



**CASSIANA ALVES FERREIRA**

**ANATOMIA COMPARADA DO XILEMA  
SECUNDÁRIO DE CLONES DE *Eucalyptus* sp.  
(Myrtaceae)**

**LAVRAS - MG  
2017**

**CASSIANA ALVES FERREIRA**

**ANATOMIA COMPARADA DO XILEMA SECUNDÁRIO  
DE CLONES DE *Eucalyptus* sp. (Myrtaceae)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica Aplicada, área de concentração em Estrutura e Funcionamento das Plantas, para a obtenção do título de Doutora.

Orientador  
Dr. Fábio Akira Mori  
Coorientadoras  
Dra. Alessandra de Oliveira Ribeiro  
Dra. Cláudia Viana Urbinati

**LAVRAS - MG  
2017**

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

Ferreira, Cassiana Alves.

Anatomia comparada do xilema secundário de clones de *Eucalyptus*  
sp. (Myrtaceae) / Cassiana Alves Ferreira. - 2017.

91 p.

Orientador(a): Fábio Akira Mori.

.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Anatomia da madeira. 2. Identificação. 3. Ângulo microfibrilar. I.  
Mori, Fábio Akira. II. Título.

**CASSIANA ALVES FERREIRA**

**ANATOMIA COMPARADA DO XILEMA SECUNDÁRIO  
DE CLONES DE *Eucalyptus* sp. (Myrtaceae)**

**COMPARATIVE ANATOMY OF SECONDARY XYLEM OF CLONES  
OF *Eucalyptus* sp. (Myrtaceae)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica Aplicada, área de concentração em Estrutura e Funcionamento das Plantas, para a obtenção do título de Doutora.

APROVADA em 16 de outubro de 2017.

Dra. Cláudia Viana Urbinati	UEPA
Dra. Marinês Ferreira Pires Lira	UFLA
Dra. Alessandra de Oliveira Ribeiro	UFLA
Dra. Graciene da Silva Mota	UFLA

Dr. Fábio Akira Mori  
Orientador  
Coorientadoras  
Dra. Alessandra de Oliveira Ribeiro  
Dra. Claudia Viana Urbinati

**LAVRAS - MG  
2017**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de todas as coisas, pelo dom da vida, pelas oportunidades e pessoas colocadas em meu caminho.

A minha família, em especial minha mãe e irmão, dedico.

Aos Tios, Tias e primos, pelo apoio e amor em todos os momentos.

Aos meus grandes amigos de sempre, Janine, Cristian, Tito, Rapha, Lucas, Mirinha, Cintia e Thaianne, que participaram e compartilharam alegrias e angústias todos esses anos de pós-graduação.

Aos amigos e colegas de trabalho, Alessandra, Carol, Maíra e Jonnys, pelos momentos de apertos e alegrias que passamos juntos. A todos os colegas do Laboratório de Ciência e Tecnologia da Madeira.

Aos amigos do programa de Botânica Aplicada, Daniel, Paulyene, Juliana, Carol e Flávio, muito obrigada.

Às grandes amigas anatomistas Cláudia, Simone e Alessandra, pelos principais ensinamentos em anatomia da madeira e contribuições para a realização deste trabalho.

Ao professor doutor Fábio Akira Mori, pela paciência e ensinamentos durante todos esses anos. Aos colegas de Laboratório de Anatomia da Madeira, pela ajuda e companheirismo.

Às empresas colaboradoras Plantar, Cenibra e Vallourec unidade Florestal.

À CAPES, pela concessão de bolsa de estudos.

À Universidade Federal de Lavras, muito obrigada.

A todos que, de forma indireta ou direta, contribuíram para a realização deste estudo.

## RESUMO GERAL

Apesar de a anatomia do xilema secundário dos vegetais ser de grande importância para a identificação de espécies madeireiras desprovidas de órgãos vegetativos, a comunidade acadêmica sempre utilizou a anatomia com cautela, uma vez que a plasticidade morfológica que os elementos celulares podem sofrer, seja em função da idade da planta ou do ambiente ao qual está submetida, pode mascarar sua identidade. No entanto, hoje, após diversos estudos, já é possível identificar algumas alterações morfológicas em função da idade da planta ou do ambiente, ficando então a pergunta: com o domínio dos conhecimentos dessas variações é possível separar os genótipos de *Eucalyptus* com base apenas em parâmetros anatômicos da madeira? Neste contexto, o presente estudo foi realizado com o objetivo de identificar parâmetros anatômicos que possam segregar os genótipos, bem como relacioná-los ao ambiente que habitam, verificando, ainda, a variação radial da estrutura anatômica. O material utilizado para o presente estudo foi coletado em três municípios do estado de Minas Gerais e as análises anatômicas seguiram as recomendadas pelo comitê IAWA para anatomia da madeira; para análise do ângulo microfibrilar a metodologia adotada foi a luz polarizada e, para mensurar o ângulo da placa de perfuração, utilizou-se o método de elementos de vaso individualizados. Os parâmetros anatômicos que segregaram os genótipos de *Eucalyptus* foram tipo de parênquima axial, camadas de crescimento, presença de tilose e conteúdos nas células radiais. Foram estabelecidas no presente estudo relações entre a biometria das fibras e o ângulo microfibrilar, bem como entre os parâmetros dos elementos traqueais e a inclinação da placa de perfuração, em função do genótipo.

**Palavras-chave:** Anatomia da madeira. Identificação. Ângulo microfibrilar. Inclinação da placa de perfuração dos elementos de vaso.

## GENERAL ABSTRACT

Although the anatomy of the secondary xylem of the plants is of great importance for the identification of wood species devoid of vegetative organs, the academic community has always used the anatomy with careful, since the morphological plasticity that the cellular elements may suffer, is due to age the plant or the environment to which it is subjected, can mask its identity. However, today after several studies it is already possible to identify some morphological alterations as a function of the age of the plant or environment, and the question arises: with the knowledge of these variations it is possible to separate *Eucalyptus* genotypes based only on parameters of wood anatomy? In this context, the present study aims to identify anatomical parameters that can segregate the genotypes, as well as relate them to the environment in which they inhabit, in order to verify the influence of the environment under these parameters. The material used for the present study was collected in three cities of the state of Minas Gerais and the anatomical analyzes followed those recommended by the IAWA committee for wood anatomy, for microfibrillary angle analysis the methodology adopted was polarized light and to measure the angle of the perforate plate was used the method of individualized vessel elements. The anatomical parameters that segregated the *Eucalyptus* genotypes were the types of axial parenchyma, growth layers, presence of tannin and contents in the radial cells. The relationships between fiber biometry and the microfibrillary angle were established in the present study, as well as the relationships between the parameters of the tracheal elements and the inclination of perforate plate, according to the genotype.

**Keywords:** Wood anatomy. Angle of the microfibril. Inclination of perforate plate.

## SUMÁRIO

	<b>CAPÍTULO 1</b> Introdução geral .....	9
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	11
<b>2.1</b>	<b>Madeira de <i>Eucalyptus</i> L'Héritier (Myrtaceae) para fins industriais</b> .....	11
<b>2.2</b>	<b>Anatomia da madeira de <i>Eucalyptus</i> L'Héritier (Myrtaceae)</b> .....	13
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	15
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	16
	<b>CAPÍTULO 2</b> Anatomia comparada da madeira de seis genótipos comerciais de <i>Eucalyptus</i> L'Héritier (Myrtaceae).....	18
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	19
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	21
<b>2.1</b>	<b>Área de coleta e identificação do material</b> .....	21
<b>2.2</b>	<b>Amostragem do material</b> .....	23
<b>2.3</b>	<b>Análises anatômicas</b> .....	23
<b>2.4</b>	<b>Descrição anatômica e análises de dados</b> .....	24
<b>3</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	26
<b>3.1</b>	<b>Anatomia comparada de seis genótipos de <i>Eucalyptus</i> L'Héritier (Myrtaceae)</b> .....	26
<b>3.2</b>	<b>Interação entre os genótipos e as posições radiais</b> .....	34
<b>3.3</b>	<b>Análise de componentes principais</b> .....	36
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	38
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	41
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	42
	<b>CAPÍTULO 3</b> Biometria das fibras e ângulo microfibrilar em genótipos de <i>Eucalyptus</i> L'Héritier.....	45
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	46
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	48
<b>2.1</b>	<b>Área de coleta e identificação do material</b> .....	48
<b>2.2</b>	<b>Amostragem do material</b> .....	48
<b>2.3</b>	<b>Biometria das fibras</b> .....	49
<b>2.4</b>	<b>Ângulo microfibrilar</b> .....	49
<b>2.5</b>	<b>Análises de dados</b> .....	51
<b>3</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	53
<b>3.1</b>	<b>Biometria das fibras e ângulo microfibrilar</b> .....	53
<b>3.2</b>	<b>Análise de correlação do ângulo microfibrilar com as dimensões das fibras</b> .....	56
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	57
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	60



	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>61</b>
	<b>CAPÍTULO 4 Características morfoanatômicas dos elementos traqueais de clones de <i>Eucalyptus</i> L'Héritier .....</b>	<b>64</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>66</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>68</b>
<b>2.1</b>	<b>Área de coleta e identificação do material .....</b>	<b>68</b>
<b>2.2</b>	<b>Amostragem do material .....</b>	<b>68</b>
<b>2.3</b>	<b>Lâminas histológicas .....</b>	<b>69</b>
<b>2.4</b>	<b>Ângulo da placa de perfuração .....</b>	<b>69</b>
<b>2.5</b>	<b>Análises de dados.....</b>	<b>71</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>72</b>
<b>3.1</b>	<b>Descrição morfológica dos elementos de vasos .....</b>	<b>72</b>
<b>3.2</b>	<b>Variação do ângulo da placa de perfuração entre os genótipos .....</b>	<b>77</b>
<b>3.3</b>	<b>Variação radial da placa de perfuração entre os genótipos.....</b>	<b>78</b>
<b>3.4</b>	<b>Ângulo da placa de perfuração x diâmetro dos elementos de vaso...</b>	<b>80</b>
<b>3.5</b>	<b>Ângulo da placa de perfuração x comprimento dos elementos de vasos.....</b>	<b>81</b>
<b>3.6</b>	<b>Ângulo da placa de perfuração x frequência dos elementos de vasos.....</b>	<b>81</b>
<b>3.7</b>	<b>Ângulo da placa de perfuração x diâmetro das pontoações .....</b>	<b>82</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>83</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>88</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>89</b>

## CAPÍTULO 1 Introdução geral

### 1 INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* L'Héritier (Myrtaceae) é intensamente cultivado no Brasil para diversos fins industriais, como madeira serrada, biorretudor, produção de celulose e papel, painéis de madeira reconstituída, etc. Ele tem, ainda, papel fundamental na manutenção da temperatura na Terra, por meio das florestas renováveis (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBA, 2017).

Tamanha diversidade de usos tecnológicos fez com que o gênero fosse um dos mais estudados no país. Seu rápido ritmo de crescimento e incremento médio anual, além da adaptabilidade às diferentes condições de clima e solo, são, de fato, os grandes responsáveis pelo bom desenvolvimento dos plantios comerciais, principalmente em Minas Gerais, encontrando-se distribuída em todo o estado, que é o maior produtor do Brasil (IBA, 2017).

Além das vantagens citadas, Lobão et al. (2004) mencionam que a diversidade de espécies do gênero, mais de 700 distribuídas em oito subgêneros, atende aos requisitos tecnológicos dos mais diversos segmentos da indústria madeireira.

Grande parte do sucesso do gênero em terras brasileiras se deve à associação de características intrínsecas às espécies, às boas condições ambientais de desenvolvimento, relacionadas especialmente ao solo e à disponibilidade de recursos hídricos, bem como aos avanços, em termos de melhoramentos genéticos, associados a técnicas avançadas de silvicultura e manejo nos plantios florestais.

A madeira de *Eucalyptus* é caracterizada pela sua durabilidade e também pela sua alta densidade, o que a torna resistente a impactos, além de apresentar excelentes propriedades mecânicas. É, ainda, uma madeira de tonalidade que

varia em tons claros a escuros, o que a torna bonita, podendo ser utilizada na indústria moveleira. Tomazello Filho (1985) ressalta que as variações na qualidade da madeira ocorrem na sua estrutura anatômica, nas composições químicas e nas suas propriedades físicas, podendo ser detectadas significativas diferenças inter e intraespecíficas. Assis (1999) ressalta que espécies contidas no gênero são matérias-primas utilizadas para atender às necessidades dos mais diversos segmentos da produção industrial madeireira, com destaque para a indústria de papel, celulose e energia. Dessa forma, variações nas espécies destinadas a fins específicos, como produção de papel e celulose, bem como a produção de biorredutor, podem ocasionar consequências negativas na qualidade dos carvões nos altos-fornos, bem como na qualidade do papel final.

Embora as espécies pertencentes ao gênero já tenham sido descritas em décadas passadas, estudos acerca das características tecnológicas em novas seleções clonais ainda são escassos. Sendo assim, o presente estudo torna-se necessário, a fim de buscar novas informações e responder a questões ambientais e tecnológicas sobre os novos genótipos de *Eucalyptus*.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Madeira de *Eucalyptus* L'Héritier (Myrtaceae) para fins industriais

No Brasil, cerca de 7,84 milhões de hectares de árvores plantadas em 2016, 34% pertencem às empresas do segmento de celulose e papel. Em segundo lugar, com 29%, encontram-se proprietários independentes e pequenos e médios produtores do programa de fomento florestal, que investem em plantios florestais para a comercialização da madeira *in natura*. Na terceira posição está o segmento de siderurgia a carvão vegetal, que representa 14% da área plantada (IBA, 2017).

Em 2016, a produção brasileira de celulose, considerando-se o processo químico de fibra curta (*Eucalyptus*), traqueídeos longos (*Pinus*) e a pasta de alto rendimento, foi de 18,8 milhões de toneladas, montante 8,1% superior ao de 2015. O volume exportado atingiu 12,9 milhões de toneladas, representando um incremento de 11,9% em relação ao ano anterior. Considerando a importação de 360 mil toneladas, o volume consumido no mercado interno atingiu 6,3 toneladas, ficando praticamente estável, em comparação com o ano 2015 (IBA, 2017).

