,37 (49,67)	51,79 (44,53)	51,13 (51,35)	51,45 (47,84)	49,52 (52,01)	46,17 (48,36)	42,14 (50,50)	44,59 (38,46)		48,66 (48,06)
5,3	50,88 (46,46)	49,60 (49,92)	51,27 (50,16)	51,81 (49,67)	49,75 (51,80)	55,14 (50,97)	48,69 (50,99)	50,02 (52,40)	44,26 (47,40)	45,18 (41,72)		49,66 (49,15)
3,3	50,85 (50,35)	52,28 (46,64)	51,13 (47,73)	47,88 (48,46)	52,81 (49,49)	51,52 (49,81)	50,01 (50,09)	52,30 (50,25)	47,14 (47,48)	44,97 (43,17)		50,09 (48,35)
1,3	50,84 (47,60)	54,49 (49,21)	54,34 (52,60)	47,79 (50,95)	51,32 (49,20)	50,92 (49,83)	50,06 (51,92)	47,76 (46,94)	49,53 (46,62)	44,56 (42,72)		50,16 (48,76)
0,3	47,71 (48,20)	55,52 (49,87)	50,43 (50,84)	49,53 (46,99)	52,77 (51,00)	51,46 (47,98)	50,88 (50,11)	48,55 (47,74)	47,39 (45,92)	43,79 (40,00)		49,80 (47,86)
Média	50,85 (49,17)	52,62 (49,92)	51,75 (50,93)	49,64 (49,25)	50,95 (50,62)	51,61 (50,05)	49,15 (50,11)	48,15 (47,92)	45,96 (46,05)	43,83 (41,47)		49,88 (49,03)

PL= Posição longitudinal (m); Valores entre parênteses são referentes ao clone B.

Fonte: Da Autora (2021)

Tabela 6 – Coeficiente de flexibilidade das fibras dos clones A e B

Anel	CF (%)										Média	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
PL(m)	Casca					Medula						
23,3	45,76 (45,20)	48,32 (46,58)	53,28 (37,07)	57,66 (47,47)	49,96 (44,64)	59,31 (49,50)	53,67 (50,75)					52,57 (45,89)
21,3	44,35 (41,11)	48,45 (48,51)	46,77 (43,36)	54,91 (48,90)	49,82 (48,12)	55,42 (50,78)	55,23 (52,61)	56,29 (51,03)				51,40 (48,05)
19,3	42,71 (38,25)	43,07 (45,38)	54,21 (42,68)	58,15 (43,30)	50,91 (41,98)	51,20 (45,59)	59,30 (45,90)	54,94 (54,20)				51,81 (44,66)
17,3	46,65 (43,11)	50,96 (44,86)	52,67 (38,04)	57,83 (47,66)	52,12 (44,87)	57,68 (51,58)	53,68 (51,31)	58,57 (54,68)	63,72 (60,47)			54,87 (48,51)
15,3	48,81 (39,16)	50,22 (39,70)	46,53 (43,01)	57,57 (47,53)	55,68 (45,54)	57,20 (46,73)	63,74 (50,18)	59,64 (50,68)	62,50 (52,69)			55,77 (46,13)
13,3	41,91 (39,91)	48,46 (45,81)	49,41 (39,54)	56,73 (47,98)	53,66 (44,00)	58,73 (44,59)	53,20 (48,05)	56,89 (49,29)	57,22 (55,79)			52,91 (46,11)
11,3	39,75 (39,69)	43,15 (35,84)	43,83 (40,84)	48,60 (50,37)	53,02 (46,36)	55,70 (48,59)	60,21 (48,53)	62,57 (54,15)	62,75 (53,04)			52,18 (46,38)
9,3	48,15 (37,23)	48,41 (36,29)	50,35 (41,32)	56,12 (48,69)	51,48 (39,29)	51,02 (47,39)	57,89 (44,37)	57,28 (51,77)	58,68 (55,91)	65,28 (57,20)		54,47 (45,95)
7,3	47,78 (43,46)	48,17 (42,63)	43,49 (44,81)	50,75 (53,61)	54,42 (43,49)	49,45 (46,12)	56,68 (46,24)	58,19 (50,44)	68,34 (54,69)	64,04 (63,44)		54,13 (48,89)
5,3	45,32 (40,79)	46,29 (42,83)	46,50 (35,22)	51,60 (44,72)	43,50 (39,82)	53,55 (47,83)	54,38 (50,30)	62,86 (50,18)	64,55 (55,73)	65,85 (62,10)		53,44 (46,95)
3,3	45,92 (33,53)	54,41 (47,28)	50,50 (45,17)	54,96 (50,39)	48,65 (49,49)	54,55 (47,91)	58,17 (51,41)	60,24 (52,79)	67,46 (58,30)	68,56 (65,09)		56,34 (50,14)
1,3	51,09 (40,84)	50,16 (41,85)	50,34 (44,15)	57,28 (45,32)	48,39 (44,40)	55,54 (46,92)	62,72 (48,10)	62,90 (54,61)	64,74 (57,15)	65,98 (63,05)		56,91 (48,64)
0,3	51,94 (41,02)	49,79 (42,77)	51,45 (41,07)	54,69 (45,54)	49,03 (45,23)	55,36 (48,70)	56,13 (46,56)	62,92 (53,96)	63,38 (55,89)	65,34 (65,31)		56,00 (48,61)
Média	46,16 (40,25)	48,45 (43,10)	49,18 (41,25)	55,14 (47,81)	50,82 (44,40)	54,98 (47,86)	57,31 (48,79)	59,44 (52,32)	63,33 (55,97)	65,84 (62,70)		54,19 (47,39)

PL= Posição longitudinal (m); Valores entre parênteses são referentes ao clone B.

Fonte: Da Autora (2021)

Tabela 7 – Fração parede das fibras dos clones A e B

		FP (%)										
Anel	PL(m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
		Casca					Medula					
	23,3	54,24 (54,80)	51,68 (53,42)	46,72 (62,93)	42,34 (52,53)	50,04 (55,36)	40,69 (50,50)	46,33 (49,25)				47,43 (54,11)
	21,3	55,65 (58,89)	51,55 (51,49)	53,23 (56,64)	45,09 (51,10)	50,18 (51,88)	44,58 (49,22)	44,77 (47,39)	43,71 (48,97)			48,60 (51,95)
	19,3	57,29 (61,75)	56,93 (54,62)	45,79 (57,32)	41,85 (56,70)	49,09 (58,02)	48,80 (54,41)	40,70 (54,10)	45,06 (45,80)			48,19 (55,34)
	17,3	53,35 (56,89)	49,04 (55,14)	47,33 (61,96)	42,17 (52,34)	47,88 (55,13)	42,32 (48,42)	46,32 (48,69)	41,43 (45,32)	36,28 (39,53)		45,13 (51,49)
	15,3	51,19 (60,84)	49,78 (60,30)	53,47 (56,99)	42,43 (52,47)	44,32 (54,46)	42,80 (53,27)	36,26 (49,82)	40,36 (49,32)	37,50 (47,31)		44,23 (53,87)
	13,3	58,09 (60,09)	51,54 (54,19)	50,59 (60,46)	43,27 (52,02)	46,34 (56,00)	41,27 (55,41)	46,80 (51,95)	43,11 (50,71)	42,78 (44,21)		47,09 (53,89)
	11,3	60,25 (60,31)	56,85 (64,16)	56,17 (59,16)	51,40 (49,63)	46,98 (53,64)	44,30 (51,41)	39,79 (51,47)	37,43 (45,85)	37,25 (46,96)		47,82 (53,62)
	9,3	51,85 (62,77)	51,59 (63,71)	49,65 (58,68)	43,88 (51,31)	48,52 (60,71)	48,98 (52,61)	42,11 (55,63)	42,72 (48,23)	41,32 (44,09)	34,72 (42,80)	45,53 (54,05)
	7,3	52,22 (56,54)	51,83 (57,37)	56,51 (55,19)	49,25 (46,39)	45,58 (56,51)	50,55 (53,88)	43,32 (53,76)	41,81 (49,56)	31,66 (45,31)	35,96 (36,56)	45,87 (51,11)
	5,3	54,68 (59,21)	53,71 (57,17)	53,50 (64,78)	48,40 (55,28)	56,50 (60,18)	46,45 (52,17)	45,62 (49,70)	37,14 (49,82)	35,45 (44,27)	34,15 (37,90)	46,56 (53,05)
	3,3	54,08 (66,47)	45,59 (52,72)	49,50 (54,83)	45,04 (49,61)	51,35 (50,51)	45,45 (52,09)	41,83 (48,59)	39,76 (47,21)	32,54 (41,70)	31,44 (34,91)	43,66 (49,86)
	1,3	48,91 (59,16)	49,84 (58,15)	49,66 (55,85)	42,72 (54,68)	51,61 (55,60)	44,46 (53,08)	37,28 (51,90)	37,10 (45,39)	35,26 (42,85)	34,02 (36,95)	43,09 (51,36)
	0,3	48,06 (58,98)	50,21 (57,23)	48,55 (58,93)	45,31 (54,46)	50,97 (54,77)	44,64 (51,30)	43,87 (53,44)	37,08 (46,04)	36,62 (44,11)	34,66 (34,69)	44,00 (51,39)
	Média	53,84 (59,75)	51,55 (56,90)	50,82 (58,75)	44,86 (52,19)	49,18 (55,60)	45,02 (52,14)	42,69 (51,21)	40,56 (47,68)	36,67 (44,03)	34,16 (37,30)	45,81 (52,61)

PL= Posição longitudinal (m); Valores entre parênteses são referentes ao clone B.

Fonte: Da Autora (2021)

Tabela 8 – Índice de Runkel das fibras dos clones A e B

Anel	IR										Média	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
PL(m)	Casca					Medula						
23,3	1,19 (1,22)	1,13 (1,16)	0,88 (1,74)	0,73 (1,13)	1,02 (1,25)	0,70 (1,02)	0,87 (0,97)					0,93 (1,21)
21,3	1,27 (1,44)	1,07 (1,06)	1,14 (1,31)	0,82 (1,05)	1,01 (1,08)	0,81 (0,98)	0,81 (0,91)	0,79 (0,96)				0,96 (1,10)
19,3	1,34 (1,62)	1,33 (1,22)	0,84 (1,38)	0,72 (1,32)	0,97 (1,39)	0,96 (1,22)	0,69 (1,20)	0,82 (0,85)				0,96 (1,28)
17,3	1,15 (1,33)	1,04 (1,23)	0,92 (1,64)	0,74 (1,10)	0,93 (1,26)	0,73 (0,95)	0,86 (0,95)	0,71 (0,83)	0,58 (0,65)			0,85 (1,11)
15,3	1,09 (1,56)	0,99 (1,52)	1,15 (1,36)	0,74 (1,10)	0,80 (1,20)	0,75 (1,15)	0,57 (0,99)	0,68 (0,98)	0,60 (0,90)			0,82 (1,20)
13,3	1,39 (1,63)	1,07 (1,21)	1,04 (1,53)	0,77 (1,11)	0,86 (1,28)	0,70 (1,24)	0,88 (1,08)	0,76 (1,04)	0,75 (0,80)			0,91 (1,21)
11,3	1,53 (1,55)	1,39 (1,79)	1,29 (1,45)	1,10 (0,99)	0,89 (1,16)	0,83 (1,06)	0,66 (1,12)	0,61 (0,85)	0,59 (0,89)			0,99 (1,21)
9,3	1,08 (1,74)	1,08 (1,77)	0,99 (1,42)	0,78 (1,05)	0,96 (1,55)	0,96 (1,11)	0,74 (1,30)	0,75 (0,94)	0,70 (0,79)	0,53 (0,75)		0,86 (1,24)
7,3	1,10 (1,30)	1,08 (1,35)	1,31 (1,23)	1,00 (0,88)	0,85 (1,30)	1,06 (1,17)	0,77 (1,17)	0,73 (0,99)	0,49 (0,83)	0,56 (0,58)		0,89 (1,08)
5,3	1,23 (1,47)	1,16 (1,34)	1,15 (1,87)	0,95 (1,27)	1,30 (1,53)	0,88 (1,09)	0,84 (1,00)	0,59 (0,99)	0,55 (0,79)	0,52 (0,61)		0,92 (1,20)
3,3	1,18 (2,01)	0,85 (1,12)	0,98 (1,21)	0,82 (0,98)	1,06 (1,02)	0,85 (1,09)	0,72 (0,95)	0,67 (0,90)	0,49 (0,72)	0,46 (0,54)		0,81 (1,05)
1,3	0,97 (1,49)	1,00 (1,40)	0,99 (1,28)	0,75 (1,22)	1,07 (1,25)	0,80 (1,14)	0,59 (1,08)	0,59 (0,83)	0,55 (0,76)	0,52 (0,59)		0,78 (1,10)
0,3	0,94 (1,45)	1,01 (1,35)	0,95 (1,44)	0,83 (1,20)	1,04 (1,22)	0,81 (1,06)	0,79 (1,16)	0,59 (0,85)	0,58 (0,79)	0,53 (0,53)		0,81 (1,11)
Média	1,19 (1,52)	1,09 (1,35)	1,05 (1,45)	0,83 (1,11)	0,98 (1,27)	0,83 (1,10)	0,75 (1,07)	0,69 (0,92)	0,59 (0,79)	0,52 (0,60)		0,88 (1,16)

PL= Posição longitudinal (m); Valores entre parênteses são referentes ao clone B.