É conhecido que as fibras de eucalipto apresentam características peculiares que contribuem, de forma favorável, para a qualidade de determinados tipos de papéis, tais como os de imprimir e escrever, e *tissue*. Enquanto a produção de *tissue* e de papel de imprimir e escrever aumentou, respectivamente, 2,9% e 0,6%, os volumes de produção de papéis especiais, papel cartão, embalagens e papel imprensa apresentaram um aumento, respectivamente, 1,8%, 3,6%, 0,6% e 2,0%. Mesmo assim, em 2016, o Brasil subiu uma posição e ocupou o oitavo lugar no ranking dos maiores produtores de papel (IBA, 2017).

Para a produção de painéis de madeira e pisos laminados, o país registrou redução de 2,4% em relação ao ano 2016 e encerrou o ano com 7,3 milhões de m<sup>3</sup> produzidos. A produção de MDF/HDF e de HB<sup>2</sup> diminuiu 8,8% e 8,9%, respectivamente, enquanto a produção de MDP aumentou 8,9% (IBA, 2017).

O mesmo aconteceu na siderurgia, registrando que um dos principais insumos da indústria siderúrgica nacional, o consumo de carvão vegetal, registrou queda de 2,2% em relação a 2015 e encerrou o ano com 4,5 milhões de toneladas, no Brasil. A madeira oriunda de árvores plantadas foi a matéria-prima utilizada em 84% do total de carvão consumido no país em 2016. O leve crescimento de dois pontos percentuais permitiu a manutenção das mesmas em 3,8 milhões de toneladas de origem renovável registradas em 2015, das quais 2,0 milhões de toneladas foram consumidos pelas empresas associadas (IBA, 2017).

No país, existem mais de 120 indústrias que utilizam carvão vegetal no processo de produção de ferro gusa, de ferro liga e de aço. Em 2016, estima-se que essas indústrias permaneceram operando com uma taxa de utilização de 50%. Além disso, vários produtores de ferro-gusa e de ferro liga à base de carvão vegetal encerraram suas atividades no ano 2016 (IBA, 2017).

Trugilho, Lima e Mendes (1996) ressaltam que a qualidade da madeira está relacionada com a sua utilização. Para a indústria de papel e celulose, por exemplo, a madeira de boa qualidade tem maior quantidade de celulose, fibras mais longas, ligninas pouco ramificadas, pouca quantidade de extrativos, etc. Para Barrichelo, Brito e Migliorini (1983), dentre os principais fatores para a obtenção de polpa celulósica, o kraft, a qualidade do produto final (papel) é altamente dependente das características da matéria-prima e, para tal, destacam-se as madeiras de *Eucalyptus*.

## 2.2 Anatomia da madeira de *Eucalyptus* L'Héritier (Myrtaceae)

Sabe-se que as propriedades tecnológicas da madeira são dependentes de sua estrutura anatômica, da densidade básica, da porcentagem de madeira adulta e juvenil, da largura dos anéis de crescimento, do ângulo microfibrilar, da inclinação da grã, da quantidade de extrativos e da umidade, dentre outros fatores (EVANS; SENFT; GREEN, 2000).

Estudos diversos acerca do conhecimento anatômico do xilema secundário do gênero *Eucalyptus*, bem como seus híbridos e clones, têm sido realizados no mundo inteiro, sendo cruciais para o estabelecimento de relações com as propriedades tecnológicas (QUEIROZ et al., 2004).

Segundo Shimoyama (1990), para se caracterizar de maneira tecnológica a madeira de espécies de *Eucalyptus* para os mais diversos fins, é necessário analisá-la anatomicamente, visando caracterizar a sua estrutura e determinar o tamanho das células, bem como as diversas variações estruturais entre as espécies.

De maneira geral, a madeira do gênero *Eucalyptus* apresenta porosidade difusa, camadas de crescimento distintas, presença de parênquima axial paratraqueal escasso, vasos predominantemente solitários, podendo ocorrer múltiplos variados, fibras libriformes, presença de fibrotraqueídeos e raios predominantemente unisseriados que podem ser múltiplos (EVANGELISTA et al., 2010; FERREIRA, 2012; LOPES, 2013).

Lopes (2013), trabalhando com a madeira de diferentes genótipos dos híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, *E. urophylla* x *E. camaldulensis* e *E. urophylla*, encontrou diferenças entre os genótipos quanto a camadas de crescimento delimitadas e ao tipo parênquima axial. Já Brisola e Demarco (2011) observaram que a madeira de *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. grandis* x *E. urophylla* apresenta parênquima axial com menos células e suas fibras são mais

curtas e com parede mais espessas, o que faz com que esse genótipo apresente maior densidade, quando comparado às duas espécies parentais, além de rápido crescimento e maior quantidade de secreções de defesa. Ferreira (2012), trabalhando com anatomia de clones de *Eucalyptus* e espécies nativas do cerrado mineiro, encontrou diferenças significativas nas relações com as propriedades físicas, como contração e inchamento, e densidade, ressaltando a presença de colapso na estrutura da madeira.

Evangelista et al. (2010) encontraram tendência de aumento das dimensões da fibra e diminuição da frequência dos elementos de vaso no sentido medula a casca, para *E. camaldulensis* e *E. urophylla*. Já Ramos et al. (2011) ressaltam que é possível verificar a variação radial nas dimensões da madeira de *Eucalyptus*, sendo que as dimensões das fibras (comprimento, diâmetro e espessura da parede) e, ainda, das dimensões dos elementos traqueais como comprimento, diâmetro e frequência dos elementos de vasos sofrem alterações no sentido medula a casca. Sartori (2016), trabalhando com a caracterização química e anatômica da casca de genótipos de *E. urophylla* x *E. grandis* e *E. urophylla*, encontrou a presença de baixos valores de taninos condensáveis e a presença de fibroesclereídeos.

Portanto, o estudo do xilema secundário das espécies pertencentes ao gênero é crucial não só para a identificação da sua estrutura, mas também para a predileção de usos tecnológicos. Em sua maioria, os estudos visam à descrição e à identificação da estrutura anatômica, associadas a usos tecnológicos (ALVES et al., 2011; CALONEGO; SEVERO; ASSIS, 2005; EVANGELISTA et al., 2010; FERREIRA, 2012; FERREIRA et al., 2006; LOPES, 2013).

### **3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A relação da anatomia da madeira de genótipos de *Eucalyptus* com as propriedades tecnológicas foi, por diversas vezes, estudada em genótipos mais antigos. Entretanto, essa é uma tecnologia em movimento, havendo a necessidade do conhecimento da estrutura anatômica das novas seleções dos genótipos, bem como de suas relações ecológicas, e observações estruturais e de segregação dos genótipos, além do estabelecimento das relações com as propriedades tecnológicas.



## REFERÊNCIAS

- ALVES, I. C. N. et al. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose Kraft. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 167-174, 2011.
- ASSIS, T. F. Aspecto do melhoramento de *Eucalyptus* para obtenção de produtos sólidos de madeira. In: WORKSHOP TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE *EUCALYPTUS*, 1999, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Ed. DEF/SIF/UFV/IEF, 1999. p. 61-72.
- BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O.; MIGLIORINI, A. J. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* sp. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1983, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 1983. p. 726-731.
- BRISOLA, S. H.; DEMARCO, D. Análise anatômica do caule de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. urophylla* x *E. grandis*: desenvolvimento da madeira e sua importância para indústria. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 317-330, 2011.
- CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D.; ASSIS, P. P. Mensuração do comprimento das fibras para a determinação da madeira juvenil em *Eucalyptus citriodora*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p. 113-121, 2005.
- EVANGELISTA, W. V. et al. Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 273-284, 2010.
- EVANS, J. L. W.; SENFT, J. F.; GREEN, D. W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Products Journal**, Madison, v. 50, n. 7/8, p. 75-87, 2000.
- FERREIRA, C. A. **Caracterização anatômica, secagem e carbonização da madeira de clones de *Eucalyptus* e espécies do Cerrado**. 2012. 94 p. Dissertação (Mestrado em Processamento e Utilização da Madeira)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

FERREIRA, C. R. et al. Avaliação tecnológica de clones de Eucalipto: parte 1, qualidade da madeira para produção de celulose Kraft. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 70, p. 161-170, 2006.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório anual**: ano base 2016. Brasília, DF, 2017. 80 p.

LOBÃO, M. S. et al. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 889-894, 2004.

LOPES, O. P. **Anatomia e identificação da madeira de genótipos de *Eucalyptus* spp. plantados no Estado de Minas Gerais**. 2013. 93 p. Dissertação (Mestrado em Processamento e Utilização da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

QUEIROZ, S. C. S. et al. Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa Kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 901-909, 2004.

RAMOS, L. M. A. et al. Variação radial dos caracteres anatômicos da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e a idade de transição entre o lenho juvenil e adulto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 411-418, 2011.

SARTORI, C. J. **Estudos químicos e anatômicos da casca de clones de *Eucalyptus***. 2016. 132 p. Tese (Doutorado em Processamento e Utilização da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

SHIMOYAMA, V. R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp.** 1990. 93 p. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1990.

TOMAZELLO FILHO, M. Estrutura anatômica da madeira de oito espécies de eucalipto cultivadas no Brasil. **IPEF**, Piracicaba, n. 29, p. 25-36, 1985.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 1-15, 1996.

## **CAPÍTULO 2 Anatomia comparada da madeira de seis genótipos comerciais de *Eucalyptus* L'Héritier (Myrtaceae)**

### **RESUMO**

O gênero *Eucalyptus* pertence à família botânica Myrtaceae e é endêmico da Austrália, tendo sido introduzido no Brasil no início do século XX. Estudos sobre melhoramento genético das espécies estão a todo tempo em foco, a fim de conhecer as propriedades específicas de cada espécie/híbrido e genótipo. O presente estudo foi realizado com o objetivo de diferenciar seis genótipos de *Eucalyptus* por meio de sua estrutura xilemática. Para tal, foram utilizadas as normas recomendadas para estudos em anatomia da madeira, com o auxílio da análise de variância e análise de componentes principais para determinar as diferenças significativas. Os resultados qualitativos demonstraram que os genótipos puderam ser diferenciados pelo tipo de parênquima axial e camadas de crescimento. Já nos resultados quantitativos, os genótipos foram separados pelo comprimento de fibras e pelo comprimento e diâmetro dos elementos de vaso.

**Palavras chave:** *Eucalyptus*. Anatomia da madeira. Genótipos.

### **ABSTRACT**

The genus *Eucalyptus* belonging to the botanical family Myrtaceae, is endemic to Australia, being introduced in Brazil at the beginning of the XX century. Studies on genetic improvement of the species are always in focus in order to know the specific properties of each species/hybrids and genotypes. The present study aimed to differentiate six genotypes of *Eucalyptus* through its xylem structure. For this, the recommend norms for studies on wood anatomy were used, with the aid of analysis of variance and analysis of the main components to determine the significant differentiated by the type of axial parenchyma and growth layers. Regarding the quantitative, the genotypes were separated by the length of fibers and length and diameter of the vessels elements.

**Keywords:** *Eucalyptus*. Wood anatomy. Genotype.

## 1 INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* L'Héritier foi introduzido no Brasil no início do século XX e, desde então, vem atraindo o interesse dos estudiosos e produtores de madeiras para utilização em diversos fins, devido às suas propriedades tecnológicas e ao seu rápido ciclo de corte. Pertencente à família botânica Myrtaceae e originário da Austrália, o gênero abrange cerca de 700 espécies adaptadas às mais diversas condições de clima e de solo (MONTAGU; KEARNEY; SMITH, 2003).

Dentre as espécies pertencentes ao gênero destacam-se *Eucalyptus grandis* W. Hill x Maiden, *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e seus híbridos e clones, que são amplamente cultivados no Brasil para diversos fins. Entretanto, *E. urophylla* apresenta maior destaque, pois, além de ter boa produtividade e potencialidade para diversas regiões do Brasil, apresenta, ainda, uma característica vantajosa, que é a tolerância ao ataque do câncero (*Cryphonectria cubensis* (Bruner) Hodges), encontrado comumente em climas tropicais (MORI; KAGEYAMA; FERREIRA, 1988).

Com uma área de 7,84 milhões de hectares em 2016, um crescimento de 0,5% em relação a 2015, o setor brasileiro de árvores plantadas é responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais e 6,2% do PIB industrial brasileiro e, também, é um dos segmentos que mais contribuem para a construção da economia verde. Os plantios de *Eucalyptus* ocupam cerca de 5,7 milhões de hectares e estão localizados, principalmente, em Minas Gerais (24%), em São Paulo (17%) e no Mato Grosso do Sul (15%) (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBA, 2016).

Parte do sucesso do gênero *Eucalyptus* no Brasil se deve à estrutura anatômica do xilema secundário e suas adaptações, sendo, por diversas vezes, estudadas para efeitos tecnológicos (ALVES et al., 2011; CALONEGO;

SEVERO; ASSIS, 2005; EVANGELISTA et al., 2010; FERREIRA, 2012; FERREIRA et al., 2006; LOPES, 2013). No entanto, questões específicas relacionadas à anatomia do gênero e como ele se comporta na absorção de água e nutrientes do solo e quais são as plasticidades xilemáticas diretamente relacionadas ao sucesso no plantio ainda permanecem pouco estudadas.

Portanto, o conhecimento da estrutura xilemática, bem como de suas relações com as propriedades tecnológicas, se faz necessário. Estudos recentes relacionados à estrutura anatômica do xilema, bem como estudos químicos e anatômicos da casca dos genótipos do presente estudo, foram realizados por Lopes (2013) e Sartori (2016), respectivamente.

Sendo assim, o objetivo, com a realização do presente estudo, foi caracterizar a estrutura xilemática de seis genótipos de *Eucalyptus* plantados no estado de Minas Gerais, verificando os parâmetros anatômicos que possam segregá-los e observando a variação radial dentro dos indivíduos e entre os genótipos.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de coleta e identificação do material

No presente estudo utilizaram-se madeiras comerciais provenientes de plantios florestais localizados no estado de Minas Gerais. Para a identificação dos três sítios de coleta, eles foram denominados de **A**, **B** e **C**. Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados dados gerais sobre os genótipos utilizados e os locais de coleta.

Na Figura 1 observa-se a localização dos sítios de coleta em Minas Gerais. O sítio **A** está localizado no município de Belo Oriente, mesorregião do Rio Doce, microrregião de Ipatinga, nas coordenadas geográficas 19° 13'04'' de latitude sul e 42° 27'26'' de longitude oeste. Dois clones/híbridos foram coletados neste sítio, *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, destinados à produção de papel e celulose. O sítio **B** está localizado no município de Curvelo, localizado na mesorregião central do estado, microrregião de Curvelo, nas coordenadas geográficas 18° 44'57'' de latitude sul e 44° 26'32'' de longitude oeste. Dois genótipos de *Eucalyptus urophylla* foram coletados neste sítio, também destinados à produção de papel e celulose. O sítio **C** localiza-se no município de Paraopeba, na mesorregião metropolitana de Belo Horizonte e microrregião de Sete Lagoas, nas coordenadas geográficas 19°16'54'' de latitude sul e 44°24'32 de longitude oeste. Foram dois os genótipos coletados neste sítio, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis*, destinados à produção de carvão vegetal.

Tabela 1 - Identificação dos genótipos.

<b>Genótipos</b>		<b>Sítios</b>
<b>1</b>	<i>Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis</i>	<b>A</b>
<b>2</b>	<i>Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis</i>	<b>A</b>
<b>3</b>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	<b>B</b>
<b>4</b>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	<b>B</b>
<b>5</b>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	<b>C</b>
<b>6</b>	<i>Eucalyptus urophylla x Eucalyptus camaldulensis</i>	<b>C</b>

Fonte: Da autora (2017).

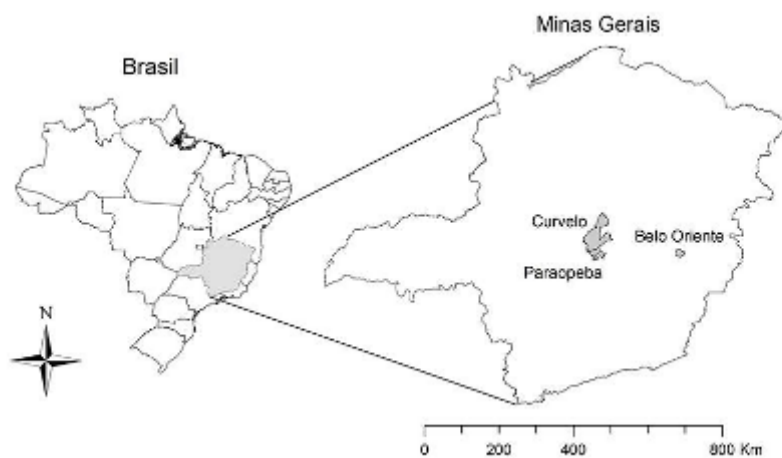
Tabela 2 - Características das áreas de coleta.

<b>Genótipos</b>	<b>Região</b>	<b>Idade</b>	<b>Precipitação anual</b>	<b>Clima</b>	<b>T°C média</b>
<b>1</b>	Belo Oriente	6,33	1165 mm	Aw	23,7
<b>2</b>	Belo Oriente	6,41	1165 mm	Aw	23,7
<b>3</b>	Curvelo	7,17	1221 mm	Aw	21
<b>4</b>	Curvelo	6,8	1221 mm	Aw	21
<b>5</b>	Paraopeba	7	1244 mm	Aw	21,8
<b>6</b>	Paraopeba	7	1244 mm	Aw	21,8

Classificação Koppen: Aw é tropical úmido.

Fonte: Da autora (2017).

Figura 1 - Localização dos sítios de coleta dos materiais de estudo.



Fonte: Da autora (2017).

## 2.2 Amostragem do material

Para as análises microscópicas foram utilizados três indivíduos de cada genótipo, obtendo-se sua variação radial, subdivididos em externo, intermediário e interno. Os corpos de prova destinados a análises anatômicas foram obtidos a partir de discos de 5 cm de espessura, aproximadamente, retirados a 1,30 m de altura, a partir do solo (DAP). As dimensões estipuladas foram de, aproximadamente, 1,5 x 1,5 x 1,5 cm, nos planos transversal e longitudinal radial e tangencial.

## 2.3 Análises anatômicas

Para a obtenção do material macerado, foram coletadas, a partir dos corpos de prova, pequenas amostras longitudinais de madeira retiradas com o auxílio de estilete, as quais foram armazenadas em frascos de vidro com a solução ácida, seguindo o método descrito por Franklin (1945). Posteriormente, foram levadas à estufa, a 60 °C, por 24 horas. Em seguida, o material dissociado foi lavado em água corrente e corado com safranina hidroalcóolica. Para observação dos elementos celulares dissociados, foram confeccionadas lâminas temporárias, misturando-se uma pequena quantidade de macerado em gotas de glicerina entre lâmina e lamínula.

Os corpos de prova foram submetidos à saturação em água e os cortes histológicos foram obtidos com o auxílio de um micrótomo de deslize, com espessura de 16 a 20 µm. Primeiramente, os cortes foram clarificados com uma solução de hipoclorito de sódio comercial (20%); em seguida, foram imersos na seguinte série alcoólica: álcool 20%, colorados com safranina hidroalcóolica; álcool 50%; álcool 70%; álcool 80%; álcool-acetato 3:1, 1:1 e 1:3, e, por fim,



acetato. Após a coloração e a desidratação, os cortes foram montados em lâmina e lamínula em Entellan®.

#### **2.4 Descrição anatômica e análises de dados**

As análises qualitativas e quantitativas foram realizadas seguindo as normas para anatomia da madeira do *Committee* IAWA (INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS - IAWA, 1989).

Os dados quantitativos foram coletados com o auxílio de microscópio óptico Olympus acoplado ao computador, utilizando o *software* Wincell®. Posteriormente, foram tabulados em *software* Excel®, para a determinação de valores médio, máximo e mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do *software* estatístico SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2014), em que foram realizados as análises de variância e o teste de interação entre as características estudadas e as posições radiais. Na avaliação do experimento considerou-se delineamento inteiramente casualizado, em subparcelas, com seis genótipos com três indivíduos cada, e esses indivíduos subdivididos em três posições radiais (externo, intermediário e interno). Para a análise de variância foi realizado o teste de Scott Knott, a 5% de significância. Foi realizado o Teste de Bartlett, a 5%, para verificar a homogeneidade de variâncias e também o teste Shapiro-Wilk, a 5%, para verificar a normalidade dos resíduos.

Adotou-se a análise dos componentes principais para verificar a formação de grupos distintos entre os genótipos, com o auxílio do *software* PC-ORD 6 (MCCUNE; MEFFORD, 2011). A análise dos componentes principais foi utilizada para ordenar as espécies e os caracteres anatômicos quantitativos, além de evidenciar fatores de maior variância (LUDWIG; REYNOLDS, 1988). Na análise de componentes principais foram utilizados os seguintes parâmetros

anatômicos: frequência dos elementos de vaso por  $\text{mm}^2$ , comprimento e diâmetro dos elementos de vaso ( $\mu\text{m}$ ), diâmetro das pontoações ( $\mu\text{m}$ ), frequência de raios por mm linear, altura e largura dos raios em número de células, comprimento e espessura da parede das fibras ( $\mu\text{m}$ ).

### 3 RESULTADOS

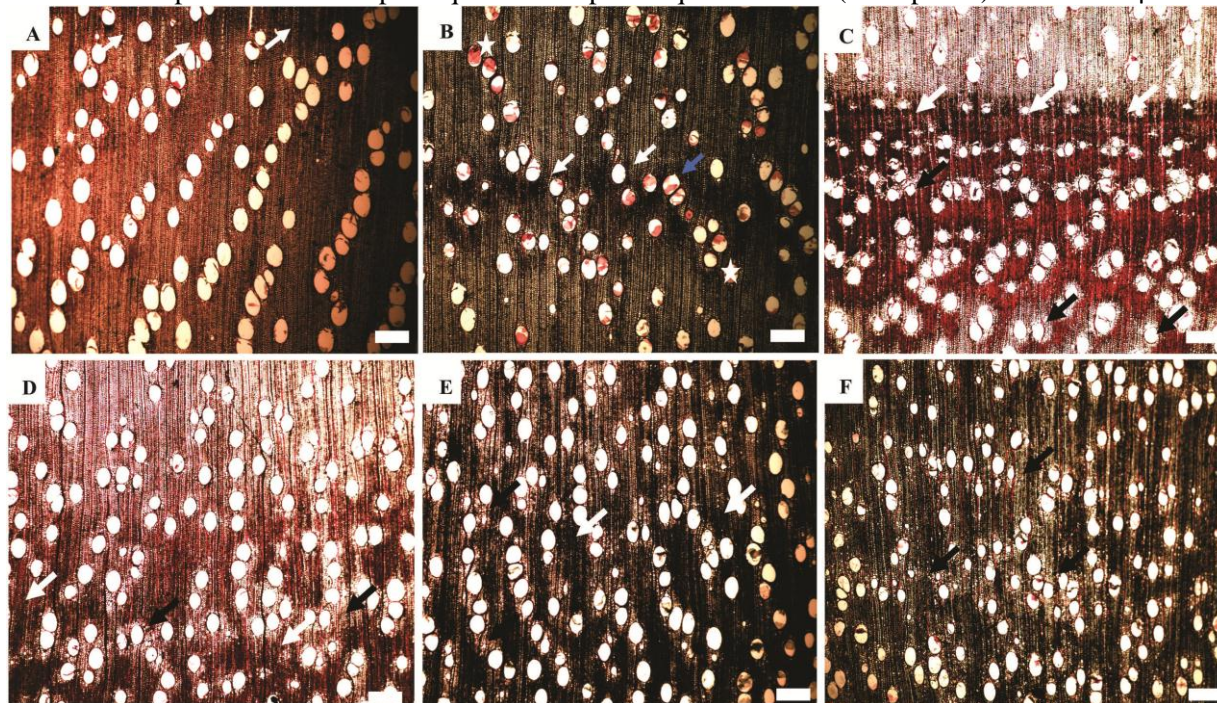
#### 3.1 Anatomia comparada de seis genótipos de *Eucalyptus* L'Héritier (Myrtaceae)

A caracterização anatômica qualitativa comparada dos genótipos demonstrou que houve grande similaridade entre eles, principalmente pela presença de elementos de vaso predominantemente solitários, podendo ocorrer múltiplos de dois ou mais, com contorno circular, placas de perfuração simples, presença de apêndice nos elementos de vaso em uma das extremidades, podendo ser encontradas, nas duas, pontoações intervasculares alternas diminutas (Figura 5A e B). As fibras são predominantemente libriiformes, com ocorrência de fibrotraqueídeos (Figura 5C e 5D), raios unisseriados, podendo ocorrer multisseriados, corpo dos raios constituídos por células procumbentes e extremidades por células quadradas. Apresenta linhas vasculares retilíneas com acentuada inclinação das placas de perfuração (Figura 4) e presença de parênquima axial paratraqueal escasso.

Entretanto, algumas diferenças qualitativas puderam segregar os genótipos, como as camadas de crescimento distintas para a maioria dos genótipos, com exceção dos genótipos cinco e seis (Figura 2E e 2F). As camadas de crescimento são delimitadas por zonas fibrosas, para a maioria dos genótipos (Figura 2A, 2B e 2D), havendo a formação de um anel semiporoso nos indivíduos do genótipo três de *E. urophylla*, com a presença de elementos de vaso com menores diâmetros no lenho tardio e maiores no lenho inicial (Figura 2C). Apresenta elementos de vasos obstruídos por tilos no genótipo dois (Figura 2B) e parênquima axial predominantemente paratraqueal escasso, podendo ocorrer aliforme losangular no genótipo três (Figura 2C) e aliforme (2D). Conteúdos celulares foram observados nos indivíduos do genótipo seis,

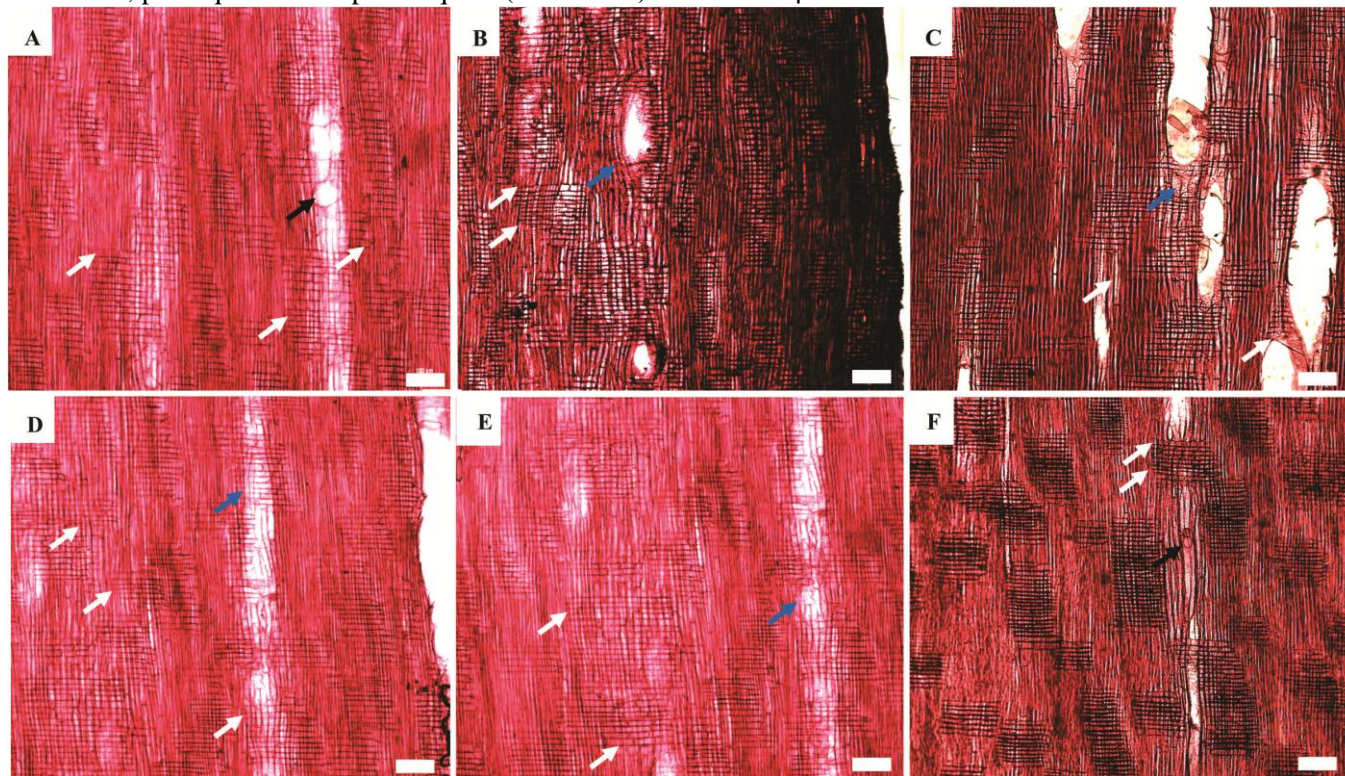
localizados nas células radiais (Figura 3F e 4F), bem como elementos de vaso obstruídos por tilos nos genótipos um (Figura 3B).