Fonte: Da Autora (2021)

5.3 Modelos de variação longitudinal e radial das dimensões das fibras dos clones A e B

5.3.1 Modelos de variação do comprimento das fibras dentro do tronco

Nos Quadros 2 e 3 estão apresentados os modelos estatísticos ajustados para descrever o padrão de variação longitudinal do comprimento das fibras por anel anual de crescimento dos clones A e B, respectivamente. No Quadro 2 pode-se observar que não houve ajuste de nenhum modelo no 1º, 2º, 3º e 4º anel, ou seja, a variação do comprimento das fibras nesses anéis anuais de crescimento não demonstrou nenhum padrão longitudinal definido. Apesar da significância dos modelos, os 5º, 6º e 9º anéis anuais de crescimento apresentaram modelos com ajustes muito fracos e somente no 8º e 10º anel os modelos lineares quadrático e cúbico, respectivamente, apresentaram bons ajustes.

Quadro 2 – Modelos de variação longitudinal do comprimento das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone A

Anel	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
1	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
2	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
4	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
5	$Y_i = 1,07391 + 0,01204PL - 0,0006048PL^2$	5,47	23,75**	17,12
6	$Y_i = 1,06784 + 0,01842 PL - 0,0008770PL^2$	5,56	35,27*	29,64
7	$Y_i = 1,03728 + 0,02311PL - 0,001281PL^2$	7,19	53,00*	48,91
8	$Y_i = 1,0769 + 0,01632PL - 0,001302PL^2$	6,62	66,55*	63,36
9	$Y_i = 1,0821 - 0,01126PL$	10,64	28,55**	24,58
10	$Y_i = 0,8742 + 0,1199PL - 0,02806PL^2 + 0,001573PL^3$	3,61	85,81*	80,49

*Significativo a 1% de significância; ** Significativo a 5% de significância; CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust} = Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; PL= Posição longitudinal (m).

Fonte: Da Autora (2021)

No Quadro 3 se observa que no 7º, 8º e 9º anel anual de crescimento os modelos lineares apresentaram os melhores ajustes. O padrão de variação do comprimento das fibras nos anéis anuais de crescimento 7º e 8º seguiu o modelo linear quadrático, enquanto que no 9º anel foi o modelo linear cúbico. No 2º anel anual de crescimento nenhum dos modelos testados foi significativo, enquanto que no 1º, 5º, 6º e 10º anel apesar de os modelos serem significativos, todos apresentaram ajuste de baixa magnitude.

Quadro 3 – Modelos de variação longitudinal do comprimento das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone B

Anel	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
1	$Y_i = 1,04483 + 0,007921PL - 0,0004374PL^2$	4,38	26,32**	19,91
2	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
3	$Y_i = 1,06320 + 0,009775PL - 0,0006177 PL^2$	4,17	52,56*	48,43
4	$Y_i = 0,9368 + 0,1212PL^{0,5} - 0,02369 PL$	3,70	54,45*	50,48
5	$Y_i = 1,08157 + 0,004449 PL - 0,0004313PL^2$	4,73	48,34*	43,85
6	$Y_i = 0,9359 + 0,1203PL^{0,5} - 0,02284PL$	4,70	39,03*	33,73
7	$Y_i = 1,01580 + 0,1765PL - 0,001098 PL^2$	4,80	73,53*	71,23
8	$Y_i = 0,9805 + 0,02449 PL - 0,001600 PL^2$	4,89	79,50*	77,54
9	$Y_i = 0,9423 + 0,05708PL - 0,007738 PL^2 + 0,0002295PL^3$	2,63	94,00*	92,87
10	$Y_i = 0,9240 - 0,009227 PL$	5,86	27,86***	20,65

*Significativo a 1% de significância; ** Significativo a 5% de significância; ***Significativo a 10% de significância; CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; PL= Posição longitudinal (m).

Fonte: Da Autora (2021)

Nos Quadros 4 e 5 estão apresentados os modelos estatísticos ajustados para descrever o padrão de variação do comprimento das fibras no sentido radial em diferentes alturas do tronco das árvores nos clones A e B, respectivamente.

Quadro 4 – Modelos de variação radial do comprimento das fibras por posição longitudinal do clone A

PL(m)	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
0,3	$Y_i = 1,05179 + 0,02499A - 0,003578A^2$	3,85	63,01*	58,66
1,3	$Y_i = 1,1595 - 0,01208A$	6,16	22,81**	18,52
3,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
5,3	$Y_i = 1,1807 - 0,08451A + 0,02055A^2 - 0,001454A^3$	4,04	61,76*	54,59
7,3	$Y_i = 1,1394 - 0,04804A + 0,01675A^2 - 0,001459A^3$	4,60	75,34*	70,71
9,3	$Y_i = 1,1939 - 0,1399A + 0,04014A^2 - 0,002971A^3$	6,23	69,12*	63,33
11,3	$Y_i = 1,1136 + 0,04553A - 0,006597A^2$	8,61	35,06**	26,40
13,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
15,3	$Y_i = 1,2248 - 0,1217A + 0,03596A^2 - 0,002975A^3$	5,47	71,11*	64,92
17,3	$Y_i = 1,06243 + 0,05263 A - 0,008642A^2$	6,13	74,61*	71,22
19,3	$Y_i = 1,00930 + 0,08573A - 0,01297A^2$	8,99	53,52*	46,37
21,3	$Y_i = 1,1204 - 0,02173A$	9,53	23,00***	17,50
23,3	$Y_i = 1,1589 - 0,03295A$	9,00	37,22**	31,99

*Significativo a 1% de significância; ** Significativo a 5% de significância; ***Significativo a 10% de significância; PL= Posição longitudinal (m); CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; A= Anel anual de crescimento.

Fonte: Da Autora (2021)

No Quadro 4 verifica-se que nas posições longitudinais 0,3 m, 5,3 m, 7,3 m, 9,3 m, 15,3 m e 17,3 m apresentaram os modelos lineares com os melhores ajustes. Nas posições longitudinais 0,3 m e 17,3 m a variação seguiu o modelo linear quadrático, enquanto a 5,3 m, 7,3 m, 9,3 m e 15,3 m o modelo linear cúbico obteve o melhor ajuste. Nas posições 1,3 m, 11,3

m, 19,3 m, 21,3 m e 23,3 m apesar de significativos os modelos tiveram ajustes de baixa magnitude.

No Quadro 5 observa-se que nas posições longitudinais 1,3 m, 9,3 m e 19,3 m o modelo linear quadrático apresentou melhor ajuste e nas posições 3,3 m, 7,3 m, 11,3 m, 13,3 m, 17,3 m e 21,3 m a variação seguiu o modelo linear cúbico. Destaque para a posição longitudinal 17,3 m a que apresentou o melhor ajuste de modelo.

Quadro 5 – Modelos de variação radial do comprimento das fibras por posição longitudinal do clone B

PL(m)	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
0,3	$Y_i = 1,0829 - 0,1375 A$	3,94	52,33*	49,68
1,3	$Y_i = 1,03080 + 0,03230A - 0,004219A^2$	3,45	70,04*	66,51
3,3	$Y_i = 1,09897 - 0,02717A + 0,01069A^2 - 0,0009709A^3$	3,12	76,91*	72,58
5,3	$Y_i = 1,0552 - 0,03911A + 0,01617A^2 - 0,001373A^3$	5,28	55,95*	47,69
7,3	$Y_i = 1,2437 - 0,1032A + 0,02084A^2 - 0,001419A^3$	5,80	65,00*	58,44
9,3	$Y_i = 1,03350 + 0,3621 A - 0,005091 A^2$	4,33	72,86*	69,67
11,3	$Y_i = 1,1845 - 0,08617A + 0,02164A^2 - 0,001625A^3$	3,30	60,69*	52,27
13,3	$Y_i = 1,1007 - 0,05719 A + 0,02209A^2 - 0,002068A^3$	3,49	82,83*	79,15
15,3	$Y_i = 1,1056 - 0,08370A + 0,02646A^2 - 0,002251A^3$	5,89	59,06*	50,29
17,3	$Y_i = 1,1443 - 0,07846A + 0,02475A^2 - 0,002248A^3$	3,99	86,02*	83,03
19,3	$Y_i = 1,02001 + 0,02505A - 0,006164A^2$	5,14	73,46*	69,38
21,3	$Y_i = 1,06792 - 0,08141A + 0,02789A^2 - 0,002769A^3$	3,91	83,91*	79,88
23,3	$Y_i = 1,05843 - 0,02609A$	6,04	48,93*	44,67

*Significativo a 1% de significância; ** Significativo a 5% de significância; ***Significativo a 10% de significância; PL= Posição longitudinal (m); CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; A= Anel anual de crescimento.

Fonte: Da Autora (2021)

O clone B apresentou bons ajustes de modelo linear no sentido radial em todas as posições longitudinais de amostragem, diferindo do apresentado pelo clone A tanto em relação aos modelos como na qualidade do ajuste.

5.3.2 Modelos de variação da largura das fibras dentro do tronco

Nos Quadros 6 e 7 estão apresentados os modelos estatísticos ajustados para descrever o padrão de variação longitudinal da largura das fibras por anel anual de crescimento dos clones A e B. No Quadro 6 observa-se que nos anéis anuais de crescimento 8° e 10° os modelos lineares quadrático e cúbico, respectivamente, apresentaram os melhores ajustes, enquanto que no Quadro 7 os anéis anuais de crescimento 9° e 10° foram os de melhores ajustes e apresentaram padrão de variação expressado pelo modelo linear cúbico. A maioria dos anéis anuais de crescimento não apresentou boa qualidade no ajuste dos modelos testados em ambos os clones.

Quadro 6 – Modelos de variação longitudinal da largura das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone A

Anel	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
1	$Y_i = 24,3280 - 4,2296\sqrt{PL} + 2,00577PL - 0,2703 PL^{1,5}$	4,94	30,08**	20,54
2	$Y_i = 20,3293 + 0,7057PL - 0,06337PL^2 + 0,001450PL^3$	5,22	35,69**	26,92
3	$Y_i = 22,4006 - 3,4168\sqrt{PL} + 1,8045PL - 0,2471 PL^{1,5}$	4,33	30,95**	21,54
4	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
5	$Y_i = 20,6423 + 0,3206PL - 0,01451PL^2$	3,93	42,43*	37,43
6	$Y_i = 20,8201 + 0,2497PL - 0,01091PL^2$	5,26	18,44***	11,35
7	$Y_i = 20,8056 + 0,3817PL - 0,01886PL^2$	5,93	38,87*	33,56
8	$Y_i = 22,1395 + 0,2345PL - 0,01865PL^2$	5,36	58,99*	55,08
9	$Y_i = 20,8164 + 1,1791PL - 0,1800PL^2 + 0,006566PL^3$	6,60	38,22**	26,64
10	$Y_i = 19,9332 + 2,6712PL - 0,7137PL^2 + 0,04681PL^3$	4,18	67,28**	55,01

*Significativo a 1% de significância; ** Significativo a 5% de significância; ***Significativo a 10% de significância; CV= Coeficiente de variação; R²=Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; PL= Posição longitudinal (m).

Fonte: Da Autora (2021)

Quadro 7 – Modelos de variação longitudinal da largura das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone B

Anel	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
1	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
2	$Y_i = 22,1283 - 0,0518328PL$	4,96	12,13***	8,47
3	$Y_i = 20,8139 + 0,4266PL - 0,4577 PL^2 + 0,001082PL^3$	4,82	45,70*	38,29
4	$Y_i = 20,7636 + 0,5579 PL - 0,05760 PL^2 + 0,001413 PL^3$	5,05	37,82**	29,34
5	$Y_i = 21,8486 - 0,08989 PL$	4,80	32,16*	29,33
6	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
7	$Y_i = 20,3455 + 0,1670PL - 0,01076PL^2$	5,61	34,87*	29,21
8	$Y_i = 20,7541 + 0,1984PL - 0,01435PL^2$	4,45	52,74*	48,23
9	$Y_i = 20,5516 + 1,02298PL - 0,1709PL^2 + 0,006452PL^3$	4,90	59,01*	51,33
10	$Y_i = 23,0136 - 1,5556PL + 0,3770PL^2 - 0,02649PL^3$	3,49	63,91**	50,38

*Significativo a 1% de significância; ** Significativo a 5% de significância; ***Significativo a 10% de significância; CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; PL= Posição longitudinal (m).

Fonte: Da Autora (2021)

Nos Quadros 8 e 9 estão apresentados os modelos estatísticos ajustados para descrever o padrão de variação radial da largura das fibras em diferentes posições longitudinais do tronco dos clones A e B, respectivamente. No Quadro 8 pode-se observar que não houve ajuste de nenhum modelo nas posições longitudinais 0,3 m, 1,3 m, 5,3 m, 7,3 m, 17,3 m, 19,3 m, 21,3 m e 23,3 m, ou seja, as larguras das fibras nestas posições longitudinais não apresentaram nenhum padrão de variação radial definido de acordo com os modelos testados. Nas demais posições os modelos foram significativos, porém com ajuste de baixa magnitude.

Quadros 8 – Modelos de variação radial da largura das fibras por posição longitudinal do clone A

PL(M)	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
0,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
1,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
3,3	$Y_i = 20,9000 + 0,1916A$	4,97	22,05**	17,72
5,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
7,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
9,3	$Y_i = 23,4328 - 0,2297A$	4,50	32,66*	28,92
11,3	$Y_i = 24,3575 - 2,5571A + 0,7164A^2 - 0,05407A^3$	4,67	49,78**	39,02
13,3	$Y_i = 21,2275 + 0,8593A - 0,1035A^2$	5,09	34,87**	26,19
15,3	$Y_i = 25,4611 - 3,3959A + 0,8407A^2 - 0,05810A^3$	3,81	51,17**	40,71
17,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
19,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
21,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
23,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-

*Significativo a 1% de significância; ** Significativo a 5% de significância; PL= Posição longitudinal (m); CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; A= Anel anual de crescimento.

Fonte: Da Autora (2021)

No Quadro 9 observa-se que somente na posição longitudinal 7,3 m o modelo linear cúbico apresentou bom ajuste, porém nas posições longitudinais 1,3 m, 5,3 m, 11,3 m e 17,3 m nenhum dos modelos testados foram significativos, ou seja, a variação radial das larguras das fibras não possui padrão definido nessas posições longitudinais. Nas demais posições, apesar da significância dos modelos o ajuste foi de baixa magnitude.