Figura 2 - Plano transversal: em A e B, genótipos de *E. urophylla* x *E. grandis*, camadas de crescimento delimitadas por zonas fibrosas (setas brancas) e elementos de vaso obstruídos por tilos (B, seta azul). Em C e D, genótipos de *E. urophylla*, camadas de crescimento em anel semiporoso (C, setas brancas) e delimitadas por zonas fibrosas (D, seta brancas); parênquima axial paratraqueal aliforme com extensão losangular (C, setas pretas) e paratraqueal aliforme (D, setas pretas). Em E (*E. urophylla*) e F (*E. urophylla* x *E. camaldulensis*), camadas de crescimento pouco distintas e parênquima axial paratraqueal escasso (setas pretas). Barra: 500  $\mu$ m.



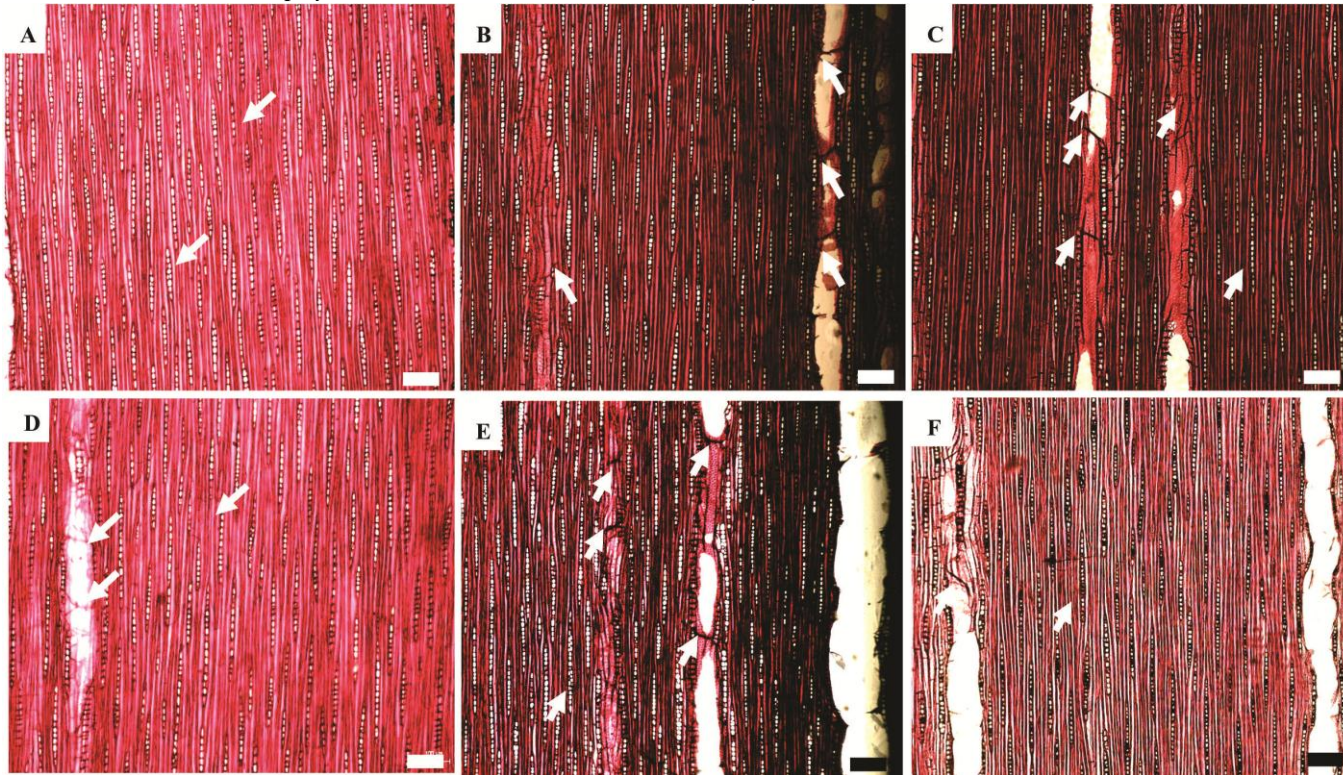
Fonte: Da autora (2017).

Figura 3 - Plano RADIAL: corpo dos raios constituídos de células procumbentes e as células marginais quadradas (setas brancas). Genótipos 1 e 2 (A e B) de *E. urophylla* x *E. grandis*; genótipos 3, 4 e 5 (C, D e E) de *E. urophylla*. Genótipo 6 (F) *E. urophylla* x *E. camaldulensis*. Placas de perfuração simples (A e F, setas pretas). Em B, C, D e E, parênquima axial paratraqueal (setas azuis). Barra: 500  $\mu$ m.



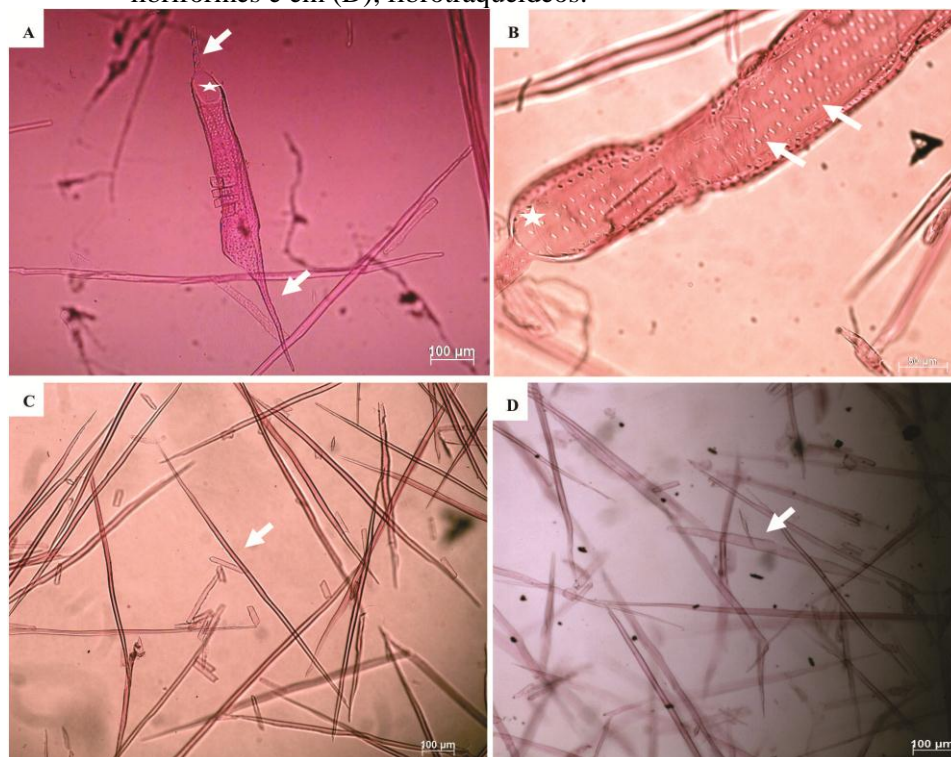
Fonte: Da autora (2017).

Figura 4 - Plano tangencial: em (A), (B) e (C), células dos raios unisseriados em sua maioria (setas brancas). Arquitetura das linhas vasculares e a inclinação das placas de perfuração em *E. urophylla* x *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. urophylla* x *E. camaldulensis*, respectivamente (B,C,D, E e F). Em (F), presença de conteúdos nas células radiais em *E. urophylla* x *E. camaldulensis*. Barra : 500 µm.



Fonte: Da autora (2017).

Figura 5 - Elementos celulares dissociados comuns aos genótipos de *Eucalyptus* em: (A) elementos de vaso, inclinação da placa de perfuração (estrela) e presença de apêndice nas duas extremidades (setas). Em (B), elementos de vaso: placas de perfuração simples (estrela) e pontoações intervasculares alternas diminutas. Em (C), fibras libriformes e em (D), fibrotraqueídeos.



Fonte: Da autora (2017).

Na Tabela 3 apresentam-se os resultados biométricos do xilema secundário de seis genótipos distintos de *Eucalyptus*, comparando-os entre si. Caracteres como diâmetro das pontoações e largura dos raios não foram significativos, pelo teste F. Houve diferenças significativas pelo teste de médias de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, nas variáveis espessura da parede das fibras, comprimento, diâmetro e frequência dos elementos de vaso, altura e frequência por mm linear dos raios.



Para comprimento das fibras, não houve diferenças entre os genótipos, tendo o genótipo 3 obtido o maior valor médio e o genótipo 2, o menor, de 1.100,93  $\mu\text{m}$  e 907,88  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Já para espessura da parede, o maior valor médio foi obtido pelo genótipo 3 (4,70  $\mu\text{m}$ ) e o genótipo 2, o menor valor médio (3,80  $\mu\text{m}$ ). Para comprimento dos elementos de vasos, o genótipo 5 obteve o maior valor médio (426,27  $\mu\text{m}$ ) e o menor foi obtido pelo genótipo 2 (333,31  $\mu\text{m}$ ). Para diâmetro dos elementos de vasos, os genótipos obtiveram valores bem distintos, tendo o genótipo 1 obtido maior valor médio (149,72  $\mu\text{m}$ ) e o menor foi obtido pelo genótipo 5, média de 117,46  $\mu\text{m}$ . Os valores de frequência dos elementos de vaso se deram da seguinte forma: o genótipo 3 obteve o maior médio de elementos de vaso por  $\text{mm}^2$  (27) e o genótipo 2, o menor valor (21). Os valores médios para altura em números de células dos raios foram 9,4, para o genótipo 3 e 8,7, para o genótipo 5, respectivamente o maior e o menor raio. Já a frequência dos raios por mm linear se deu da seguinte forma: o genótipo 2 obteve o maior médio (16,70) e o genótipo 3, o menor (15,20).

**Tabela 3** - Biometria dos elementos celulares dos genótipos de *Eucalyptus*.

Genótipos	1	2	3	4	5	6
Comprimento fibras ( $\mu\text{m}$ )	1013,70 $\pm$ 87,58 a (838,43-1122,66)	907,88 $\pm$ 119,53 a (702,57 - 1052,34)	1100,93 $\pm$ 148,80 a (818,40 - 1281,03)	1020,37 $\pm$ 168,69a (693,71-1236,89)	1088,11 $\pm$ 115,17a (904,84 - 1231,63)	998,31 $\pm$ 105,16 a (862,01 - 1196,82)
Espessura parede ( $\mu\text{m}$ )	3,87 $\pm$ 0,57 b (3,11 - 4,82)	3,80 $\pm$ 0,18 b (3,50 - 4,14)	4,70 $\pm$ 1,55a (2,81 - 7,17)	4,19 $\pm$ 1,09 b (3,03 - 6,04)	4,04 $\pm$ 1,03 b (2,53 - 5,55)	3,81 $\pm$ 0,53 b (3,33 - 4,76)
Comprimento vasos ( $\mu\text{m}$ )	362,50 $\pm$ 52,37 b (289,23 - 439,81)	333,31 $\pm$ 58,78 b (230,11 - 401,85)	417,74 $\pm$ 76,48 a (284,79 - 510,19)	350,20 $\pm$ 54,51 b (251,16 - 425,03)	426,27 $\pm$ 39,66 a (366,51 - 502,02)	361,48 $\pm$ 34,48b (313,59 - 419,83)
Diâmetro Vasos ( $\mu\text{m}$ )	149,72 $\pm$ 13,14 a (125,40 - 168,09)	138,34 $\pm$ 17,03 b (115,25 - 157,25)	125,68 $\pm$ 14,02 c (104,55 - 148,05)	129,44 $\pm$ 12,13 c (108,26 - 147,84)	117,46 $\pm$ 6,65 c (112,11 - 128,39)	128,04 $\pm$ 10,52 c (113,93 - 147,73)
Frequência Vasos ( $\text{mm}^2$ )	22,38 $\pm$ 3,74 b (18 - 30)	20,63 $\pm$ 3,82b (17 - 28)	26,84 $\pm$ 5,48 a (21 - 35)	24,49 $\pm$ 4,90 a (20 - 35)	23,24 $\pm$ 1,95 b (20 - 27)	25,55 $\pm$ 5,00 a (20 - 33)
Pontoações ( $\mu\text{m}$ )	4,51 $\pm$ 0,49*	3,95 $\pm$ 0,20 *	4,47 $\pm$ 0,93 *	4,27 $\pm$ 0,26 *	4,71 $\pm$ 0,32 *	4,46 $\pm$ 0,43 *
Altura raios (n° células)	9,27 $\pm$ 1,27 a (7 - 10)	9,33 $\pm$ 0,69 a (8 - 10)	9,46 $\pm$ 0,77a (8 - 11)	8,77 $\pm$ 0,60 b (8 - 10)	8,72 $\pm$ 0,73b (8 - 10)	9,43 $\pm$ 0,72 a (8 - 11)
Largura (n° células)	1,00 *	1,00 *	1,00 *	1,00 *	1,00 *	1,00 *
Frequência Raios (mm linear)	16,05 $\pm$ 0,90 a (15 - 18)	16,70 $\pm$ 1,40 a (15 - 19)	15,20 $\pm$ 1,45 b (13 - 17)	15,67 $\pm$ 1,20b (14 - 17)	15,62 $\pm$ 0,91b (14 - 17)	16,58 $\pm$ 1,89 a (15 - 21)

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

Médias acompanhadas por \* não foram significativas, pelo teste F, a 5% de significância.

Fonte: Da autora (2017).

### 3.2 Interação entre os genótipos e as posições radiais

Nas Tabelas 4, 5, 6 e 7 são apresentados os valores médios dos caracteres anatômicos que obtiveram interação entre os genótipos de *Eucalyptus* e as posições radiais. Os caracteres diâmetro dos elementos de vaso, diâmetro das pontoações, altura, largura e frequência dos raios não obtiveram interações entre os genótipos e as posições radiais. Entretanto, houve interações entre os genótipos e as posições radiais para o comprimento das fibras, tendo este crescido no sentido medula-casca (Tabela 4). De forma geral, todos os genótipos mostraram esse padrão, tendo os menores valores médios para comprimento das fibras sido obtidos nas posições próximas à medula (interno) e os maiores, próximos à casca (externo), exceto para o genótipo 5, que obteve o menor valor médio na posição intermediária.

Tabela 4 - Valores médios para comprimento das fibras ( $\mu\text{m}$ ) entre os genótipos e as posições radiais.

Genótipos	Posições radiais			Médias	CV(%)
	Externo	Intermediário	Interno		
1	1070,94 bA	1048,39 bA	921,77 bB	1013,7a	8,63
2	1013,33 bA	942,41 bA	767,89 bB	907,88a	13,16
3	1198,52 aA	1171,63 aA	932,64 bB	1100,93a	13,51
4	1195,26 aA	1006,03 bB	859,81 bC	1020,37a	16,53
5	1169,89 aA	994,76 bB	1099,71 aA	1088,11a	10,58
6	1104,19 bA	979,20 bB	911,56 bB	998,31a	10,53

Letras minúsculas comparação entre os clones e letras maiúsculas entre as posições radiais. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2017).

Para espessura da parede das fibras houve interações entre os genótipos e as posições radiais (Tabela 5). Os genótipos 3, 4 e 5, pertencentes à espécie *E. urophylla*, apresentaram um acréscimo na espessura da parede das fibras no sentido medula-casca. Já os demais genótipos híbridos não apresentaram

definição nesse padrão. Para os genótipos 1 e 2, os maiores valores para espessura da parede foram obtidos na posição intermediária. Já para o genótipo 6, o maior valor médio foi obtido na posição intermediária.

Tabela 5 - Valores médios para espessura da parede das fibras ( $\mu\text{m}$ ) entre os genótipos e as posições radiais.

Genótipos	Posições radiais			Médias	CV(%)
	Externo	Intermediário	Interno		
<b>1</b>	3,80 bA	3,91 aA	3,89 aA	3,87b	14,75
<b>2</b>	3,86 bA	3,88 aA	3,66 aA	3,80b	4,75
<b>3</b>	6,25 aA	4,29 aB	3,57 aB	4,70a	32,98
<b>4</b>	5,47 aA	3,83 aB	3,27 aB	4,19b	26,21
<b>5</b>	5,11 aA	3,73 aB	3,28 aB	4,04b	25,75
<b>6</b>	4,43 bA	3,39 aA	3,60 aA	3,81b	14,09

Letras minúsculas comparação entre os clones e letras maiúsculas entre as posições radiais. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2017).

Para comprimento dos elementos de vaso, houve interações entre os genótipos e as posições radiais. Para maioria dos genótipos estudados, os valores médios foram crescentes no sentido medula-casca, exceto os genótipos 5 e 6. O genótipo 5 obteve seu menor valor médio na posição intermediária. Já o genótipo 6 não obteve diferenças significativas entre as posições radiais.

Tabela 6 - Valores médios para comprimento de vaso ( $\mu\text{m}$ ) entre os genótipos e as posições radiais.

Genótipos	Posições radiais			Médias	CV(%)
	Externo	Intermediário	Interno		
<b>1</b>	420,07 bA	358,34 bB	309,09 bB	362,50b	14,44
<b>2</b>	366,43 bA	370,79 bA	262,72 bB	333,31b	17,63
<b>3</b>	479,32 aA	440,65 aA	333,25 bB	417,74a	18,30
<b>4</b>	405,87 bA	348,98 bB	295,76 bB	350,20b	15,56
<b>5</b>	465,62 aA	393,38 bB	419,82 aB	426,27a	9,30
<b>6</b>	390,47 bA	355,90 bA	338,07 bA	361,48b	9,56

Letras minúsculas comparação entre os clones e letras maiúsculas entre as posições radiais. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2017).

A relação entre a frequência de elementos de vaso por mm<sup>2</sup> e as posições radiais foi inversa para a maioria dos genótipos estudados, com exceção do genótipo 5. A frequência dos elementos de vasos diminui no sentido medula-casca, sendo observados os menores valores médios na posição externa e os maiores, na posição interna.

Tabela 7 - Valores médios para frequência de vasos por mm<sup>2</sup> entre os genótipos e as posições radiais.

Genótipos	Posições radiais			Média	CV(%)
	Externo	Intermediário	Interno		
<b>1</b>	20,65 aB	19,60 bB	26,91 bA	22,38b	16,72
<b>2</b>	17,58 aB	19,31 bB	25,01 bA	20,63b	18,56
<b>3</b>	23,79 aB	22,92 bB	33,80 aA	26,84a	20,42
<b>4</b>	20,97 aB	23,50 bB	29,02 bA	24,49a	20,01
<b>5</b>	23,09 aA	23,40 bA	23,23 bA	23,24b	8,41
<b>6</b>	20,69 aB	28,39 aA	27,56 bA	25,55a	19,6

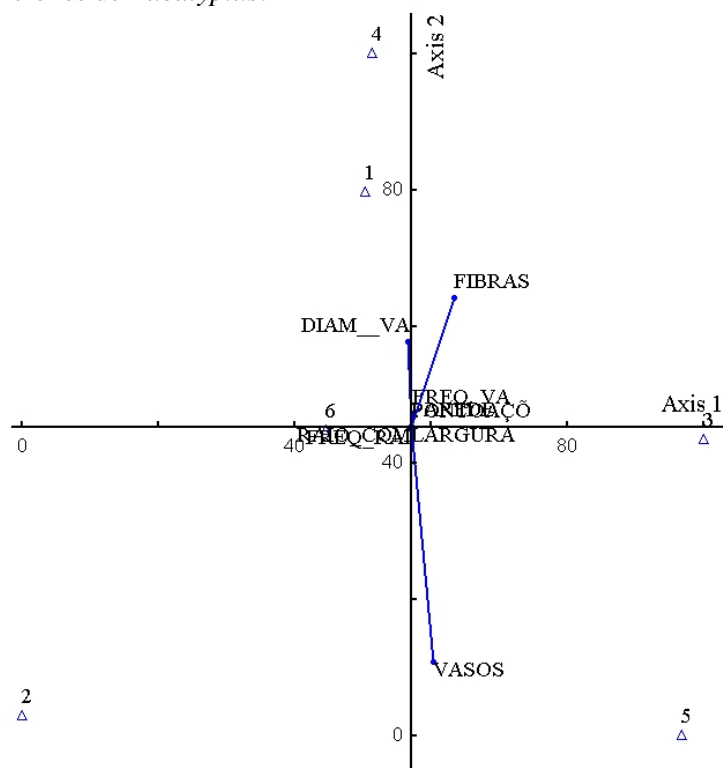
Letras minúsculas comparação entre os clones e letras maiúsculas entre as posições radiais. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2017).

### 3.3 Análise de componentes principais

A análise dos componentes principais permitiu diferenciar os genótipos de *Eucalyptus* por meio de suas características quantitativas, como representado na Figura 5 e descrito na Tabela 8. Os eixos explicam, juntos, 98,92% da variância dos dados de agrupamento para as características anatômicas quantitativas dos genótipos de *Eucalyptus*, os quais foram distintos pelos caracteres comprimento e diâmetro dos elementos de vaso, e comprimento das fibras. O genótipo 5 obteve o maior valor médio para comprimento dos elementos de vaso, enquanto o genótipo 1 obteve o maior valor médio para diâmetro dos elementos de vaso, ao passo que o genótipo 4 obteve o menor valor para esse caractere, sendo fatores de segregação entre os genótipos.

Figura 6 - Diagrama apresentando a distribuição dos caracteres quantitativos dos clones de *Eucalyptus*.



Fonte: Da autora (2017).

Tabela 3 - Variância dos dados de análises dos componentes principais para os genótipos de *Eucalyptus*.

	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Comprimento de fibras ( $\mu\text{m}$ )	0,8853*	0,4587	-0,0609
Espessura da parede ( $\mu\text{m}$ )	0,0031	0,0040	-0,0036
Comprimento de vasos ( $\mu\text{m}$ )	0,4564	-0,8345*	0,3023
Diâmetro de vasos ( $\mu\text{m}$ )	-0,0869	0,3013	0,9461*
Frequência de vasos ( $\text{mm}^2$ )	0,0187	0,0492	-0,0979
Pontoações ( $\mu\text{m}$ )	0,0028	0,0004	0,0045
Altura dos raios ( $\mu\text{m}$ )	-0,0011	-0,0018	0,0156
Frequência de raios ( $\text{mm}/\text{linear}$ )	-0,0065	-0,0096	0,0000
Largura dos raios ( $\mu\text{m}$ )	0,0000	0,0000	0,0000

\*Valores significativos para formação dos eixos e que proporcionaram variância.

Fonte: Da autora (2017).

#### 4 DISCUSSÃO

Os resultados encontrados no presente estudo, para características anatômicas qualitativas e quantitativas, estão de acordo com outros trabalhos relacionados à anatomia do xilema secundário das espécies do gênero *Eucalyptus* encontrados na literatura, corroborando os resultados encontrados por Evangelista et al. (2010), Ferreira (2012) e Lopes (2013).

A presença de camadas de crescimento delimitadas por zonas fibrosas ou, até mesmo, a formação de um anel semiporoso pode ser utilizada como segregador dos gentótipos estudados, bem como o tipo de parênquima axial. No entanto, as relações com os locais de coleta não foram estabelecidas de forma concreta, uma vez que se trata de materiais clonais distintos. Entretanto, há uma pequena diferença entre os índices de pluviosidade e temperatura entre os locais estudados, podendo ser decisivos na atividade cambial e nas distinções dos caracteres anatômicos qualitativos, como as camadas de crescimento e o tipo de parênquima axial, e quantitativos, como comprimento e espessura da parede das fibras, diâmetro e comprimento dos elementos de vaso.

Carlquist (2001) ressalta que as camadas de crescimento estão diretamente relacionadas à atividade cambial. Logo, eventos como baixas temperaturas, intensidade e qualidade da luz e, ainda, estresse hídrico podem afetar de forma significativa a formação dessas células. De maneira geral, camadas de crescimentos são relatadas nas florestas brasileiras, incluindo espécies do Cerrado Mineiro e espécies do gênero *Eucalyptus* (ALVES; ANGYALOSSY-ALFONSO, 2000; BARROS et al., 2006; CALLADO et al., 2001; FERREIRA, 2012; LOPES, 2013; MARCATI; OLIVEIRA; MACHADO, 2006). No entanto, elas são ainda pouco estudadas, considerando sua importância. Estudos sobre a periodicidade de formação dessas camadas ainda são escassos e mostram-se essenciais para o conhecimento das estratégias de

sobrevivência dessas espécies, seu papel na fixação de CO<sub>2</sub>, bem como estudos dendrocronológicos, pelos quais é possível determinar e/ou estimar a idade da planta, e, ainda, eventos pretéritos.

Evangelista et al. (2010) e Lopes (2013) ressaltam a presença de parênquima axial paratraqueal vasicêntrico, com rara ocorrência de paratraqueal unilateral para *E. camaldulensis*. Em *E. urophylla* há a presença dos dois tipos citados e, ainda, a ocorrência do paratraqueal aliforme, concordando com o presente estudo. Já Ferreira (2012) observou a presença de parênquim axial paratraqueal escasso para *E. urophylla*. Características qualitativas, como, por exemplo, o tipo de parênquima axial, são essenciais para a identificação em certas espécies madeireiras, bem como são necessárias para o armazenamento de substâncias secundárias e nutritivas da planta. Entretanto, são de baixa ocorrência em espécies pertencentes ao gênero *Eucalyptus*. No entanto, a junção de duas espécies na formação de híbridos pode ter acarretado na maior ocorrência de parênquima axial, proporcionando maior armazenamento de substâncias. Entretanto, no genótipo constituído apenas por *E. urophylla*, pertencente ao sítio B, obteve-se a maior ocorrência de células desse tipo, podendo ser relacionada, então, com as condições de solo no local, uma vez que a mesma espécie coletada no sítio C não apresentou a abundante ocorrência desse tipo celular.