Quadros 9 – Modelos de variação radial da largura das fibras por posição longitudinal do clone B

PL(m)	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
0,3	$Y_i = 22,6620 - 0,8142A + 0,07572A^2$	4,38	29,65***	21,37
1,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
3,3	$Y_i = 20,3018 + 1,7947A - 0,3649A^2 + 0,01975A^3$	3,99	36,48***	24,57
5,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
7,3	$Y_i = 22,1721 + 1,1922A - 0,3792A^2 + 0,02560A^3$	3,34	68,93*	63,11
9,3	$Y_i = 20,0606 + 0,6032A - 0,06030A^2$	4,68	21,21**	11,94
11,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
13,3	$Y_i = 22,0635 - 0,3109A$	7,46	23,64**	18,87
15,3	$Y_i = 23,8912 - 2,00665A + 0,4447A^2 - 0,03157A^3$	4,73	50,92**	40,40
17,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
19,3	$Y_i = 21,3815 - 0,2867A$	3,69	47,31*	43,55
21,3	$Y_i = 21,9854 - 1,7844A + 0,5296A^2 - 0,04560A^3$	4,23	50,00**	37,50
23,3	$Y_i = 21,4076 - 0,3974A$	5,51	38,16**	33,01

*Significativo a 1% de significância; ** Significativo a 5% de significância; ***Significativo a 10% de significância; PL= Posição longitudinal (m); CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; A= Anel anual de crescimento.

Fonte: Da Autora (2021)

Nos dois clones avaliados a largura da fibra aparentemente não apresentou modelo definido de padrão de variação radial, pois a qualidade dos ajustes foi de baixa magnitude em todas as posições longitudinais de amostragem, exceto a 7,3 m do clone B.

5.3.3 Modelos de variação do diâmetro do lume das fibras dentro do tronco

Nos Quadros 10 e 11 estão apresentados os modelos estatísticos ajustados para descrever o padrão de variação longitudinal do diâmetro do lume das fibras por anel anual de crescimento dos clones A e B, respectivamente. No Quadro 10 observa-se que nos 2º, 3º, 4º e 6º anel anual de crescimento não houve modelos significativos que indicassem o padrão de variação do diâmetro do lume das fibras, enquanto nos 1º, 5º, 7º, 8º e 9º anéis anuais de crescimento houve significância nos modelos, porém com baixa qualidade no ajuste. Apenas o 10º anel anual de crescimento apresentou bom ajuste sendo o modelo ajustado o linear cúbico.

Quadro 10 – Modelos de variação longitudinal do diâmetro do lume das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone A

Anel	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
1	$Y_i = 10,9519 - 0,07258PL$	13,12	14,91***	11,37
2	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
4	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
5	$Y_i = 9,5752 + 0,3611PL - 0,01456PL^2$	9,98	31,67**	25,73
6	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
7	$Y_i = 12,0702 + 0,2411PL - 0,01278PL^2$	12,21	20,02***	13,06
8	$Y_i = 13,9290 + 0,05469PL - 0,01006PL^2$	10,82	43,04*	37,61
9	$Y_i = 13,0005 + 1,3457PL - 0,2133PL^2 + 0,007980PL^3$	13,70	32,72***	20,10
10	$Y_i = 12,6971 + 2,5202PL - 0,6605PL^2 + 0,04288PL^3$	5,43	70,13**	58,93

*Significativo a 1% de significância; ** Significativo a 5% de significância; ***Significativo a 10% de significância; CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; PL= Posição longitudinal (m).

Fonte: Da Autora (2021)

No Quadro 11 pode-se verificar que no 10º anel anual de crescimento o modelo linear cúbico apresentou melhor ajuste. Nos 3º, 4º, 8º e 9º anéis anuais de crescimento, apesar de significativos os modelos não apresentaram qualidade no ajuste. Nos anéis 1º, 2º, 5º, 6º e 7º nenhum dos modelos lineares testados foram significativos, indicando ausência de padrão de variação longitudinal do diâmetro do lume.

Quadro 11 – Modelos de variação longitudinal do diâmetro do lume das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone B

Anel	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
1	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
2	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
3	$Y_i = 9,3249 - 0,05971PL$	14,33	12,00****	8,34
4	$Y_i = 9,1800 + 0,6594PL - 0,06421PL^2 + 0,001587PL^3$	12,25	24,95****	14,72
5	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
6	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
7	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
8	$Y_i = 11,4380 - 0,06255PL$	8,79	17,89**	14,16
9	$Y_i = 11,5057 + 0,8092PL - 0,1458PL^2 + 0,005864PL^3$	8,94	45,99**	35,86
10	$Y_i = 15,0543 - 1,3688PL + 0,3462PL^2 - 0,02594PL^3$	5,81	70,80**	59,85

** Significativo a 5% de significância; ****Significativo a 10% de significância; CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; PL= Posição longitudinal (m).

Fonte: Da Autora (2021)

Nos Quadros 12 e 13 estão apresentados os modelos estatísticos ajustados para descrever o padrão de variação do diâmetro do lume das fibras no sentido radial em diferentes alturas do tronco dos clones A e B, respectivamente. No Quadro 12 verifica-se que nas posições longitudinais 3,3 m e 5,3 m os modelos lineares cúbico raiz e simples, respectivamente, apresentaram as melhores qualidades de ajuste, enquanto nas posições 17,3 m e 23,3 m nenhum dos modelos testados foi significativo. Nas demais posições longitudinais apesar de significativos os modelos tiveram ajuste de baixa magnitude.

Quadro 12 – Modelos de variação radial do diâmetro do lume das fibras por posição longitudinal do clone A

PL(m)	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
0,3	$Y_i = 11,4138 - 0,3813A + 0,06637A^2$	10,81	46,89*	40,64
1,3	$Y_i = 9,8655 + 0,4677A$	9,61	58,38*	56,07
3,3	$Y_i = -3,8329 - 24,1838\sqrt{A} - 12,8327A + 2,2780 A^{1,5}$	10,76	70,06*	64,45
5,3	$Y_i = 8,4666 + 0,5563A$	11,06	63,60*	61,58
7,3	$Y_i = 9,3595 + 0,4969A$	18,51	31,12**	27,30
9,3	$Y_i = 10,7949 + 0,2279A$	8,76	29,95**	26,06
11,3	$Y_i = 8,3390 + 0,6414A$	15,43	49,29*	46,12
13,3	$Y_i = 7,9495 + 1,6562A - 0,1405A^2$	9,79	49,72*	43,01
15,3	$Y_i = 12,9657 - 2,4769A + 0,7375A^2 - 0,05169A^3$	10,46	55,44*	45,89
17,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
19,3	$Y_i = 7,3273 + 1,6185A - 0,1506A^2$	14,11	30,92****	20,29
21,3	$Y_i = 9,2322 + 0,3004A$	11,57	26,55**	21,30
23,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-

*Significativo a 1% de significância; ** Significativo a 5% de significância; ****Significativo a 10% de significância; PL= Posição longitudinal (m); CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; A= Anel anual de crescimento.

Fonte: Da Autora (2021)

No Quadro 13 verifica-se que nas posições longitudinais 13,3 m, 19,3 m, 21,3 m e 23,3 m não houve ajuste de nenhum dos modelos testados, ou seja, o diâmetro do lume das fibras não apresentou padrão de variação definido nessas posições longitudinais, enquanto nas posições longitudinais de 0,3 m, 1,3 m, 3,3 m, 5,3 m e 7,3 m a qualidade dos ajustes foi de maior magnitude. O padrão de variação radial do diâmetro do lume das fibras nas posições longitudinais de 0,3 m, 3,3 m e 7,3 m seguiu o modelo linear cúbico, enquanto nas posições longitudinais de 1,3 m e 5,3 m foi o modelo linear quadrático. Nas demais posições longitudinais houve modelos significativos, porém com baixa qualidade no ajuste.

Quadro 13 – Modelos de variação radial do lume das fibras por posição longitudinal do clone B

PL(m)	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
0,3	$Y_i = 7,9523 + 1,0132A - 0,2617A^2 + 0,02258A^3$	8,16	84,13*	81,16
1,3	$Y_i = 9,6099 - 0,3831A + 0,07671A^2$	10,39	67,28*	63,43
3,3	$Y_i = 4,2738 + 4,1548A - 0,7858A^2 + 0,04693A^3$	7,88	79,83*	76,05
5,3	$Y_i = 9,2125 - 0,4313A + 0,08316A^2$	12,52	63,06*	58,71
7,3	$Y_i = 7,7002 + 2,4901A - 0,6080A^2 + 0,04198A^3$	9,98	59,63*	52,06
9,3	$Y_i = 7,3415 + 0,4255A$	12,78	52,02*	49,35
11,3	$Y_i = 7,5209 + 0,4392A$	14,72	41,43*	37,77
13,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
15,3	$Y_i = 8,5416 + 0,2098A$	9,54	28,28**	23,80
17,3	$Y_i = 8,01178 + 0,4284 A$	13,15	43,57*	40,05
19,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
21,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
23,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-

*Significativo a 1% de significância; ** Significativo a 5% de significância; PL= Posição longitudinal (m); CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; A= Anel anual de crescimento.

Fonte: Da Autora (2021)

5.3.4 Modelos de variação da espessura das paredes das fibras dentro do tronco

Nos Quadros 14 e 15 estão apresentados os modelos estatísticos ajustados para descrever o padrão de variação longitudinal da espessura da parede das fibras por anel anual de crescimento dos clones A e B, respectivamente. No Quadro 14 observa-se que no 7º, 9º e 10º anéis anuais de crescimento nenhum dos modelos testados foi significativo, enquanto nos demais anéis anuais de crescimento os modelos ajustados foram significativos, porém com baixa qualidade de ajuste. No Quadro 15 verifica-se que houve ajuste de modelo em todos os anéis anuais de crescimento, porém todos com baixa qualidade de ajuste. Apesar da significância dos modelos observada nos Quadros 14 e 15, a qualidade dos ajustes foi de baixa

magnitude.

Quadro 14 – Modelos de variação longitudinal da espessura das paredes das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone A

Anel	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
1	$Y_i = 5,2954 + 0,1433PL - 0,005706PL^2$	7,15	33,31*	27,51
2	$Y_i = 5,1468 + 0,1143PL - 0,004930PL^2$	9,07	19,16***	12,14
3	$Y_i = 4,9901 + 0,1393PL - 0,006441PL^2$	6,77	44,69*	39,88
4	$Y_i = 4,6348 + 0,2041PL - 0,01906PL^2 + 0,0004366PL^3$	7,75	35,43**	26,62
5	$Y_i = 5,5319 - 0,01970PL$	7,63	12,22***	8,56
6	$Y_i = 4,7030 + 0,07942PL - 0,004060PL^2$	8,97	21,87***	15,07
7	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
8	$Y_i = 4,1051 + 0,08993PL - 0,004300PL^2$	7,49	23,31***	16,01
9	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
10	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-

*Significativo a 1% de significância; ** Significativo a 5% de significância; ***Significativo a 10% de significância; CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; PL= Posição longitudinal (m).

Fonte: Da Autora (2021)

Quadro 15 – Modelos de variação longitudinal da espessura das paredes das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone B

Anel	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
1	$Y_i = 6,7312 - 0,02826 PL$	6,50	21,30**	18,02
2	$Y_i = 6,09127 + 0,08146 PL - 0,004902PL^2$	5,86	48,42*	43,93
3	$Y_i = 5,8904 + 0,1916PL - 0,01955PL^2 + 0,0004896PL^3$	5,00	38,06**	29,61
4	$Y_i = 5,7289 - 0,01742PL$	5,75	15,00***	11,46
5	$Y_i = 6,1025 - 0,02829 PL$	6,08	27,56*	24,54
6	$Y_i = 5,4875 + 0,4146PL - 0,002648 PL^2$	5,77	29,15**	22,99
7	$Y_i = 5,2316 + 0,05663PL - 0,003801PL^2$	6,83	43,17*	38,23
8	$Y_i = 4,7718 + 0,09386 PL - 0,005443PL^2$	6,32	43,99*	38,65
9	$Y_i = 4,5814 + 0,05515PL - 0,004856PL^2$	6,00	39,58**	32,47
10	$Y_i = 3,9706 - 0,07869PL + 0,01146PL^2$	4,38	43,16***	30,53

*Significativo a 1% de significância; ** Significativo a 5% de significância; ***Significativo a 10% de significância; CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; PL= Posição longitudinal (m).

Fonte: Da Autora (2021)

Nos Quadros 16 e 17 estão apresentados os modelos estatísticos ajustados para descrever o padrão de variação da espessura da parede das fibras no sentido radial em diferentes alturas do tronco. O Quadro 16 apresenta os modelos lineares ajustados para predição da variação radial da espessura da parede celular das fibras do clone A. Entre todos os modelos estatísticos testados nas diferentes posições longitudinais do tronco, o modelo linear simples foi o que apresentou melhor qualidade de ajuste para as posições 0,3 m, 1,3 m, 5,3 m, 7,3 m, 11,3 m, 13,3 m, 15,3 m e 21,3 m. O padrão de variação nas posições 9,3 m, 17,3 m e 19,3 m

segiu o modelo linear cúbico, enquanto na posição 3,3 m o modelo linear cúbico raiz foi o de melhor ajuste. Todos os modelos apresentaram boa qualidade de ajuste, exceto na posição longitudinal de 23,3 m.