As diferenças entre as dimensões dos elementos celulares e as posições radiais são relatadas na literatura para espécies pertencentes ao gênero *Eucalyptus*, concordando com o presente estudo (EVANGELISTA et al., 2010; LOPES, 2013). Essa variação pode ser crescente ou decrescente, no sentido medula-casca, dependendo do parâmetro anatômico analisado, sendo crescente para comprimento e espessura da parede das fibras, comprimento dos elementos de vaso, e decrescente para a frequência dos elementos de vaso. Segundo Tsoumis (1991), a idade do câmbio vascular é um dos fatores que ocasionam a



variação das dimensões das células lenhosas da madeira no sentido medula-casca e base topo, dentro de uma mesma árvore. Entretanto, segundo Zobel e Buijtenen (1989), a idade fisiológica da planta é mais determinante e decisiva sobre as propriedades da madeira do que a idade cronológica. Logo, o fator genótipo pode ser maior do que fatores como idade da planta e/ou tratamentos silviculturais (EVANGELISTA et al., 2010). Segundo Alone e Zimmermann (1983), Longui et al. (2010), Moya et al. (2009) e Sarampaa (2003), as variações observadas no eixo radial do tronco da árvore podem estar associadas à idade da planta e aos teores de hormônios relacionados ao crescimento das plantas, como auxina, que é maior nos primeiros anos de vida do vegetal, comparados às idades mais avançadas.

A análise de agrupamento de dados ordenou os genótipos em três grupos distintos (Figura 6), demonstrando que, embora os seis genótipos pertençam ao mesmo gênero e família, os caracteres anatômicos quantitativos puderam ser utilizados para segregar os genótipos, além de reforçar a diversidade dentro do gênero *Eucalyptus*. Comprimento das fibras, comprimento e diâmetro dos elementos de vasos são diretamente afetados pelos fatores genéticos associados às condições edafoclimáticas às quais estão submetidos, bem como à idade dos espécimes. Segundo Moya et al. (2009) e Trugilho, Lima e Mendes (1996), as variações ambientais potencializam as expressões gênicas de cada espécie, determinando suas adaptações ou não, que são diretamente refletidas nas dimensões dos elementos celulares, como comprimento e espessura da parede das fibras, frequência, comprimento e diâmetro dos elementos de vasos, frequência, altura e largura dos raios.

## 5 CONCLUSÕES

Os genótipos de *Eucalyptus* puderam ser diferenciados pelos caracteres qualitativos, como camadas de crescimento distintas e não distintas, o tipo de camada de crescimento (delimitadas por zonas fibrosas e/ou anel semiporoso), o tipo de parênquima axial, paratraqueal escasso e aliforme losangular, além da presença de tilos obstruindo os elementos de vaso e de conteúdos celulares no parênquima radial. Já em relação aos caracteres quantitativos, foi possível diferenciá-los pelo comprimento das fibras, comprimento e diâmetro dos elementos de vaso. Entretanto, não é possível identificá-los somente utilizando as características anatômicas citadas. É necessário que haja a confirmação por meio de órgãos reprodutivos.

Quanto à variação radial, de forma geral, as dimensões das fibras, como comprimento e espessura da parede, e as dimensões dos elementos de vaso, como diâmetro e comprimento, aumentam no sentido medula-casca, entretanto, a frequência pode diminuir.

## REFERÊNCIAS

- ALONE, R.; ZIMMERMANN, R. The control of vessel size and density along the planta axis: a new hypothesis. **Differentiation**, London, n. 24, p. 203-208, 1983.
- ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species: 1., growth rings and vessels. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 21, n. 1, p. 3-30, 2000.
- ALVES, I. C. N. et al. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose Kraft. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 167-174, 2011.
- BARROS, C. F. et al. Tendências ecológicas na anatomia da madeira de espécies da comunidade arbórea da reserva biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 57, n. 3, p. 443-460, 2006.
- CALLADO, C. H. et al. Anatomical features of growth rings in flood-prone trees of the Atlantic Rain Forest in Rio de Janeiro, Brazil. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 22, n. 1, p. 29-42, 2001.
- CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D.; ASSIS, P. P. Mensuração do comprimento das fibras para a determinação da madeira juvenil em *Eucalyptus citriodora*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p. 113-121, 2005.
- CARLQUIST, S. **Comparative wood anatomy: systematic, ecological and evolutionary aspects of dicotyledon wood**. 2<sup>nd</sup> ed. Berlin: Springer-Verlag, 2001.
- EVANGELISTA, W. V. et al. Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 273-284, 2010.
- FERREIRA, C. A. **Caracterização anatômica, secagem e carbonização da madeira de clones de *Eucalyptus* e espécies do Cerrado**. 2012. 94 p. Dissertação (Mestrado em Processamento e Utilização da Madeira)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- FERREIRA, C. R. et al. Avaliação tecnológica de clones de Eucalipto: parte 1, qualidade da madeira para produção de celulose Kraft. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 70, p. 161-170, 2006.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, mar./abr. 2014.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and woodresin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, London, v. 155, n. 3924, p. 51, Jan. 1945.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório anual**: ano base 2015. Brasília, DF, 2016. 100 p.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS. List of microscopic features for hardwoods identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 10, p. 220-332, 1989.

LONGUI, E. L. et al. Anatomia comparada do lenho de *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J.F.Macbr. em dois tipos de vegetação. **Hoehnea**, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 715-724, 2009.

LOPES, O. P. **Anatomia e identificação da madeira de genótipos de *Eucalyptus* spp. plantados no Estado de Minas Gerais**. 2013. 93 p. Dissertação (Mestrado em Processamento e Utilização da Madeira)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

LUDWIG, J. A.; REYNOLDS, J. F. **Statistical ecology**: a primer on methods and computing. New York: J. Wiley, 1988. 368 p.

MARCATI, C. R.; OLIVEIRA, J. S.; MACHADO, S. R. Growth rings in cerrado woody species: occurrence and anatomical markers. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 6, n. 3, Sept./Dec. 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/bn/v6n3/v6n3a01.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

MCCUNE, B.; MEFFORD, M. J. **PC-ORD multivariate analysis of ecological data**: MjM software. Version 6.0. Oregon, 2011.

MONTAGU, K. D.; KEARNEY, D. E.; SMITH, R. G. B. The biology and silviculture of pruning planted eucalypts for clear wood production: a review. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 179, n. 1, p. 1-13, 2003.

MORI, E. S.; KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M. Variação genética e interação progênies x locais em *Eucalyptus urophylla*. **IPEF**, Piracicaba, n. 39, p. 53-63, ago. 1988.

MOYA, R. et al. Variación radial de la anatomía, densidad y durabilidad de la madera de teca (*Tectona grandis*) procedente de dos calidades de sitio y dos regiones climáticas de Costa Rica. **Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales**, San José, v. 18, n. 2, p. 119-131, 2009.

SARAMPAA, P. Wood density and growth. In: BARNETT, J.; JERONIMIDIS, G. (Ed.). **Wood quality and its biological basis**. Victoria: Blackwell, 2003. p. 87-113.

SARTORI, C. J. **Estudos químicos e anatômicos da casca de clones de *Eucalyptus***. 2016. 132 p. Tese (Doutorado em Processamento e Utilização da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 1-15, 1996.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization**. New York: V. N. Reinold, 1991. 494 p.

ZOBEL, J. B.; BUIJTENEN, J. P. van. **Wood variation: its causes and control**. New York: Springer-Verlag, 1989. 363 p.

### **CAPÍTULO 3 Biometria das fibras e ângulo microfibrilar em genótipos de *Eucalyptus* L'Héritier**

#### **RESUMO**

As propriedades tecnológicas da madeira podem ser influenciadas pelas características do xilema secundário, como as dimensões das fibras, o comprimento e a espessura, e, ainda, o ângulo microfibrilar na parede secundária. O objetivo, no presente estudo, foi avaliar as dimensões das fibras em função do ângulo microfibrilar da madeira de seis genótipos de *Eucalyptus*, de 5 a 7 anos de idade, no sentido medula-casca, provenientes de três regiões de Minas Gerais. As análises anatômicas foram realizadas de acordo com as normas usuais em anatomia da madeira. O método de luz polarizada foi utilizado para a determinação do ângulo microfibrilar. Houve diferenças significativas para comprimento e espessura da parede das fibras entre os genótipos estudados e as posições radiais. Já para o ângulo microfibrilar não houve diferenças significativas entre os clones e as posições radiais. No entanto, pode-se afirmar que, conforme o comprimento e a espessura da parede das fibras aumenta no sentido radial, o ângulo microfibrilar diminui. Os fatores genéticos e de idade foram determinantes para os valores encontrados.

**Palavras-chave:** *Eucalyptus*. Ângulo microfibrilar. Variação anatômica.

#### **ABSTRACT**

The technological properties of wood can be influenced by the characteristics of secondary xylem, such as fiber size, length and thickness, as well as the microfibrillary angle in the secondary wall. The objective of the present study was to evaluate the fiber dimensions as a function of the microfibrillar angle of the wood of six genotypes of *Eucalyptus*, from 5 to 7 years of age in the medulla-bark direction from three regions of Minas Gerais, Brazil. The anatomical analyzes were performed according to the IAWA committee procedures (INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS - IAWA, 1989). The polarized light method was used to determine the microfibrillary angle. There were significant differences in length and wall thickness of the fibers between the studied genotypes and the radial positions. As for the microfibrillary angle, there were no significant differences between the clones and the radial positions. However, it can be stated that while the length and thickness of the wall of the fibers increase in the radial direction, the microfibrillary angle decreases. The genetic and age factors were determinant for the values found.

**Keywords:** Microfibrillary angle. *Eucalyptus*. Wood anatomy.

## 1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material heterogêneo, característica que causa uma série de transtornos para a indústria que a utiliza como matéria-prima, tanto na transformação quanto no processamento. A descontinuidade desse material biológico, em especial sua estrutura anatômica, se dá tanto por fatores genéticos quanto por fatores externos, como tratamentos silviculturais, precipitação e temperatura.

Segundo Calonego, Severo e Assis (2005), a madeira juvenil é aquela formada pelo câmbio na seção transversal do fuste nos primeiros anos de vida. Essa madeira também pode ser referida como aquela mais próxima da medula que, do ponto de vista tecnológico, é diferenciada da madeira adulta em diversas propriedades. Nesse sentido, há grandes diferenças nas características físicas e anatômicas nas madeiras no sentido medula-casca, como, por exemplo, nas dimensões das fibras, como comprimento, espessura, ângulo microfibrilar da parede das fibras, bem como proporção dos tecidos e biometria dos elementos de vasos, como comprimento, diâmetro e frequência.

Estudos sobre as fibras e suas propriedades são úteis para prever potenciais usos nos quais as propriedades elásticas e a estabilidade dimensional da madeira são essenciais. Trabalhos relacionados ao ângulo microfibrilar da parede celular tiveram início na década de 1960, quando Preston demonstrou que a extensão de ruptura depende do ângulo microfibrilar na camada S2. Barber e Meylan (2009), Harris e Meylan (1965), Kelsey (1963) e Meylan (1968) demonstraram que a retração longitudinal aumenta com o aumento dos ângulos microfibrilares. Já a retração nas direções tangencial e radial é mais complexa, visto que outros fatores podem influenciar este parâmetro (BARBER, 1968).

O ângulo microfibrilar pode variar de espécie para espécie, dentro de uma mesma espécie e, ainda, dentro do mesmo indivíduo, nos sentidos medula-

casca e base-topo. Essa propriedade elementar da madeira representa a orientação da fração cristalina da celulose na parede celular das fibras (ANDERSSON et al., 2000). O ângulo microfibrilar tem maior influência em propriedades como rigidez e contração longitudinal da madeira. Entretanto, foi demonstrado em estudos que há variação do ângulo microfibrilar entre grupos de vegetais, como angiospermas e gimnospermas, 5° a 20° e de 10° a 30°, respectivamente (BOYD, 1980).

Assim como as demais propriedades da madeira, o ângulo microfibrilar também sofre influências edafoclimáticas, pois está intimamente ligado à biometria das fibras e, conseqüentemente, à atividade cambial. Há, ainda, a variação que ocorre entre madeira de reação e madeira normal (YAMAMOTO; OKUYAMA; YOSHIDA, 1997). No entanto, trabalhos relacionados à ecologia do ângulo microfibrilar, suas relações com as demais dimensões das fibras, bem como sua variação medula-casca e base-topo, ainda não escassos.

Neste contexto, o objetivo, neste trabalho, foi avaliar o ângulo microfibrilar entre os genótipos de *Eucalyptus*, sua relação com a biometria das fibras, bem como sua variação radial.



## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de coleta e identificação do material

O presente estudo foi realizado utilizando-se madeiras comerciais provenientes de plantios florestais localizados no estado de Minas Gerais. Para a identificação dos três sítios de coleta, eles foram denominados de **A**, **B** e **C**. Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados dados gerais sobre os genótipos utilizados e os locais de coleta.

O Sítio **A** está localizado no município de Belo Oriente, mesorregião do Rio Doce, microrregião de Ipatinga, nas coordenadas geográficas 19°13'04'' de latitude sul e 42°27'26'' de longitude oeste. Dois clones/híbridos foram coletados neste sítio, *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. O sítio **B** está localizado no município de Curvelo, na mesorregião central de Minas Gerais, microrregião de Curvelo, nas coordenadas geográficas 18°44'57'' de latitude sul e 44°26'32'' de longitude oeste. Dois genótipos de *Eucalyptus urophylla* foram coletados neste sítio. O sítio **C** localiza-se no município de Paraopeba, na mesorregião metropolitana de Belo Horizonte e microrregião de Sete Lagoas (Figura 1), nas coordenadas geográficas 19°16'54'' de latitude sul e 44°24'32 de longitude oeste. Foram dois os genótipos coletados neste sítio, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis*.