Quadro 16 – Modelos de variação radial da espessura das paredes das fibras por posição longitudinal do clone A

PL(m)	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
0,3	$Y_i = 5,7059 - 0,1925A$	8,07	70,75*	69,13
1,3	$Y_i = 5,7700 - 0,1975A$	7,97	71,94*	70,38
3,3	$Y_i = 9,6973 - 7,5259\sqrt{A} + 4,1376A - 0,7556 A^{1,5}$	8,83	73,62*	68,68
5,3	$Y_i = 6,4682 - 0,2663A$	9,22	75,35*	73,98
7,3	$Y_i = 6,4791 - 0,2562A$	11,06	65,67*	63,77
9,3	$Y_i = 6,7924 - 0,7963A + 0,1471A^2 - 0,009964A^3$	8,01	78,44*	74,40
11,3	$Y_i = 7,0926 - 0,3639A$	9,33	80,41*	79,19
13,3	$Y_i = 6,3000 - 0,2136A$	5,76	79,00*	77,69
15,3	$Y_i = 5,9715 - 0,2216A$	7,81	71,87*	70,12
17,3	$Y_i = 6,7468 - 1,2087A + 0,2532A^2 - 0,01733A^3$	8,27	68,17*	61,35
19,3	$Y_i = 7,4787 - 1,5536A + 0,3087A^2 - 0,02081A^3$	6,56	80,54*	75,67
21,3	$Y_i = 5,8111 - 0,1836A$	5,58	72,30*	70,32
23,3	$Y_i = 5,6544 - 0,1959A$	9,31	46,56*	42,11

*Significativo a 1% de significância; PL= Posição longitudinal (m); CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; A= Anel anual de crescimento.

Fonte: Da Autora (2021)

No Quadro 17 encontram-se modelos lineares ajustados para predição da variação radial da espessura da parede celular das fibras do clone B. Todos os modelos apresentaram boa qualidade de ajuste nas posições longitudinais de amostragem, com destaque para a altura de 3,3 m que apresentou um coeficiente de determinação ajustado de 89,23% para o modelo linear cúbico. O modelo linear cúbico também apresentou melhor ajuste nas posições de 7,3 m, 13,3 m e 19,3 m, enquanto a 0,3 m, 9,3 m, 11,3 m, 15,3 m e 21,3 m o padrão de variação seguiu o modelo linear simples e nas posições de 1,3 m, 5,3 m, 17,3 m e 23,3 m o modelo de melhor ajuste foi o linear quadrático.

Quadro 17 – Modelos de variação radial da espessura das paredes das fibras por posição longitudinal do clone B

PL(m)	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
0,3	$Y_i = 6,7728 - 0,2477 A$	7,28	78,40*	77,21
1,3	$Y_i = 6,4272 - 0,006922A - 0,02280A^2$	5,82	86,81*	85,26
3,3	$Y_i = 8,01371 - 0,01179A + 0,2104A^2 - 0,01359A^3$	5,71	90,93*	89,23
5,3	$Y_i = 6,3010 + 0,1066A - 0,03221A^2$	6,58	82,69*	80,65
7,3	$Y_i = 7,2362 - 0,6491A + 0,1145A^2 - 0,008190A^3$	6,87	82,86*	79,65

9,3	$Y_i = 7,02287 - 0,2428 A$	7,85	73,03*	71,54
11,3	$Y_i = 6,6046 - 0,2059 A$	6,80	68,89*	66,94
13,3	$Y_i = 7,1349 - 0,8390 A + 0,1698 A^2 - 0,01246 A^3$	4,92	86,45*	83,54
15,3	$Y_i = 6,8975 - 0,2548 A$	5,54	83,37*	82,33
17,3	$Y_i = 6,04031 + 0,03414 A - 0,02682 A^2$	4,90	87,13*	85,41
19,3	$Y_i = 7,5403 - 1,3981 A + 0,3415 A^2 - 0,02713 A^3$	7,07	74,00*	67,50
21,3	$Y_i = 6,05441 - 0,1863 A$	7,00	60,97*	58,18
23,3	$Y_i = 5,4734 + 0,2647 A - 0,05880 A^2$	5,87	73,08*	68,19

*Significativo a 1% de significância; PL= Posição longitudinal (m); CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²ajust= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; A= Anel anual de crescimento.

Fonte: Da Autora (2021)

5.4 Modelos de variação longitudinal e radial dos índices de indicativo de qualidade das fibras dos clones A e B

5.4.1 Modelos de variação do índice de enfeltramento dentro do tronco

Nos Quadros 18 e 19 encontram-se os modelos lineares ajustados para a variação longitudinal do índice de enfeltramento (IE) dos Clone A e B, respectivamente. O Quadro 18 apresenta os modelos lineares ajustados para a variação longitudinal do índice de enfeltramento do Clone A. No 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 6º e 7º anel anual de crescimento nenhum dos modelos testados foi significativo e nos demais anéis anuais de crescimento (8º, 9º e 10º) apesar da significância, a qualidade do ajuste foi de baixa qualidade.

Quadro 18 – Modelos de variação longitudinal do índice de enfeltramento das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone A

Anel	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² ajust
1	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
2	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
4	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
5	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
6	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
7	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
8	$Y_i = 48,6617 + 0,2653 PL - 0,02128 PL^2$	6,05	23,32***	16,01
9	$Y_i = 50,3355 - 2,8989 PL + 0,4650 PL^2 - 0,01965 PL^3$	10,40	35,73***	23,68
10	$Y_i = 43,1263 + 1,3375 PL - 0,1750 PL^2$	4,64	48,82**	37,45

** Significativo a 5% de significância; ***Significativo a 10% de significância; CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²ajust= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; PL= Posição longitudinal (m).

Fonte: Da Autora (2021)

No Quadro 19 encontram-se os modelos lineares ajustados para a variação longitudinal do índice de enfiamento do Clone B. No 1º, 2º, 3º, 4º, 6º e 8º anel anual de crescimento nenhum dos modelos estatísticos testados foi significativo, ou seja, o índice de enfiamento das fibras não apresentou padrão de variação definido nestes anéis anuais de crescimento. No 5º anel o modelo cúbico raiz foi significativo e no 7º, 8º e 9º anel de crescimento o modelo linear quadrático foi significativo, porém todos com ajuste de baixa qualidade.

Quadro 19 – Modelos de variação longitudinal do IE das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone B

Anel	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
1	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
2	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
4	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
5	$Y_i = 54,4790 - 8,6918 \sqrt{PL} + 4,4163 PL - 0,6043 PL^{1,5}$	5,19	24,31***	13,98
6	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
7	$Y_i = 49,8597 + 0,5254 PL - 0,03119 PL^2$	6,67	29,68**	23,57
8	$Y_i = 47,2621 + 0,7530 PL - 0,04656 PL^2$	5,19	51,68*	47,08
9	$Y_i = 45,2585 + 1,03836 PL - 0,07782 PL^2$	5,33	57,86*	52,90
10	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-

*Significativo a 1% de significância; ** Significativo a 5% de significância; ***Significativo a 10% de significância; CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; PL= Posição longitudinal (m).

Fonte: Da Autora (2021)

Pôde se observar nos Quadros 18 e 19 que os modelos lineares testados não se ajustaram aos dados de IE na maioria dos anéis anuais de crescimento, indicando que este índice não apresenta modelo de variação definido dentro dos anéis anuais de crescimento nos dois clones avaliados.

Nos Quadros 20 e 21 estão apresentados os modelos estatísticos ajustados para descrever o padrão de variação radial do IE das fibras por posição longitudinal do tronco nos clones A e B, respectivamente. No Quadro 20 pode se observar que nas posições longitudinais 3,3 m, 13,3 m e 23,3 m nenhum modelo testado foi significativo, ou seja, não houve padrão de variação radial definido do IE nessas alturas do tronco. O modelo linear cúbico na posição de 9,3 m e quadrático nas posições de 15,3 m e 17,3 m apresentaram as melhores qualidades de ajuste. Nas demais posições longitudinais os modelos ajustados apresentaram significância, mas os ajustes foram de baixa magnitude.

Quadro 20 – Modelos de variação radial do índice de enfeltramento das fibras por posição longitudinal do clone A

PL(m)	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
0,3	$Y_i = 47,9057 + 1,9967A - 0,2360A^2$	6,17	42,35*	35,57
1,3	$Y_i = 54,0870 - 0,7137A$	5,20	40,74*	37,44
3,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
5,3	$Y_i = 48,1011 + 1,8283A - 0,2207A^2$	6,12	41,34**	34,44
7,3	$Y_i = 47,6149 + 1,8560A - 0,2380A^2$	6,68	46,42*	40,11
9,3	$Y_i = 49,1596 - 3,5360A + 1,2437A^2 - 0,09679A^3$	6,74	52,88*	44,04
11,3	$Y_i = 55,0289 - 0,7497A$	7,96	20,19***	15,20
13,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
15,3	$Y_i = 47,4030 + 2,5402A - 0,3428A^2$	5,12	63,61*	58,76
17,3	$Y_i = 49,6643 + 2,1210A - 0,3531A^2$	8,41	55,22*	49,24
19,3	$Y_i = 49,6103 + 2,7863A - 0,4255A^2$	9,10	34,96***	24,95
21,3	$Y_i = 54,1887 - 0,9804A$	9,28	21,29***	15,67
23,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-

*Significativo a 1% de significância; ** Significativo a 5% de significância; ***Significativo a 10% de significância; PL= Posição longitudinal (m); CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; A= Anel anual de crescimento.

Fonte: Da Autora (2021)

No Quadro 21 a posição longitudinal 23,3 m também não apresentou nenhum dos modelos estatísticos testados significativos, enquanto as posições 0,3 m, 1,3 m, 3,3 m e 17,3 m foram as que apresentaram melhores ajustes. Nas posições longitudinais de 0,3 m, 1,3 m, e 17,3 m a variação radial do IE seguiu o modelo linear quadrático, enquanto na posição 3,3m foi o modelo linear cúbico. De modo geral, nos dois clones avaliados, os modelos lineares testados apresentaram baixa qualidade de ajuste, com raras exceções destacadas no texto.

Quadro 21 – Modelos de variação radial do índice de enfeltramento das fibras por posição longitudinal do clone B

PL(m)	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
0,3	$Y_i = 46,1269 + 2,04065 A - 0,2464 A^2$	5,41	54,80*	49,48
1,3	$Y_i = 45,7606 + 2,4196 A - 0,2677A^2$	4,26	62,35*	57,92
3,3	$Y_i = 53,8617 - 5,2659A + 1,3055A^2 - 0,08864A^3$	3,26	68,07*	62,08
5,3	$Y_i = 43,0242 + 3,5501 A - 0,3481 A^2$	6,02	48,59*	42,54
7,3	$Y_i = 56,1141 - 7,3438A + 1,8070A^2 - 0,1231A^3$	7,33	47,29**	37,40
9,3	$Y_i = 53,8860 - 0,8384 A$	6,25	40,49*	37,19
11,3	$Y_i = 54,5626 - 0,6031 A$	6,43	19,89***	14,88
13,3	$Y_i = 43,2551 + 4,5291 A - 0,4594 A^2$	7,14	39,31**	31,22
15,3	$Y_i = 43,6964 + 2,8845A - 0,2921A^2$	4,32	44,06**	36,60
17,3	$Y_i = 46,4848 + 3,6354A - 0,4804A^2$	6,85	63,38*	58,50
19,3	$Y_i = 47,4720 + 2,05523A - 0,3209A^2$	6,15	44,54**	36,01
21,3	$Y_i = 46,9752 + 1,8703A - 0,2901A^2$	4,40	56,18*	49,44
23,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-

*Significativo a 1% de significância; ** Significativo a 5% de significância; ***Significativo a 10% de significância; PL= Posição longitudinal (m); CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; A= Anel anual de crescimento.

Fonte: Da Autora (2021)

5.4.2 Modelos de variação do coeficiente de flexibilidade dentro do tronco

Nos Quadros 22 e 23 encontram-se os modelos estatísticos ajustados para descrever o padrão de variação longitudinal do coeficiente de flexibilidade (CF) das fibras dentro dos anéis anuais de crescimento dos clones A e B, respectivamente. No Quadro 22 é possível observar que no 10º anel de crescimento o modelo linear cúbico foi o que apresentou um ajuste mediano de modelo, em contrapartida nos demais anéis a qualidade do ajuste foi muito baixa e no 2º, 4º, 6º, 7º e 9º anéis anuais de crescimento nenhum dos modelos estatísticos testados foi significativo.

Quadro 22 – Modelos de variação longitudinal do coeficiente de flexibilidade das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone A

Anel	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
1	$Y_i = 51,1174 - 0,9141PL + 0,02965PL^2$	9,72	21,13***	14,27
2	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
3	$Y_i = 50,9573 - 0,7356PL + 0,03587PL^2$	8,03	19,18***	12,16
4	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
5	$Y_i = 55,7753 - 14,9164\sqrt{PL} + 7,4059PL - 0,9558 PL^{1,5}$	7,62	27,58***	17,70
6	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
7	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
8	$Y_i = 62,5969 - 0,3039PL$	6,51	23,59**	20,11
9	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
10	$Y_i = 63,8715 + 3,4533PL - 0,8683PL^2 + 0,05507PL^3$	2,16	53,37***	35,89

** Significativo a 5% de significância; ***Significativo a 10% de significância; CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; PL= Posição longitudinal (m).

Fonte: Da Autora (2021)

No Quadro 23 observa-se que no 1º, 3º, 5º, 6º, 7º, 8º e 9º anel anual de crescimento nenhum dos modelos estatísticos testados foi significativo, entretanto o 10º anel apresentou o bom ajuste, sendo a variação longitudinal do CF das fibras melhor explicada pelo modelo linear cúbico. No 2º anel anual de crescimento o modelo foi significativo, porém com ajuste de baixa magnitude.

Quadro 23 – Modelos de variação longitudinal do coeficiente de flexibilidade das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone B

Anel	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
1	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
2	$Y_i = 44,5986 - 0,8205PL + 0,04269PL^2$	9,84	25,50**	19,03
3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
4	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-

5	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
6	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
7	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
8	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
9	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
10	$Y_i = 65,5046 - 1,8178 PL + 0,5215PL^2 - 0,04512PL^3$	3,21	69,35**	57,86

** Significativo a 5% de significância; CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²ajust= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; PL= Posição longitudinal (m).