### 2.2 Amostragem do material

Para as análises microscópicas foram utilizados três indivíduos de cada genótipo e obtida sua variação radial, tendo sido subdivididos em externo, intermediário e interno. Os corpos de prova destinados a análises anatômicas foram obtidos a partir de discos de 5 cm de espessura, aproximadamente, retirados a 1,30 m de altura, a partir do solo (DAP). As dimensões estipuladas

foram de, aproximadamente, 1,5 x 1,5 x 1,5 cm, nos planos transversal e longitudinal radial e tangencial.

### **2.3 Biometria das fibras**

Para a obtenção do material macerado, foram coletadas, a partir dos corpos de prova, pequenas amostras longitudinais de madeira, retiradas com o auxílio de estilete e armazenadas em frascos de vidro com a solução ácida, seguindo o método descrito por Franklin (1945). Posteriormente, foram levados a estufa, a 60 °C, por 24 horas. Em seguida, o material dissociado foi lavado em água corrente e corado com safranina hidroalcoólica. Para observação dos elementos celulares dissociados foram confeccionadas lâminas temporárias, misturando-se uma pequena quantidade de macerado em gotas de glicerina entre lâmina e lamínula.

As análises biométricas das fibras e espessura da parede foram realizadas no Laboratório de Anatomia da Madeira da Universidade Federal de Lavras (UFLA). As análises foram obtidas com o auxílio do microscópio ótico acoplado ao computador, utilizando o software Wincel®.

### **2.4 Ângulo microfibrilar**

Para análises de ângulo microfibrilar, foram obtidos fragmentos tangenciais dos corpos de prova devidamente saturados, com o auxílio de micrótomo de deslize Leica®, modelo jung GM 2000, com espessura de 6 a 8 µm. Posteriormente, os fragmentos foram depositados em frascos de vidros e levados à estufa com temperatura fixada em 60±3 °C, com a solução ácida, de acordo com o método descrito por Franklin (1945), por 24 horas.

As análises do ângulo microfibrilar foram realizadas no Laboratório Ciências e Tecnologia da Madeira da UFLA. Utilizou-se o Microscópio Olympus, adaptado com luz polarizada, com mesa giratória de 360°. Foram mensuradas 30 fibras para cada caractere estudado por corpo de prova.

Tabela 1 - Identificação dos genótipos.

<b>Genótipos</b>		<b>Sítios</b>
<b>1</b>	<i>Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis</i>	<b>A</b>
<b>2</b>	<i>Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis</i>	<b>A</b>
<b>3</b>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	<b>B</b>
<b>4</b>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	<b>B</b>
<b>5</b>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	<b>C</b>
<b>6</b>	<i>Eucalyptus urophylla x Eucalyptus camaldulensis</i>	<b>C</b>

Fonte: Da autora (2017).

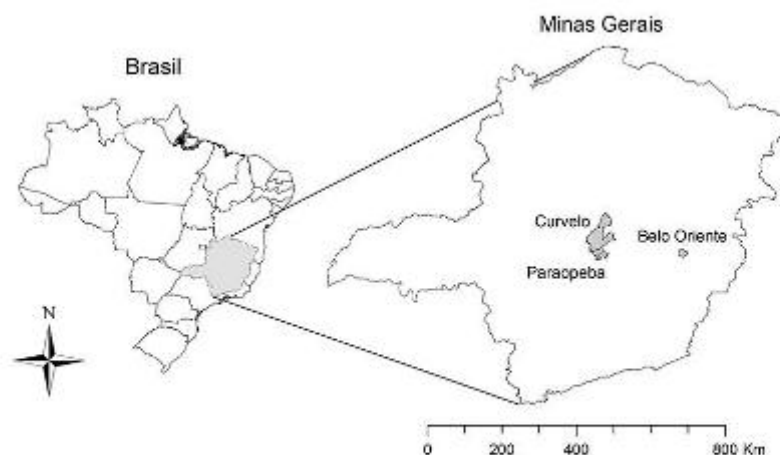
Tabela 2 - Características das áreas de coleta.

<b>Genótipos</b>	<b>Região</b>	<b>Idade (anos)</b>	<b>Precipitação anual</b>	<b>Clima</b>	<b>T°C média</b>
<b>1</b>	Belo Oriente	6,33	1165 mm	Aw	23,7
<b>2</b>	Belo Oriente	6,41	1165 mm	Aw	23,7
<b>3</b>	Curvelo	7,17	1221 mm	Aw	21
<b>4</b>	Curvelo	6,8	1221 mm	Aw	21
<b>5</b>	Paraopeba	7	1244 mm	Aw	21,8
<b>6</b>	Paraopeba	7	1244 mm	Aw	21,8

Classificação Koppen: Aw é tropical úmido.

Fonte: Da autora (2017).

Figura 1 - Apresenta a localização das áreas/sítios de coleta do material de estudo.



Fonte: Da autora (2017).

## 2.5 Análises de dados

Os dados coletados para ambas as análises foram primeiramente tabulados com o auxílio do *software* Excel®, para a obtenção dos valores máximo, mínimo, média, desvio padrão, coeficiente de variação e correlações de Pearson.

As análises estatísticas dos dados foram realizadas com auxílio do *software* estatístico SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2014), realizando-se a análise de variância e o teste de interação entre as características estudadas. Na avaliação do experimento considerou-se o delineamento inteiramente casualizado, subparcelas, sendo eles seis clones com três indivíduos cada, e esses indivíduos subdivididos em três posições radiais (externa, intermediária e interna). Para a análise de variância foi realizado o teste de Scott Knott, a 5% de

significância. Foi realizado o Teste de Bartlett, a 5%, para verificar a homogeneidade de variâncias e também o teste Shapiro-Wilk, a 5%, para verificar a normalidade dos resíduos.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Biometria das fibras e ângulo microfibrilar

As médias para o ângulo microfibrilar não obtiveram diferenças significativas, pelo teste F ( $p < 0,05$ ). O mesmo ocorreu com as interações entre os genótipos e as posições radiais. Entretanto, pode-se observar uma tendência de decréscimo do ângulo microfibrilar no sentido casca-medula, tendo os menores valores sido obtidos nas posições externas e os maiores, nas posições externas, exceto o genótipo 6.

Houve interações entre os genótipos e as posições radiais para o comprimento e a espessura da parede das fibras, sendo crescente no sentido medula-casca. De forma geral, todos os genótipos apresentaram esse padrão, sendo menores valores médios nas posições próximo à medula (interno) e maiores próximos à casca (externo). Entretanto, o genótipo 5 obteve os menores valores médios na posição intermediária. Na Tabela 3 apresentam-se os resultados biométricos médios das fibras e o ângulo microfibrilar de acordo com a posição radial no disco de coleta, externo à posição próximo à casca e interno próximo à medula.

Para o comprimento das fibras não houve diferenças significativas entre as médias entre os genótipos estudados, porém, houve diferenças entre as posições radiais. De maneira geral, os valores médios para comprimento das fibras foram menores nas posições internas e maiores nas posições externas, com exceção do genótipo 5, que obteve o menor valor médio na posição intermediária. Todos os três genótipos constituídos de *E. urophylla* somente obtiveram os maiores valores nas posições externas, sendo superiores aos demais.

O mesmo ocorreu para espessura da parede das fibras, em que houve interações entre os genótipos e as posições radiais. Entretanto, novamente, os genótipos exclusivos de *E. urophylla* obtiveram os maiores valores de espessura da parede das fibras, se comparados aos híbridos. De forma geral, com exceção dos genótipos 1 e 6, a espessura da parede cresceu no sentido medula-casca, tendo os menores valores sido observados na posição “interna” e os maiores, na posição “externa”.

Tabela 3 - Biometria das fibras.

Posição	Clone 1	Clone 2	Clone 3	Clone 4	Clone 5	Clone 6
<b>Comprimento das fibras (<math>\mu\text{m}</math>)</b>						
<b>Externa</b>	1070,94bA	1013,33bA	1198,52aA	1195,27aA	1169,88aA	1104,19bA
<b>Intermediário</b>	1048,39bA	942,42bA	1171,63aA	1006,04bB	994,76bB	979,20bB
<b>Interna</b>	921,77bB	767,89bB	932,64bB	859,81bC	1099,71aA	911,56bB
<b>Média</b>	1013,70a	907,88a	1100,93a	1020,37a	1088,12a	998,32a
<b>CV(%)</b>	8,64	13,17	13,52	16,53	10,58	10,53
<b>Espessura da parede (<math>\mu\text{m}</math>)</b>						
<b>Externa</b>	3,80bA	3,86bA	6,25aA	5,47aA	5,11aA	4,43bA
<b>Intermediário</b>	3,91aA	3,88aA	4,29aB	3,83aB	3,73aB	3,39aA
<b>Interna</b>	3,89aA	3,66aA	3,57aB	3,27aB	3,28aB	3,61aA
<b>Média</b>	3,87b	3,80b	4,70a	4,19b	4,04b	3,81b
<b>CV(%)</b>	14,76	26,21	32,99	26,21	25,75	14,09
<b>Ângulo microfibrilar (<math>^{\circ}</math>)</b>						
<b>Externa</b>	9,54*	9,93*	9,58*	9,49*	10,30*	11,14*
<b>Intermediário</b>	10,22*	10,52*	10,83*	10,68*	10,42*	11,23*
<b>Interna</b>	12,20*	11,90*	11,04*	11,93*	12,68*	10,91*
<b>Média</b>	10,66a	10,79a	10,49a	10,70a	11,13a	11,09a
<b>CV(%)</b>	22,11	11,60	8,94	11,34	17,76	8,43

Letras minúsculas comparação entre os genótipos e letras maiúsculas entre as posições radiais. Médias seguidas de mesma letra não diferiram estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2017).



### 3.2 Análise de correlação do ângulo microfibrilar com as dimensões das fibras

A análise de correlação entre o ângulo microfibrilar e as dimensões das fibras é apresentada na Tabela 4. Verificou-se que houve correlações negativas entre o comprimento das fibras e o ângulo microfibrilar para a maioria dos genótipos estudados, com exceção dos genótipos 5 e 6, em que as correlações foram positivas, porém, foram fracas. Os genótipos 2 e 4 obtiveram os maiores valores médios de correlação negativa, evidenciando que, conforme há o aumento do comprimento das fibras, menor será o ângulo microfibrilar na parede celular.

As correlações entre a espessura da parede das fibras e o ângulo microfibrilar mostraram-se semelhantes, sendo que conforme a espessura da parede aumentou, menor foi o ângulo microfibrilar. Esse padrão mostrou-se verdadeiro nos valores biométricos, entretanto, apenas o genótipo 4 apresentou de forma nítida essa correlação negativa.

Tabela 4 - Resumo das análises de correlação de Pearson entre o ângulo microfibrilar e as dimensões das fibras.

	Genótipos de <i>Eucalyptus</i>					
	1	2	3	4	5	6
<b>Fonte de variação</b>						
AMF x comprimento de fibras	-0,43	-0,76	-0,24	-0,77	0,00	0,14
AMF x espessura da parede	0,00	-0,40	-0,36	-0,85	-0,52	-0,23

AMF: ângulo microfibrilar.

Fonte: Da autora (2017).

#### 4 DISCUSSÃO

As dimensões das fibras e ângulo microfibrilar estão de acordo com os mais recentes trabalhos em anatomia da madeira de *Eucalyptus*. Trugilho et al. (2005), trabalhando com polpação e anatomia de genótipos de *Eucalyptus*, encontraram valores médios para comprimento das fibras de 926  $\mu\text{m}$  e espessura da parede de 2,91  $\mu\text{m}$ . Evangelista et al. (2010), trabalhando com anatomia do xilema de genótipos de 6 a 10 anos de *E. urophylla* e *E. camaldulensis*, encontraram valores médios de 950  $\mu\text{m}$  para comprimento das fibras e espessura da parede de 4,70  $\mu\text{m}$ . Ferreira (2012), trabalhando com anatomia de clones e híbridos de *Eucalyptus urophylla* e *E. urophylla* x *E. camaldulensis*, encontraram valores de comprimento de fibras de 982  $\mu\text{m}$  e 876  $\mu\text{m}$ , respectivamente, e espessura da parede com valores médios de 3,47  $\mu\text{m}$  e 3,35  $\mu\text{m}$ . Lopes (2013), trabalhando com anatomia e identificação de clones de *E. urophylla* x *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. urophylla* x *E. camaldulensis*, encontrou valores médios de 813,84 a 995,98  $\mu\text{m}$  e espessura da parede de 3,83 a 4,44  $\mu\text{m}$ .

Para o ângulo microfibrilar, os valores foram semelhantes aos encontrados na literatura para espécies e clones de *Eucalyptus*. Para *Eucalyptus rubida*, Yoshida, Okuyama e Yamamoto (1992) observaram ângulos microfibrilares variando entre 10° a 30°. Stuart e Evans (1995), trabalhando com *E. nitens*, obtiveram ângulos microfibrilares decrescendo da medula para a casca, com a variação de 10° a 20°. Os ângulos microfibrilares para híbridos de *Eucalyptus* variaram de 0° a 27° (média de 9,5°), em pesquisa realizada por Bailleres et al. (1995). Lima, Breese e Cahalan (2004), trabalhando com 11 genótipos de *Eucalyptus*, encontraram ângulos microfibrilares semelhantes aos encontrados no presente estudo, 8,6° a 11,2°. Já Lima (2015), trabalhando com madeiras de clones *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* de 6,5 anos,

encontrou valores de ângulo microfibrilar de 7,6 ° e 8,3°, observando uma tendência de decréscimo no sentido medula-casca.

As dimensões celulares estão diretamente associadas à atividade cambial, sendo afetada diretamente por fatores edafoclimáticos associados a fatores intrínsecos aos indivíduos que, por sua vez, diferem nas respostas a qualquer intempérie. Portanto, os genótipos constituídos apenas por *E. urophylla* se destacaram em relação aos demais genótipos/híbridos, obtendo os maiores valores médios para comprimento e espessura da parede das fibras, mesmo estando em sítios de coleta distintos, ou seja, o fator genótipo foi determinante para esses caracteres. Os locais de coleta são semelhantes, ambos inseridos no Cerrado Mineiro, sob condições de temperatura e precipitação bem próximos.