Fonte: Da Autora (2021)

Pelos Quadros 22 e 23 verifica-se que somente no 10º anel anual de crescimento foi possível ajustar o modelo linear cúbico com bom ajuste, indicando que o CF das fibras não apresentou padrão definido de variação longitudinal na maioria dos anéis anuais de crescimento.

Nos Quadros 24 e 25 estão demonstrados os modelos ajustados para descrever o padrão de variação radial do coeficiente de flexibilidade das fibras nas diferentes alturas do tronco dos clones A e B, respectivamente. No Quadro 24 observa-se que nas posições longitudinais 0,3 m, 1,3 m, 3,3 m, 5,3 m, 9,3 m, 11,3 m, 13,3 m e 15,3 m ocorreram os melhores ajustes de modelo. Nas posições longitudinais de 0,3 m, 1,3 m 5,3 m, 9,3 m, 11,3 m e 15,3 m o modelo linear simples foi o de melhor ajuste, enquanto nas alturas de 3,3 m e 13,3 m os de melhor ajuste foram os modelos lineares raiz cúbico e quadrático, respectivamente. Nas posições longitudinais 17,3 m e 23,3 m apesar da significância dos modelos, houve baixa qualidade de ajuste.

Quadro 24 – Modelos de variação radial do coeficiente de flexibilidade das fibras por posição longitudinal do clone A

PL(m)	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² ajust
0,3	$Y_i = 46,5450 + 1,7197A$	7,37	61,42*	59,28
1,3	$Y_i = 46,1677 + 1,9536A$	6,92	69,26*	67,55
3,3	$Y_i = -1,78303 + 86,5296\sqrt{A} - 46,1115A + 8,2230A^{1,5}$	7,38	76,50*	72,09
5,3	$Y_i = 39,6790 - 2,5017A$	8,41	73,95*	72,50
7,3	$Y_i = 41,6683 + 2,2659A$	11,62	54,33*	51,80
9,3	$Y_i = 45,6133 + 1,6098A$	6,79	63,48*	61,45
11,3	$Y_i = 36,3336 + 3,1685A$	10,59	71,16*	69,36
13,3	$Y_i = 38,0849 + 5,3226A - 0,3721A^2$	5,88	73,00*	69,40
15,3	$Y_i = 46,0117 + 1,9510A$	7,48	62,14*	59,77
17,3	$Y_i = 47,1253 + 1,5498A$	10,29	36,10*	32,10
19,3	$Y_i = 37,0067 + 5,8392A - 0,4498A^2$	8,90	54,98*	48,05
21,3	$Y_i = 43,9902 + 1,6473A$	7,03	55,52*	52,34
23,3	$Y_i = 46,5086 - 1,5143A$	10,69	25,29***	19,07

*Significativo a 1% de significância; ***Significativo a 10% de significância; PL= Posição longitudinal (m); CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²ajust= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; A= Anel anual de crescimento.

Fonte: Da Autora (2021)

No Quadro 25 se observa que nas posições longitudinais 0,3 m, 1,3 m, 3,3 m, 5,3 m, 7,3 m, 9,3 m, 15,3 m e 17,3 m ocorreram os melhores ajustes dos modelos estatísticos testados, com destaque para a posição longitudinal 3,3 m, em que o modelo linear cúbico apresentou coeficiente de determinação de 90,01%. Nas posições longitudinais 0,3 m, 1,3 m, 5,3 m e 17,3 m o padrão de variação radial seguiu o modelo linear quadrático e nas alturas de 9,3 m e 15,3 m o modelo linear simples. Na posição 23,3 m não houve ajuste de nenhum dos modelos testados, enquanto que nas posições longitudinais 13,3 m, 19,3 m e 21,3 m apesar dos modelos serem significativos, não apresentaram ajustes com boa qualidade. De forma geral, os melhores ajustes de modelo para descrever o padrão de variação radial do CF das fibras ocorreram nas porções mais basais do tronco das árvores.

Quadro 25 – Modelos de variação radial do coeficiente de flexibilidade das fibras por posição longitudinal do clone B

PL(m)	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
0,3	$Y_i = 43,2487 - 1,3662A + 0,3343A^2$	6,69	84,75*	82,96
1,3	$Y_i = 42,7239 - 0,9689A + 0,2920A^2$	7,14	81,79*	79,64
3,3	$Y_i = 22,7432 + 15,1950A - 2,8200A^2 + 0,1732A^3$	5,66	90,01*	88,14
5,3	$Y_i = 42,0220 - 1,5802A + 0,3539A^2$	9,44	75,22*	72,31
7,3	$Y_i = 35,5224 + 8,1136A - 1,8349A^2 + 0,1302A^3$	7,72	74,35*	69,54
9,3	$Y_i = 33,7953 + 2,2091A$	10,17	67,20*	65,38
11,3	$Y_i = 36,2189 + 2,03200A$	9,86	59,68*	57,16
13,3	$Y_i = 38,8083 + 1,4593A$	11,36	36,79*	32,84
15,3	$Y_i = 37,7514 + 1,6768A$	6,23	71,86*	70,10
17,3	$Y_i = 43,6402 - 1,06907A + 0,3226A^2$	8,22	72,30*	68,61
19,3	$Y_i = 30,7859 + 10,9639A - 2,8765A^2 + 0,2339A^3$	10,77	49,09**	36,36
21,3	$Y_i = 42,0829 + 1,3267A$	7,47	45,03*	41,11
23,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-

*Significativo a 1% de significância; ** Significativo a 5% de significância; PL= Posição longitudinal (m); CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; A= Anel anual de crescimento.

Fonte: Da Autora (2021)

5.4.3 Modelos de variação da fração parede dentro do tronco

Os modelos estatísticos ajustados para descrever o padrão de variação longitudinal da fração parede (FP) das fibras por anel anual de crescimento dos clones A e B encontram-se, respectivamente, nos Quadros 26 e 27. No Quadro 26 observa-se que no 2º, 4º, 6º, 7º e 9º anéis anuais de crescimento nenhum dos modelos estatísticos testados apresentaram significância, enquanto no 1º, 3º, 5º, 8º e 10º anel anual de crescimento os modelos foram significativos, mas com ajuste de baixa magnitude.

Quadro 26 – Modelos de variação longitudinal da fração parede das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone A

Anel	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
1	$Y_i = 48,8826 + 0,9141PL - 0,02965PL^2$	8,33	21,13***	14,27
2	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
3	$Y_i = 49,0427 + 0,7356PL - 0,03589PL^2$	7,77	19,18***	12,16
4	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
5	$Y_i = 44,2247 + 14,9164\sqrt{PL} - 7,4059PL + 0,9558 PL^{1,5}$	7,88	27,58***	17,70
6	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
7	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
8	$Y_i = 37,4031 + 0,3039PL$	9,54	23,59**	20,11
9	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
10	$Y_i = 36,1285 - 3,4533PL + 0,8683PL^2 - 0,05507PL^3$	4,15	53,37***	35,89

** Significativo a 5% de significância; ***Significativo a 10% de significância; CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; PL= Posição longitudinal (m).

Fonte: Da Autora (2021)

No Quadro 27 verifica-se que no 10º anel anual de crescimento o modelo linear cúbico foi o que apresentou o melhor ajuste. No 2º anel anual de crescimento o modelo linear quadrático foi significativo, porém com ajuste de baixa qualidade. Nos demais anéis anuais de crescimento (1º, 3º, 4º, 5º, 6º, 7º, 8º e 9º) não foi possível ajustar nenhum modelo que pudesse representar o padrão de variação longitudinal da FP das fibras.

Quadro 27 – Modelos de variação longitudinal da fração parede das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone B

Anel	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
1	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
2	$Y_i = 55,4014 + 0,8205PL - 0,04269PL^2$	7,45	25,50**	19,03
3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
4	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
5	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
6	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
7	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
8	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
9	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
10	$Y_i = 34,4954 + 1,8178PL - 0,5215PL^2 + 0,04512PL^3$	5,40	69,35**	57,86

** Significativo a 5% de significância; CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; PL= Posição longitudinal (m).

Fonte: Da Autora (2021)

Pelos Quadros 26 e 27 verifica-se que somente no 10º anel anual de crescimento foi possível ajustar o modelo linear cúbico com qualidade de ajuste, indicando que a FP das fibras não apresentou padrão definido de variação na maioria dos anéis anuais de crescimento, mesmo

resultado apresentado pelo coeficiente de flexibilidade.

Nos Quadros 28 e 29 são apresentados os modelos ajustados para descrever o padrão de variação radial da fração parede das fibras por posição longitudinal no tronco das árvores dos clones A e B, respectivamente. No Quadro 28 observa-se que nas posições longitudinais 0,3 m, 1,3 m, 3,3 m, 5,3 m, 9,3 m, 11,3 m, 13,3 m e 15,3 m os modelos apresentaram os melhores ajustes, em que o modelo linear simples foi destaque nas alturas de 0,3 m, 1,3 m 5,3 m, 9,3 m, 11,3 m e 15,3 m e em 3,3 m e 13,3 m os modelos lineares raiz cúbico e quadrático, respectivamente. Nas posições 17,3 m e 23,3 m os modelos foram significativos, mas com baixa qualidade de ajuste.

Quadro 28 – Modelos de variação radial da fração parede das fibras por posição longitudinal do clone A

PL(m)	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
0,3	$Y_i = 53,4550 - 1,7197A$	9,38	61,42*	59,28
1,3	$Y_i = 53,8323 - 1,9536A$	9,15	69,26*	67,55
3,3	$Y_i = 101,785 - 86,5305\sqrt{A} + 46,1120A - 8,2232 A^{1,5}$	9,52	76,51*	72,11
5,3	$Y_i = 60,3210 - 2,5017A$	9,66	73,95*	72,50
7,3	$Y_i = 58,3317 - 2,2659A$	13,71	54,33*	51,80
9,3	$Y_i = 54,3867 - 1,6098A$	8,12	63,48*	61,45
11,3	$Y_i = 63,6664 - 3,1685A$	11,55	71,16*	69,36
13,3	$Y_i = 61,9151 - 5,3226A + 0,3721A^2$	6,61	73,00*	69,40
15,3	$Y_i = 53,9883 - 1,9510A$	9,43	62,14*	59,77
17,3	$Y_i = 52,8747 - 1,5498 A$	12,51	36,10*	32,10
19,3	$Y_i = 62,9933 - 5,8392A + 0,4498A^2$	9,57	54,98*	48,05
21,3	$Y_i = 56,0098 - 1,6473A$	7,43	55,52*	52,34
23,3	$Y_i = 53,4914 - 1,5143A$	11,85	25,29***	19,07

*Significativo a 1% de significância; ***Significativo a 10% de significância; PL= Posição longitudinal (m); CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; A= Anel anual de crescimento.

Fonte: Da Autora (2021)

No Quadro 29 verifica-se que nas posições longitudinais 0,3 m, 1,3 m, 5,3 m, 7,3 m, 9,3 m, 11,3 m, 15,3 m e 17,3 m a variação radial da fração parede das fibras apresentaram os melhores ajustes de modelo, com destaque para a altura de 3,3 m em que o modelo linear cúbico apresentou o mais elevado coeficiente de determinação (90,01%). O modelo linear cúbico também foi o que melhor se ajustou para a posição longitudinal de 7,3 m. Nas posições longitudinais 0,3 m, 1,3 m, 5,3 m e 17,3 m o padrão de variação seguiu o modelo linear quadrático e nas alturas de 9,3 m, 11,3 m e 15,3 m o modelo linear simples. Nas posições longitudinais 13,3 m, 19,3 m e 21,3 m apesar da significância dos modelos, houve baixa

qualidade de ajuste, enquanto na posição longitudinal 23,3 m não houve ajuste de nenhum dos modelos testados. Os melhores ajustes de modelo ocorreram nas porções mais basais do tronco das árvores. Estes mesmos resultados foram observados para o coeficiente de flexibilidade discutido anteriormente.

Quadro 29 – Modelos de variação radial da fração parede das fibras por posição longitudinal do clone B

PL(m)	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
0,3	$Y_i = 56,7513 + 1,3662A - 0,3343A^2$	6,33	84,75*	82,96
1,3	$Y_i = 57,2761 + 0,9689A - 0,2920A^2$	6,76	81,79*	79,64
3,3	$Y_i = 77,2565 - 15,1950A + 2,8200A^2 - 0,1732A^3$	5,69	90,01*	88,13
5,3	$Y_i = 57,9780 + 1,5802A - 0,3539A^2$	8,36	75,22*	72,31
7,3	$Y_i = 64,4776 - 8,1136A + 1,8349A^2 - 0,1302A^3$	7,38	74,35*	69,54
9,3	$Y_i = 66,2047 - 2,2091A$	8,64	67,20*	65,38
11,3	$Y_i = 63,7811 - 2,03200 A$	8,53	59,68*	57,16
13,3	$Y_i = 61,1917 - 1,4593 A$	9,72	36,79*	32,84
15,3	$Y_i = 62,2486 - 1,6768A$	5,34	71,86*	70,10
17,3	$Y_i = 56,3598 + 1,06907A - 0,3226A^2$	7,74	72,30*	68,61
19,3	$Y_i = 69,2141 - 10,9639A + 2,8765A^2 - 0,2339A^3$	8,69	49,09**	36,36
21,3	$Y_i = 57,9171 - 1,3267A$	6,91	45,03*	41,11
23,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-

*Significativo a 1% de significância; ** Significativo a 5% de significância; PL= Posição longitudinal (m); CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; A= Anel anual de crescimento.

Fonte: Da Autora (2021)

5.4.4 Modelos de variação do índice de Runkel dentro do tronco

Os modelos estatísticos ajustados para descrever o padrão de variação longitudinal do índice de Runkel (IR) das fibras por anel anual de crescimento dos clones A e B estão apresentados nos Quadros 30 e 31, respectivamente. No Quadro 30 observa-se que nos anéis anuais de crescimento 2°, 4°, 6°, 7°, 9° e 10° nenhum dos modelos estatísticos testados apresentou significância, enquanto no 1°, 3°, 5° e 8° anel anual de crescimento houve ajuste de modelos, porém com baixa magnitude.

Quadro 30 – Modelos de variação longitudinal do índice de Runkel das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone A

Anel	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
1	$Y_i = 0,9597 + 0,04345PL - 0,001446 PL^2$	55,49	20,71***	13,81
2	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
3	$Y_i = 0,9642 + 0,03290PL - 0,001581PL^2$	15,85	20,11***	13,17
4	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
5	$Y_i = 0,7487 + 0,6346 \sqrt{PL} - 0,3067 PL + 0,03902 PL^{1,5}$	15,55	27,64***	17,77
6	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
7	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
8	$Y_i = 0,5967 + 0,008940PL$	16,00	24,66**	21,24
9	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
10	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-

Significativo a 5% de significância; ***Significativo a 10% de significância; CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; PL= Posição longitudinal (m).

Fonte: Da Autora (2021)

No Quadro 31 verifica-se que apenas no 2º e 10º anel anual de crescimento houve ajuste de modelo, porém apesar da significância dos modelos o ajuste foi de baixa magnitude, principalmente no 2º anel anual de crescimento. No 1º, 3º, 4º, 5º, 6º, 7º, 8º e 9º anel anual de crescimento nenhum dos modelos estatísticos testados foi significativo, ou seja, a variação longitudinal do IR das fibras nestes anéis não apresentou nenhum padrão de variação.

Quadro 31 – Modelos de variação longitudinal do índice de Runkel das fibras dos anéis anuais de crescimento do clone B

Anel	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
1	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
2	$Y_i = 1,2444 + 0,04996PL - 0,002528PL^2$	17,84	25,77**	19,32
3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
4	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
5	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
6	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
7	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
8	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
9	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-
10	$Y_i = 0,5628 - 0,01654PL + 0,003662 PL^2$	9,38	63,69**	55,62

** Significativo a 5% de significância; CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; PL= Posição longitudinal (m).

Fonte: Da Autora (2021)

Nos Quadros 32 e 33 são apresentados os modelos ajustados para descrever o padrão de variação radial do IR das fibras por posição longitudinal no tronco das árvores dos clones A e B, respectivamente. No Quadro 32 observa-se que nas posições longitudinais 1,3 m, 3,3 m,

5,3 m, 9,3 m, 11,3 m e 13,3 m os modelos apresentaram os melhores ajustes. Nas alturas de 1,3 m, 5,3 m, 9,3 m e 11,3 m o modelo linear simples foi de melhor ajuste, enquanto nas alturas 3,3 m e 13,3 m os modelos lineares cúbico raiz e quadrático, respectivamente, foram os de destaque. Nas posições longitudinais 0,3 m, 7,3 m, 15,3 m, 17,3 m, 19,3 m, 21,3 m, e 23,3 m os modelos foram significativos, porém com ajustes de menor qualidade.

Quadro 32 – Modelos de variação radial do IR das fibras por posição longitudinal do clone A

PL(m)	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
0,3	$Y_i = 1,1067 - 0,05421A$	17,00	58,79*	56,50
1,3	$Y_i = 1,1113 - 0,05988A$	17,18	64,52*	62,55
3,3	$Y_i = 2,8282 - 2,9218\sqrt{A} + 1,4944A - 0,2576 A^{1,5}$	16,94	73,60*	68,65
5,3	$Y_i = 1,3903 - 0,08597A$	18,46	70,27*	68,62
7,3	$Y_i = 1,3073 - 0,07488A$	24,10	52,50*	49,86
9,3	$Y_i = 1,1543 - 0,05397A$	14,81	62,37*	60,28
11,3	$Y_i = 1,6225 - 0,1268A$	24,03	68,11*	66,11
13,3	$Y_i = 1,5273 - 0,2254A + 0,01613A^2$	12,83	76,07*	72,88
15,3	$Y_i = 1,1564 - 0,06717A$	18,62	59,28*	56,73
17,3	$Y_i = 1,1369 - 0,05717A$	23,98	37,03*	33,09
19,3	$Y_i = 1,5860 - 0,2494A + 0,01944A^2$	18,40	59,38*	53,13
21,3	$Y_i = 1,2539 - 0,06434A$	14,87	54,68*	51,45
23,3	$Y_i = 1,1686 - 0,06000A$	23,79	25,58***	19,38

*Significativo a 1% de significância; ***Significativo a 10% de significância; PL= Posição longitudinal (m); CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; A= Anel anual de crescimento.

Fonte: Da Autora (2021)

No Quadro 33 pode se observar que nas posições longitudinais 0,3 m, 1,3 m 3,3 m, 7,3 m, 9,3 m e 15,3 m a variação radial do IR das fibras apresentaram melhores ajustes de modelo, com destaque para a posição longitudinal 3,3 m, em que o modelo ajustado cúbico raiz apresentou elevado coeficiente de determinação (88,96%). Nas alturas de 1,3 m, 9,3 m e 15,3 m o padrão de variação seguiu o modelo linear simples, enquanto nas posições longitudinais 0,3 m e 7,3 m os melhores modelos foram o linear quadrático e linear cúbico, respectivamente. Nas posições longitudinais 5,3 m, 11,3 m, 13,3 m, 17,3 m, 19,3 m e 21,3 m apesar da significância dos modelos, houve baixa qualidade de ajuste, enquanto na posição longitudinal 23,3 m não houve ajuste de nenhum dos modelos testados.

Quadro 33 – Modelos de variação radial do IR das fibras por posição longitudinal do clone B

PL(m)	Modelo Ajustado	CV (%)	R ²	R ² _{ajust}
0,3	$Y_i = 1,4226 + 0,003576A - 0,8788A^2$	13,35	80,34*	78,03
1,3	$Y_i = 1,6163 - 0,09324A$	15,69	72,67*	71,15
3,3	$Y_i = 7,3175 - 8,7807 \sqrt{A} + 4,0584 A - 0,6207 A^{1,5}$	13,56	88,96*	86,90
5,3	$Y_i = 1,7706 - 0,1040A$	22,92	56,84*	54,44
7,3	$Y_i = 1,5807 - 0,2805A + 0,06049A^2 - 0,004257A^3$	14,17	70,26*	64,69
9,3	$Y_i = 0,01839 - 0,1084A$	20,68	62,01*	59,90
11,3	$Y_i = 1,7099 - 0,1007A$	19,46	58,05*	55,42
13,3	$Y_i = 1,5971 - 0,07708A$	23,08	36,27*	32,29
15,3	$Y_i = 1,6104 - 0,8275A$	12,29	70,40*	68,55
17,3	$Y_i = 1,5550 - 0,09000A$	19,58	56,46*	53,74
19,3	$Y_i = 5,7323 - 7,5556 \sqrt{A} + 4,1763 A - 0,7471A^{1,5}$	18,97	46,68**	33,36
21,3	$Y_i = 1,3719 - 0,06029A$	14,87	44,91*	40,97
23,3	Nenhum dos modelos testados foi significativo	-	-	-

*Significativo a 1% de significância; ** Significativo a 5% de significância; PL= Posição longitudinal (m); CV= Coeficiente de variação; R²= Coeficiente de determinação; R²_{ajust}= Coeficiente de determinação ajustado; Yi= Comprimento da fibra; A= Anel anual de crescimento.

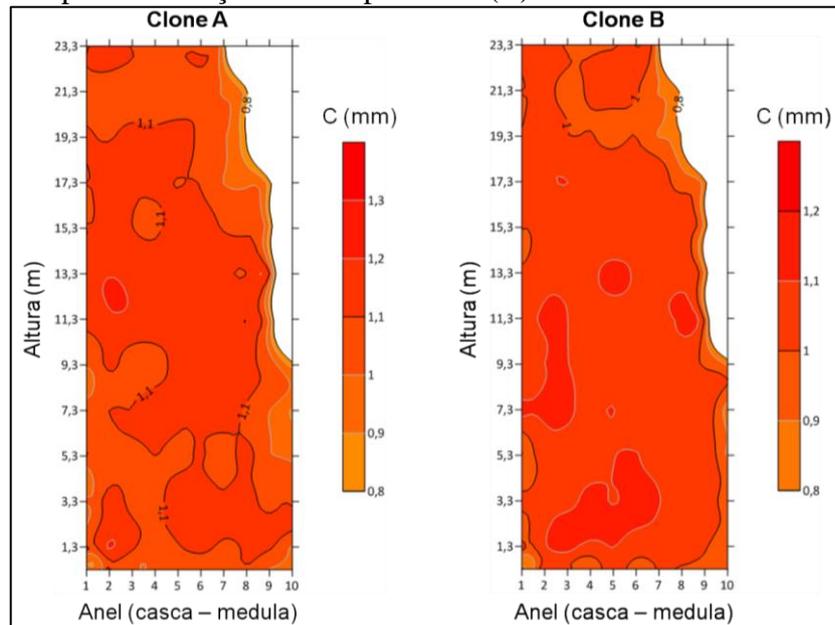
Fonte: Da Autora (2021)

5.5 Mapas de variação das dimensões das fibras dos clones A e B

As Figuras 4, 5, 6 e 7 mostram os mapas com o padrão médio de variação do comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras, respectivamente, no fuste das árvores dos clones A e B.

Na Figura 4 pode-se observar que nos clones A e B as fibras retiradas a partir da altura de 9,3 m nos anéis mais próximos à medula apresentaram comprimento abaixo de 1 mm, aumentando no sentido medula-casca. No Clone B o 10º anel apresentou medidas abaixo de 1 mm em todas as posições longitudinais em que está presente, enquanto nos anéis 1º ao 9º as fibras apresentaram comprimento acima de 1 mm. Entretanto, verifica-se que, em ambos os clones, na maior porção do tronco não houve variações expressivas nas dimensões do comprimento das fibras. Apesar da ocorrência de tendência no aumento do comprimento das fibras no sentido medula-casca, este padrão não é consistente nas alturas e anéis anuais de crescimento. Essa uniformidade visível nos mapas está relacionada com a baixa magnitude dos valores de comprimento das fibras. Este resultado corrobora com Tomazello Filho (1987), que ao analisar a variação das dimensões das fibras no sentido radial (medula-casca) de três espécies de *Eucalyptus* (*E. globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*) com 10 anos de idade, verificou aumento do comprimento das fibras no sentido medula-casca, chegando a mais de 1 mm de comprimento a partir da porção de 50-75% do raio das amostras retiradas no diâmetro à altura do peito (DAP) nas árvores.

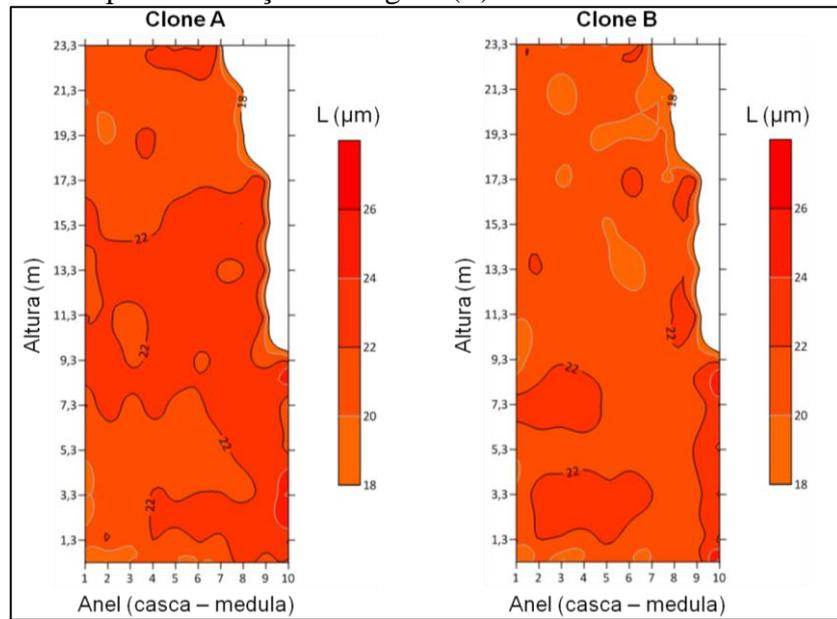
Figura 4 – Mapas de variação do comprimento (C) médio das fibras dos clones A e B



Fonte: Da Autora (2021)

A Figura 5 mostra a variação da largura média das fibras nos clones A e B. Pode-se observar que no clone A, nas posições longitudinais 7,3 m até a 17,3 m as fibras apresentaram largura maior que $22\ \mu\text{m}$ em todos os anéis anuais de crescimento presente nessas alturas, com exceção do 9º anel. Nas alturas de 0,3 m até 9,3 m o 7º, 8º, 9º e 10º anel anual de crescimento apresentaram fibras com largura maior que $22\ \mu\text{m}$, com exceção de alguns pontos isolados, não obedecendo nenhum padrão de variação. No clone B, no 9º e 10º anel anual de crescimento as fibras apresentaram largura acima de $22\ \mu\text{m}$, além de algumas regiões isoladas como na região compreendida entre 2º e 7º anel anual de crescimento, nas alturas de 1,3 m até aproximadamente 4,3 m. A largura não apresentou padrão de variação bem definido nos sentidos longitudinal e radial em ambos os clones e de forma geral o clone A possui fibras com maior largura.

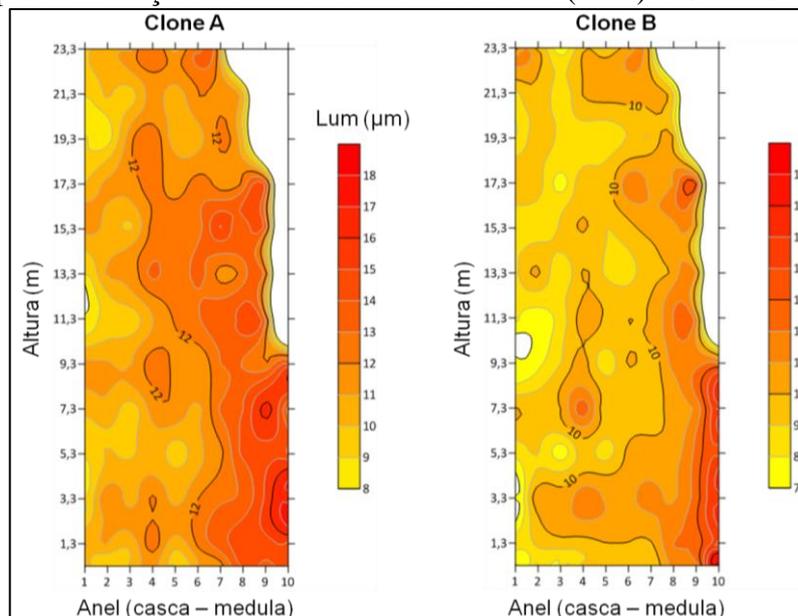
Figura 5 – Mapas de variação da largura (L) média das fibras dos clones A e B



Fonte: Da Autora (2021)

A Figura 6 mostra a variação do diâmetro médio do lume das fibras do clone A e B. Nos mapas pode-se observar que as fibras com maior lume estão nos anéis mais próximos à medula (9° e 10° anel) até 9,3 m de altura. A partir desses anéis ocorreu redução do diâmetro do lume no sentido medula-casca em ambos os clones. De modo geral, as fibras apresentaram maior diâmetro do lume na região mais próxima à medula independentemente da altura considerada. Apesar dos dois clones terem apresentado padrão similar de variação, o clone A apresentou fibras com diâmetro do lume médio maior (11,75 μm) que o clone B (9,96 μm).

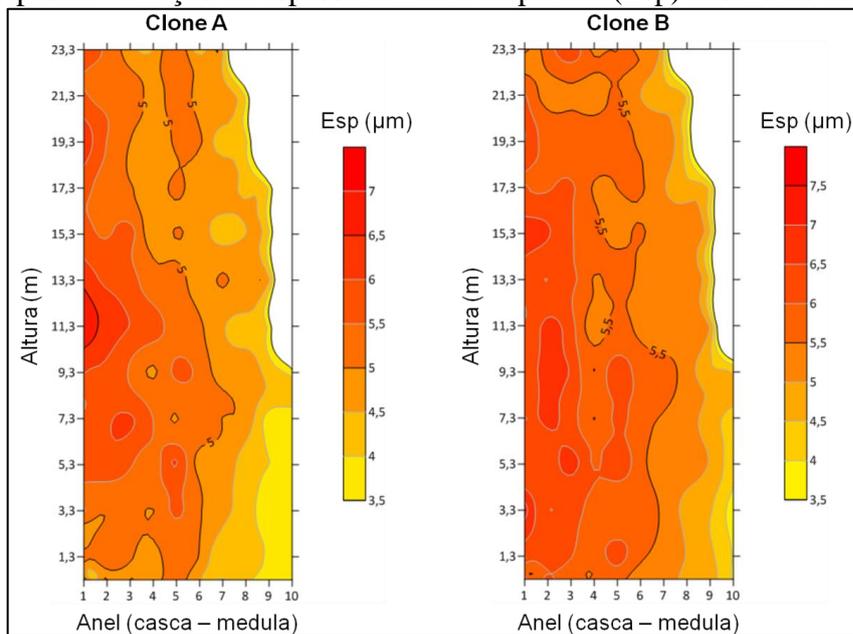
Figura 6 – Mapas de variação do diâmetro médio do lume (Lum) das fibras dos clones A e B



Fonte: Da Autora (2021)

A Figura 7 mostra a variação da espessura média da parede das fibras dos clones A e B. Verifica-se que a espessura das paredes das fibras apresentou pequena variação no sentido longitudinal dentro dos anéis anuais de crescimento, porém radialmente existe tendência de aumento sentido medula-casca. No Clone B, no 1º, 2º, 3º, 4º, 5º e 6º anel anual de crescimento as fibras possuem paredes mais espessas ($Esp > 5,5 \mu m$) em todas as posições longitudinais do tronco. No clone A, do 6º ao 10º anel anual de crescimento as fibras apresentaram espessura de parede abaixo de $5 \mu m$ em quase todas as posições longitudinais que os anéis estão presentes, com exceção de algumas pequenas regiões, enquanto no 1º e 2º anel as espessuras das paredes são menores de $5 \mu m$ apenas na altura de 0,3 m do tronco. No 3º e 4º anel anual de crescimento, nas alturas 0,3 m e também de 15,3 m até 23,3 m as fibras apresentaram paredes com espessuras abaixo de $5 \mu m$. Dessa forma, pode-se observar que o clone B apresentou, de forma geral, fibras com paredes mais espessas que o clone A e que ambos apresentam o padrão de variação de aumento da espessura da parede radialmente no sentido medula-casca.

Figura 7 – Mapas de variação da espessura média da parede (Esp) das fibras dos clones A e B



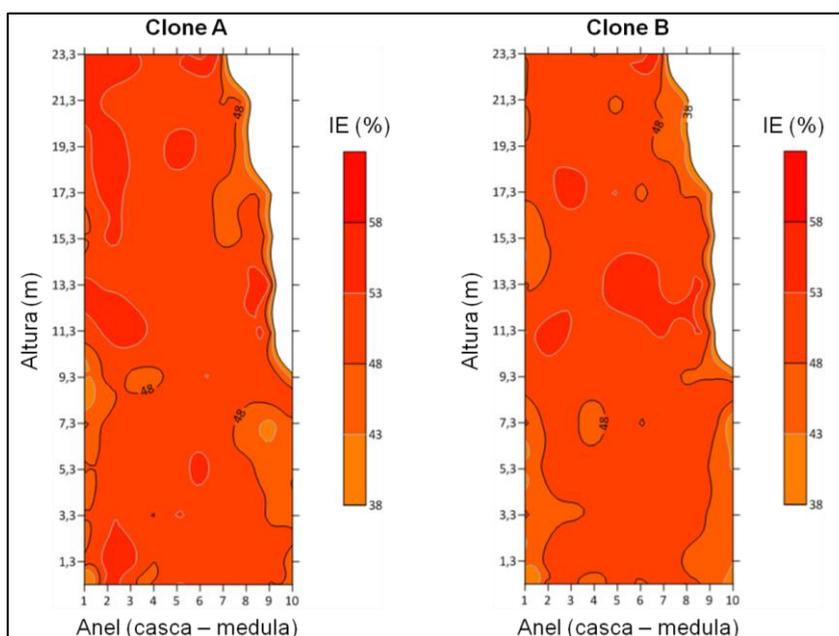
Fonte: Da Autora (2021)

5.6 Mapas de variação dos índices indicativos de qualidade das fibras dos clones A e B

As Figuras, 8, 9, 10 e 11 mostram o padrão médio de variação do índice de enfiamento, coeficiente de flexibilidade, fração parede e índice de Runkel das fibras dentro do fuste das árvores dos clones A e B, respectivamente.

A Figura 8 mostra a variação do índice de enfeitramento (IE) das fibras dos clones A e B. Nos dois clones, as fibras com maiores valores do índice de enfeitramento (acima de 48%) estão concentradas na região entre o 2º e 7º anel anual de crescimento em todas as alturas amostradas, com exceção de algumas pequenas descontinuidades que aparecem no lenho. Menores valores ocorreram nos anéis anuais de crescimento mais próximos à medula nas posições mais basais e nas porções superiores, especialmente no clone B. No clone B o 1º e 2º anel também apresentaram fibras com menores valores do índice de enfeitramento nas posições mais basais da árvore. De modo geral, o índice de enfeitramento das fibras não apresentou padrão de variação bem definido nos sentidos longitudinal ou radial em ambos os clones.

Figura 8 – Mapas de variação do índice de enfeitramento (IE) médio das fibras dos clones A e B

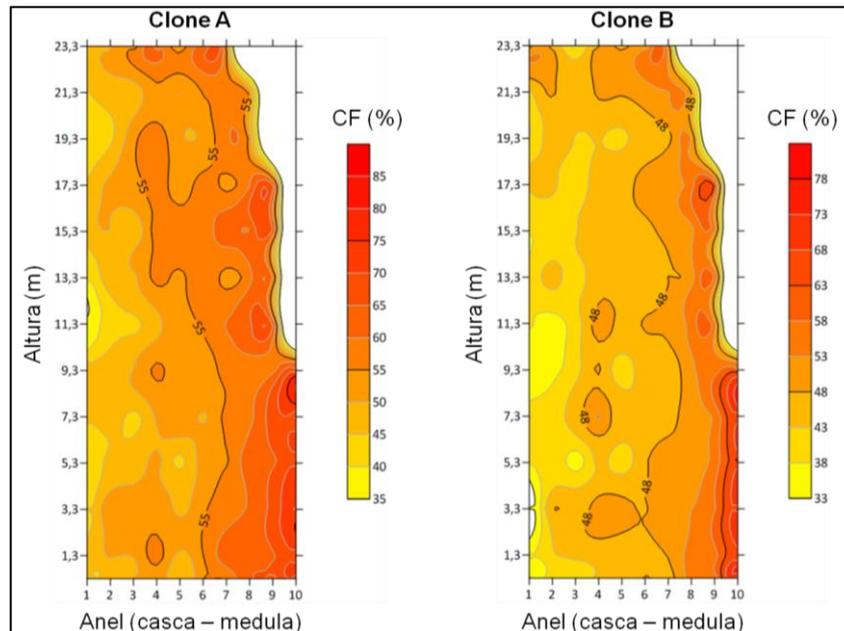


Fonte: Da Autora (2021)

A Figura 9 mostra a variação do coeficiente de flexibilidade (CF) médio das fibras do clone A e B. Nos mapas pode-se observar que as fibras com maiores coeficiente de flexibilidade estão nos anéis mais próximos à medula (9º e 10º anel) até 9,3 m de altura, nos clones A e B. A partir dessa posição longitudinal, ocorreu redução do coeficiente de flexibilidade no sentido medula-casca em ambos os clones, sendo que no clone A o coeficiente de flexibilidade das fibras é inferior a 55% do 1º ao 6º anel em todas as alturas, com exceção de algumas descontinuidades existentes no tronco, enquanto no clone B o 1º, 2º, 3º, 4º, 5º e 6º anel anual de crescimento apresentaram fibras com coeficiente de flexibilidade abaixo de 48%. Longitudinalmente não foi possível observar padrão de variação expressivo do coeficiente de

flexibilidade das fibras nos clones A e B, mas radialmente os dois clones apresentarem padrão de variação do coeficiente de flexibilidade das fibras com tendência de redução sentido medula-casca. O clone B apresentou de forma geral fibras com coeficiente de flexibilidade médio menor (47,39%) que o clone A (54,19%).

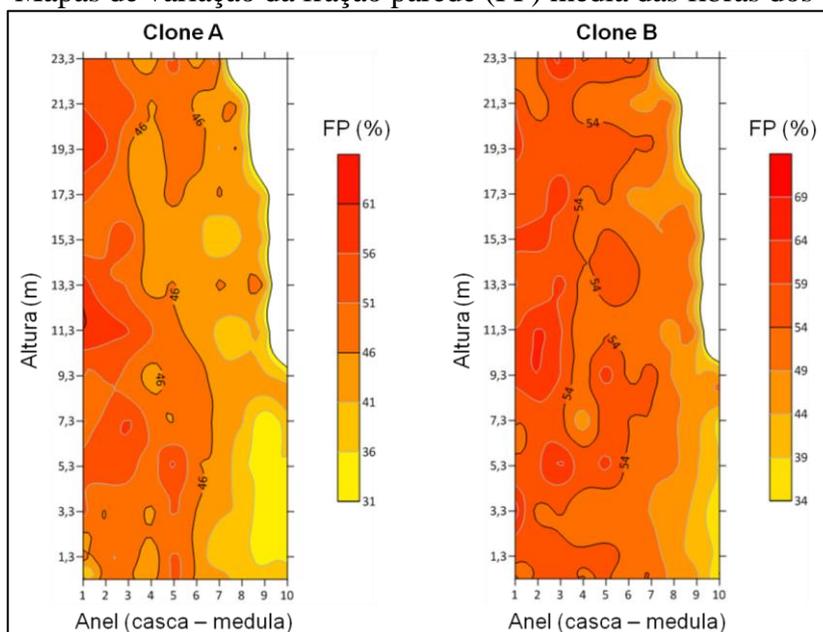
Figura 9 – Mapas de variação do coeficiente de flexibilidade (CF) médio das fibras dos clones A e B



Fonte: Da Autora (2021)

A Figura 10 mostra a variação da fração parede (FP) média das fibras dos clones A e B. Pode-se observar que a fração parede das fibras não apresentou padrão de variação no sentido longitudinal dentro dos anéis, porém radialmente pode-se perceber o aumento da fração paredes das fibras, sentido medula-casca nos dois clones. No Clone B, do 1º ao 3º anel anual de crescimento foram observados os maiores valores de fração parede das fibras (acima de 54%) em todas as posições longitudinais do tronco, enquanto no 4º, 5º e 6º anel de crescimento ocorreu descontinuidade em algumas posições longitudinais, ou seja, em determinadas posições longitudinais ocorrem fibras com fração parede abaixo de 54%. No clone A, os anéis anuais de crescimento mais próximos à casca (1º, 2º e 3º) possuem fibras com maiores valores de FP (acima de 46%) em todas as posições longitudinais do tronco, sendo que no 4º, 5º e 6º anel anual de crescimento isso ocorreu juntamente com algumas descontinuidades, principalmente nas alturas de 13,3 m a 21,3 m. Dessa forma, pode-se observar que apesar do clone B possuir de forma geral a fração parede média das fibras maior que o clone A (52,61% e 45,81%) ambos apresentam padrão de variação com tendência de aumento no sentido medula-casca.

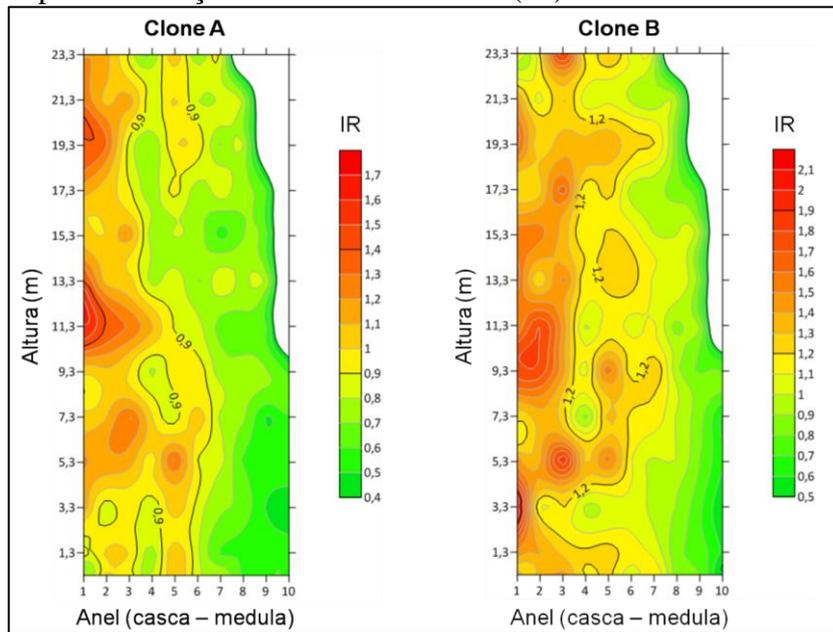
Figura 10 – Mapas de variação da fração parede (FP) média das fibras dos clones A e B



Fonte: Da Autora (2021)

Na Figura 11 encontram-se os mapas de variação do índice de Runkel (IR) dos clones A e B. No clone A o 1º, 2º e 3º anel apresentaram maiores valores de índice de Runkel nas alturas de 11,3 m e 19,3 m, aproximadamente. No clone B também no 1º, 2º e 3º anel o mesmo fato ocorreu, porém nas alturas 3,3 m, 5,3 m, 9,3 m, 11,3 m e 23,3 m. No Clone A, no 4º anel anual de crescimento as fibras apresentaram valores de IR baixo ($< 0,9$) até a altura de 3,3 m e a partir de 13,3 m até o topo. No 5º anel o mesmo ocorreu apenas entre 11,3m e 17,3 m de altura. No clone B, no 5º e 6º anel anual de crescimento os valores do índice de Runkel das fibras foram maiores que 1,2 nas posições longitudinais 5,3 m até 9,3 m, 13,3 m e de 17,3 m à 19,3 m. No 4º anel o índice de Runkel só foi maior que 1,2 na altura de 5,3 m e 19,3 m. Em ambos os clones não é possível observar um padrão de variação longitudinal do índice de Runkel, porém é possível verificar que existe variação radial do mesmo, em que a tendência é de aumento no sentido medula-casca. De forma geral o clone A apresentou fibras com menores valores médios do índice de Runkel (0,88 clone A e 1,16 clone B) e em ambos os clones os menores valores são mais frequentes nos anéis anuais de crescimento mais próximos à medula, no clone A do 6º ao 10º anel ($IR < 0,9$) e no clone B do 8º ao 10º anel ($IR < 1,2$) em todas as posições longitudinais do fuste da árvore. O índice de Runkel das fibras apresentou variação muito similar ao da fração parede das fibras.

Figura 11 – Mapas de variação do índice de Runkel (IR) médio das fibras dos clones A e B



Fonte: Da Autora (2021)

6 CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos conclui-se que:

a) Dimensão das fibras

Nos clones A e B, o comprimento das fibras não apresentou padrão de variação no sentido longitudinal, enquanto no sentido radial houve tendência de aumento sentido medula-casca, embora esse aumento tenha sido discreto devido à baixa magnitude dos valores de comprimento.

A largura das fibras não apresentou padrão de variação longitudinal e radial bem definido em ambos os clones.

O diâmetro do lume das fibras não apresentou variação longitudinal dentro dos anéis anuais de crescimento, enquanto que no sentido radial houve tendência de redução do diâmetro do lume das fibras no sentido medula-casca em ambos os clones.

A variação longitudinal da espessura da parede das fibras não apresentou padrão de variação bem definido, enquanto que radialmente as fibras tiveram aumento da espessura das paredes no sentido medula-casca.

b) Índices indicativos de qualidade

O índice de enfiamento das fibras não apresentou variação bem definida no sentido longitudinal e radial do tronco em ambos os clones.

O coeficiente de flexibilidade das fibras não apresentou padrão de variação expressivo longitudinalmente nos clones A e B. Radialmente os dois clones demonstraram padrão de variação com tendência de redução do CF sentido medula-casca.

A fração parede das fibras não apresentou padrão de variação no sentido longitudinal dentro dos anéis, porém radialmente houve aumento da espessura das paredes das fibras sentido medula casca nos dois clones. No sentido radial ocorreu o inverso do coeficiente de flexibilidade das fibras.

O índice de Runkel das fibras, em ambos os clones, não apresentou padrão de variação longitudinal, porém foi possível verificar que existe variação radial do IR das fibras com tendência de aumento no sentido medula-casca. O IR das fibras apresentou variação muito similar ao da fração parede das fibras.

c) Não foi possível estimar um modelo único que represente o padrão de variação longitudinal e ou radial das dimensões e índices indicativos de qualidade das fibras considerando os anéis anuais de crescimento.

d) Os mapas de variação longitudinal e radial de cada dimensão e índice indicativo de

qualidade obtido por anel anual de crescimento permitiram visualizar com clareza as variações dentro e ao longo do troco de cada característica, possibilitando melhor entendimento sobre a variação observada.

- e) Diante dos resultados sugere-se um estudo em plantio experimental ou teste clonal que seja monitorado anualmente em relação ao crescimento, por meio de inventário, avaliando as condições ambientais (temperatura, precipitação, umidade relativa etc.) e as intervenções silviculturais (adubações, desbastes etc.), além das características da madeira para buscar melhor entendimento das variações das características das fibras que ocorrem dentro do tronco.

REFERÊNCIAS

- APPEZZATO-DA-GLORIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. (Eds.). **Anatomia Vegetal**. 2. ed. Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa, 2006.
- BALDI, F. Il processo di produzione delle paste chimiche e il loro trattamento. In: CORSO DI TECNOLOGIA PER TECNICI CARTARI, 8., 2000, Verona. **Anais...** Verona: Scuola Grafica Cartaria, 2001.
- BALDIN, T. et al. Anatomia da madeira e potencial de produção de celulose e papel de quatro espécies jovens de *Eucalyptus* L'Hér. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 114-126, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v8n2p114-126>. Acesso em: 1 fev. 2021.
- BARRICHELLO, L. E. G.; BRITO, J. O. **A madeira das espécies de eucalipto como matéria prima para a indústria de celulose e papel**. Brasília: PNUD/FAO/IBDF/BRA, 1976.
- BOTREL, M. C. G. et al. Seleção de clones de *Eucalyptus* para biomassa florestal e qualidade da madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 237-245, 2010.
- BRIGGS, D. G. Enhancing forest value productivity through fiber quality. **Journal of Forestry**, [s. l.], v. 108, p. 174–182, 2010.
- BRISOLA, S. H.; DEMARCO, D. Análise anatômica do caule de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. grandis x urophylla*: desenvolvimento da madeira e sua importância para a indústria. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 317-330, 2011.
- BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991.
- BURKHART, H. E.; TOMÉ, M. **Modeling Forest Trees and Stands**. Berlin: Springer, 2012.
- CARVALHO, V. do C.; SILVA, M. A. C. da; OLIVEIRA, D. V. Potencialidades espeleoturísticas da área cárstica do município de Luminárias (MG, Brasil). PASOS. **Revista de Turismo y Patrimonio Cultural**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 383-390, 2007.
- CHAGAS, M. P. et al. Caracterização dos anéis de crescimento e densidade da madeira de árvores de candeia *Eremanthus erithropappus* pela densitometria de raio x. In: International Nuclear Atlantic Conference – INAC, 2005, Santos. **Anais...** Santos: ABEN, 2005.
- DAHLEN, J.; AUTY, D.; EBERHARDT, T. L. Models for Predicting Specific Gravity and Ring Width for Loblolly Pine from Intensively Managed Plantations, and Implications for Wood Utilization. **Forests**, [s. l.], v. 9, n. 6, p. 292-312. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f9060292>. Acesso em: 12 jul. 2019.
- DOWNES, G. M. et al. **Sampling plantation eucalypts for wood and fiber properties**. [s. l.]: CSIRO Publishing, 1997.
- FLORSHEIM, S. M. B. et al. Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 21,

n. 1, p. 79-91, 2009.

FOELKEL, C. E. B. Madeira do Eucalipto: Da Floresta ao Digestor. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 20, p. E.1-E.25, 1978.

GOMIDE, J. L. et al. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000100014>. Acesso em: 12 jul. 2019.

GONÇALEZ, J. C. et al. 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.

GUARIZ, H. R. et al. Variação radial da estrutura anatômica e da densidade do lenho de *Samanea saman*. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 1672-1684, 2012.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ 2020** – O setor brasileiro de árvores plantadas em 2019. Ano-base 2019. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>. Acesso em: 27 out. 2020.

IAWA, C. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Utrecht, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.

KLOCK, U. et al. **Química da madeira**. Curitiba: UFPR, v. 3, 2005.

KOLLMANN, F. F. P. et al. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer, 1975. v. 2.

LIMA, R. A. B. **Variação longitudinal e radial da densidade básica do lenho de eucalipto considerando os anéis anuais de crescimento**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/33746>. Acesso em: 27 out. 2020.

MARRA, G. G. **Technology of wood bonding: principles in practice**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

MENEGAZZO, M. L. **Características morfológicas de celuloses branqueadas de *pinus* e *eucalyptus* em analisador óptico automático de fibras**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrônomicas) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/99750>. Acesso em: 02 fev. 2021.

MIRANDA, M. C. de; CASTELO, P. A. R. Avaliações Anatômicas das Fibras da Madeira de *Parkia gigantocarpa* Ducke. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, Pelotas, v. 3, n. 2, p. 80-88, 2012.

NISGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/2224>. Acesso em: 02 fev. 2021.

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

PLOMION, C.; LEPROVOST, G.; STOKES, A. Wood formation in trees. **Plant Physiology**, [s. l.], v. 127, n. 4, p. 1513-1523, 2001.

RAMALHO, R. S. **O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1987.

RAMOS, L. M. A. et al. Radial variation of wood anatomical characters of *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden and age of transition between adult and juvenile wood. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 411-418, 2011.

RAVEN, P. H. et al. **Biologia Vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2014.

RODRIGUES, L. A. et al. Efeitos de solos e topografia sobre a distribuição de espécies arbóreas em um fragmento de floresta estacional semidecidual, em Luminárias, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 25-35, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000100004>. Acesso em: 27 out. 2020.

SAEG. **Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1**. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes - UFV, 2007.

SANTINI JUNIOR, L. et al. Análise anatômica qualitativa e quantitativa e densidade básica da madeira de *Alchornea sidifolia* Müll. Arg. (Euphorbiaceae). **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 201-214, 2010.

SCHIMLECK, L. et al. Comparison of Whole-Tree Wood Property Maps for 13- and 22-Year-Old Loblolly Pine. **Forests**, [s. l.], v. 9, n. 6, p. 287-298. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f9060287>. Acesso em: 12 jul. 2019.

SHIMOYAMA, V. R. de S. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.11.2019.tde-20191108-115416>. Acesso em: 12 jul. 2019.

SILVA, J. de C. et al. Influência de idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1081-1090, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000600013>. Acesso em: 12 jul. 2019.

TALGATTI, M. et al. Caracterização anatômica de clones comerciais de *eucalyptus* para a produção de papel. **BIOFIX Scientific Journal**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 65-70, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v5i1.67625>. Acesso em: 27 out. 2020.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação Radial da Densidade Básica e da Estrutura Anatômica da Madeira do *Eucalyptus gummifera*, *E. microcorys* e *E. pilularis*. **IPEF**, Piracicaba, n.30, p.

45-54, 1985a.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **IPEF**, Piracicaba, v. 29, p. 37-45, 1985b.

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

TOMAZELLO FILHO, M. et al. **Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais**: dendrocronologia e dendroclimatologia. São Paulo: EDUC, COMPED, INEP. p. 117-143. 2001.

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

TUNG, E. S. C. et al. Variação genética para caracteres silviculturais e anatômicos da madeira em progênies de *Myracrodruon urundeuva* (Engler) Fr. Allem. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 499-508, 2010.

VITAL, B. R.; MACIEL, A. da S.; DELLA LUCIA, R. M. Qualidade de juntas coladas com lâminas de madeira oriundas de três regiões do tronco de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 637-644, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000400017>. Acesso em: 27 out. 2020.

WASSENBERG, M. et al. Analysis of wood density profiles of tree stems: incorporating vertical variations to optimize wood sampling strategies for density and biomass estimations. **Trees**, [s. l.], v. 29, p. 551-561, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00468-014-1134-7>. Acesso em: 27 out. 2020.