De forma geral, na variação radial, os elementos celulares, como comprimento e espessura da parede das fibras, tenderam a crescer no sentido medula a casca, estando os maiores valores na posição mais externa e os menores, nas posições internas. Isso ocorre devido ao *boom* de crescimento nos primeiros anos de vida da planta, com o câmbio vascular ainda juvenil, produzindo muitas células com comprimento variado e espessura da parede delgada. No entanto, com o passar dos anos, com o câmbio vascular mais “adulto”, ele começa a produzir e especificar ainda mais seus elementos celulares, formando células com maior comprimento e maior espessura da parede, caracterizando a chamada madeira adulta.

Em contrapartida a esse crescimento, o ângulo microfibrilar decresce em função do alongamento das fibras e o engrossamento da espessura da parede. Barrichelo e Britto (1984), Panshin e Zeeuw (1980) e Ribeiro, Mori e Mendes (2011) ressaltam que, nos primeiros anos 10 a 12 anos de vida da planta, há alta atividade cambial, as células tendem a ser mais largas, com acentuados diâmetros e, posteriormente, tendem a estagnar, formando fibras mais alongadas

e com paredes mais espessas e homogêneas entre si. No entanto, os indivíduos deste estudo estavam, ainda, bem abaixo da média de idade sugerida pelos autores, indicando que os indivíduos ainda são juvenis. Preston (1974) ressalta que o ângulo microfibrilar apresenta tendência geral de diminuir com o aumento do comprimento das fibras, devido à baixa taxa de divisão das células cambiais, a qual direciona mais tempo para a expansão celular, sendo maiores ângulos encontrados em células menores e menores ângulos nas células maiores. Donaldson (2008) observou redução do ângulo microfibrilar no sentido medula-casca, encontrando valores entre 15° a 20°.

## 5 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que os genótipos se comportaram de formas distintas, com destaque para os genótipos constituídos apenas por *E. urophylla*, que obteve maiores valores de comprimento e espessura da parede das fibras, se comparado aos demais, mesmo estando em sítios de coletadas distintos.

Observou-se uma pequena tendência contrária entre o ângulo microfibrilar e as dimensões das fibras, sendo que, conforme as dimensões das fibras aumentam, o AMF diminui. No entanto, maiores estudos são necessários para a confirmação desse padrão.

No que tange à variação radial, pode-se concluir que as dimensões das fibras aumentam no sentido medula-casca, entretanto, o ângulo microfibrilar diminui.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSSON, S. et al. Microfibril angle of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] compression wood: comparison of measuring techniques. **Journal of Wood Science**, London, v. 46, p. 343-349, Oct. 2000.
- BAILLERES, H. et al. Structure, composition chimique et retreats de maturation du bois chez les clones d'*Eucalyptus*. **Annals of Forest Science**, Les Ulis, n. 52, p. 157-172, 1995.
- BARBER, N.; MEYLAN, B. The anisotropic Shrinkage of wood: a theoretical model. **Holzforschung**. International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood, Berlin, v. 18, n. 5, p. 146-156, 2009.
- BARBER, N. F. A theoretical model of shrinking wood. **Holzforschung**, Wien, v. 22, p. 97-103, 1968.
- BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. Variabilidade longitudinal e radial da madeira de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 17., 1984, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel, 1984. p. 403-409.
- BOYD, J. D. Relationships between fibre morphology, growth strains and physical properties of wood. **Australian Forest Research**, Canberra, v. 10, n. 4, p. 337-360, 1980.
- CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D.; ASSI, P. P. Mensuração do comprimento das fibras para a determinação da madeira juvenil em *Eucalyptus citriodora*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p. 113-121, 2005.
- DONALDSON, L. Microfibril angle: measurement, variation and relationship: a review. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 29, n. 4, p. 387-396, 2008.
- EVANGELISTA, W. V. et al. Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 273-284, 2010.
- FERREIRA, C. A. **Caracterização anatômica, secagem e carbonização da madeira de clones de *Eucalyptus* e espécies do Cerrado**. 2012. 94 p. Dissertação (Mestrado em Processamento e Utilização da Madeira)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, mar./abr. 2014.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and woodresin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, London, v. 155, n. 3924, p. 51, Jan. 1945.

HARRIS, J. M.; MEYLAN, B. A. The influence of microfibril angle on longitudinal and tangential shrinkage in *Pinus radiata*. **Holzforschung**, Berlin, v. 19, p. 144-153, 1965.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS. List of microscopic features for hardwoods identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 10, p. 220-332, 1989.

KELSEY, K. E. **A critical review of the relationship between the Shrinkage and structure of wood**. Melbourne: CSIRO, 1963. 35 p. (Division of Forest Products Technological Paper, 28).

LIMA, J. T.; BREESE, M. C.; CAHALAN, C. M. Variation in microfibril angle in *Eucalyptus* clones. **Holzforschung**, Berlin, v. 58, n. 2, p. 160-166, 2004.

LIMA, L. C. **Variação do ângulo microfibrilar e do conteúdo de Lignina na parede celular das fibras da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***. 2015. 52 p. Dissertação (Mestrado em Processamento e Utilização da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

LOPES, O. P. **Anatomia e identificação da madeira de genótipos de *Eucalyptus* spp. plantados no Estado de Minas Gerais**. 2013. 93 p. Dissertação (Mestrado em Processamento e Utilização da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

MEYLAN, B. A. Cause of high longitudinal shrinkage in wood. **Forest Products Journal**, Madison, v. 18, n. 4, p. 75-78, 1968.

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

PRESTON, R. D. **The physical biology of plant cell walls**. London: Chapman & Hall, 1974. 491 p.

RIBEIRO, A. O.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Características das dimensões das fibras e análise do ângulo microfibrilar de *Tooma ciliata* cultivada em diferentes localidades. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 1, p. 47-56, 2011.

STUART, S. A.; EVANS, R. X-ray diffraction estimation of the microfibril angle variation in eucalypt wood. **Appita Journal**, Victoria, v. 48, n. 3, p. 197-200, 1995.

TRUGILHO, P. F. et al. Clones de *Eucalyptus* versus a produção de polpa celulósica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 145-155, 2005.

YAMAMOTO, H.; OKUYAMA, T.; YOSHIDA, M. Growth stress generation and microfibril angle in reaction wood. In: BUTTERFIELD, B. G. (Ed.). **Microfibril angle in wood**. Westport: International Association of Wood Anatomists, 1997. p. 225-239.

YOSHIDA, M.; OKUYAMA, T.; YAMAMOTO, H. Tree forms and internal stress III: growth stresses of branches. **Mokuzai Gakkashi**, Tokyo, v. 38, n. 7, p. 663-668, 1992.



## CAPÍTULO 4 Características morfoanatômicas dos elementos traqueais de clones de *Eucalyptus* L'Héritier

### RESUMO

Dentre as adaptações essenciais para a conquista do ambiente terrestre, destacam-se as células do xilema secundário, adaptadas para as diferentes funções de condução e sustentação, funções essas que outrora eram realizadas pela mesma célula. O objetivo, no presente estudo, foi a caracterização morfológica dos elementos traqueais de seis genótipos de *Eucalyptus*, bem como suas relações ecológicas. Os elementos traqueais foram descritos conforme as normas recomendadas para anatomia da madeira IAWA. A mensuração da inclinação da placa de perfuração foi realizada empregando-se o método de elementos de vasos individuais, utilizando a objetiva de 10x, a partir do material macerado em *software* previamente calibrado. Os elementos de vasos dos seis genótipos foram distintos entre si e ainda distintos no sentido medula-casca, sendo menor na posição intermediária para todos os genótipos, com exceção dos genótipos 5 e 6. A inclinação da placa de perfuração foi relacionada com a idade e os locais onde foram coletados, sendo menor na área de coleta A. Esses espécimes também são os mais novos em idade, se comparados aos demais, evidenciando, assim, a relação com a idade e a precipitação anual.

**Palavras-chave:** Placas de perfuração. Elementos de vasos. Ângulo de inclinação. Ecologia.

### ABSTRACT

Among these adaptations essential for the conquest of the terrestrial environment are the cells of the secondary xylem adapted for the different functions of conduction and sustentation, functions that were once performed by the same cell. The objective of the present study was the morphological characterization of the tracheal elements of six *Eucalyptus* genotypes, as well as their ecological relations. The tracheal elements were described according to the recommended standards for IAWA wood anatomy. The measurement of the inclination of the drilling plate was performed using the individual vessels method, using the 10x objective, from the macerated in previously calibrated software. The vessels of the six genotypes were distinct from each other and were distinct in the medulla-bark direction, being lower in the intermediate position for all clones except for genotype 5 and 6. The inclination of the perforation plate was related to age and where the

specimens were collected, being smaller in the site A collection area, and even younger ones, when compared to the others.

**Keywords:** Vessels. Perforate plate. Angle inclination. Ecology.

## 1 INTRODUÇÃO

A condução de água e ions minerais nas plantas vasculares é realizada pelo xilema, o qual é classificado como um tecido heterogêneo complexo, constituído por diferentes tipos de células, que realizam funções diferentes. A formação de elementos traqueais especializados na condução de solutos por toda a planta possibilitou a conquista do ambiente terrestre, a menor dependência da água para a reprodução e, ainda, estabeleceu que ela fosse transportada de forma eficiente, por grandes distâncias, por todas as partes do vegetal (CHRISTMAN; SPERRY, 2010).

Nas gimnospermas, consideradas traqueófitas mais primitivas, os elementos traqueais são constituídos por traqueídes, que exercem simultaneamente a função de sustentação, condução de água e ions minerais. Já nas angiospermas, a função de sustentação é realizada pelas fibras e a condução é realizada pelos elementos de vaso, que são caracterizados pelas aberturas nas paredes terminais, chamadas de placas de perfuração. Estas placas podem ser divididas em quatro tipos principais, que são reticulado, foraminado, escalariforme e simples, sendo este último considerado mais especializado (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

A variação plástica que ocorre no xilema secundário afeta claramente as dimensões dos elementos celulares, sendo atribuída a fatores de ordem genética e ambiental, como posição axial ou radial, exposição a ventos e intensidade solar, espaçamento, incidência de pragas e doenças, etc. (ALVES; ANGYALOSSY-ALFONSO, 2002; LIMA; SILVA; LAVORANTI, 2011; MARQUES et al., 2012; SARAMPAA, 2003; TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996).

Dentre os caracteres xilemáticos que têm maior plasticidade estão os elementos de vasos, que podem se adaptar a diferentes habitats. Sua disposição

no lenho, o diâmetro, o comprimento e a frequência podem sofrer alterações conforme a necessidade do vegetal. No entanto, um detalhe da morfologia dos elementos de vaso, suas relações ecológicas permanecem pouco elucidadas. Sabe-se que os elementos de vasos mais especializados têm menor comprimento e maior diâmetro, placa de perfuração simples a qual está tendendo a uma horizontalidade (BURGER; RICHTER, 1991; CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). No entanto, estudos relacionados ao ângulo de inclinação da placa de perfuração e suas relações com a ecologia, bem como suas relações com as espécies, ainda são escassos.

O gênero *Eucalyptus*, de ocorrência natural na Austrália, tem cerca de 700 espécies adaptadas às mais diversas condições de clima e solo. Pertencente à família botânica Myrtaceae, a espécie apresenta, ainda, em sua composição estrutural celular, além de fibras e elementos de vasos, a presença de fibrotraqueídes, que são células intermediárias entre as traqueídes primitivas e as fibras especializadas. Alguns autores consideram Myrtaceae uma família basal entre as traqueófitas, devido às características como sua estrutura anatômica e presença de fibrotraqueídeos (LUCAS et al., 2005; MERWE; WYK; BOTHA, 2005; MONTAGU; KEARNEY; SMITH, 2003; WILSON et al., 2005).

Sendo assim, o presente estudo foi realizado com o objetivo de realizar uma análise morfo-anatômica nos elementos de vaso do xilema secundário em plantios comerciais de *Eucalyptus*, bem como a variação radial entre os genótipos entre os indivíduos e, ainda, a relação com os demais parâmetros dos elementos traqueais.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de coleta e identificação do material

O presente estudo foi realizado utilizando-se madeiras comerciais provenientes de plantios florestais localizados no estado de Minas Gerais. Para a identificação dos três sítios de coleta, eles foram denominados de **A**, **B** e **C**. Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados dados gerais sobre os genótipos utilizados e os locais de coleta.

O Sítio **A** está localizado no município de Belo Oriente, mesorregião do Rio Doce, microrregião de Ipatinga, nas coordenadas geográficas 19°13'04'' de latitude sul e 42°27'26'' de longitude oeste. Dois clones/híbridos foram coletados neste sítio, *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. O sítio **B** está localizado no município de Curvelo, localizado na mesorregião central do estado, microrregião de Curvelo, nas coordenadas geográficas 18°44'57'' de latitude sul e 44°26'32'' de longitude oeste. Dois genótipos de *Eucalyptus urophylla* foram coletados neste sítio. O sítio **C** localiza-se no município de Paraopeba, na mesorregião metropolitana de Belo Horizonte e microrregião de Sete Lagoas (Figura 1). As coordenadas geográficas são 19°16'54'' de latitude sul e 44°24'32 de longitude oeste. Foram dois os genótipos coletados neste sítio, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis*.

### 2.2 Amostragem do material

Para as análises microscópicas foram utilizados três indivíduos de cada genótipo, obtendo-se sua variação radial, que foram subdivididos em externo, intermediário e interno. Os corpos de prova destinados a análises anatômicas foram obtidos a partir de discos de 5 cm de espessura, aproximadamente, retirados a um 1,30 m de altura a partir do solo (DAP). As dimensões estipuladas

foram de, aproximadamente, de 1,5 x 1,5 x 1,5 cm, nos planos transversal e longitudinal radial e tangencial.

### **2.3 Lâminas histológicas**

Os corpos de prova foram submetidos à saturação em água e os cortes histológicos foram obtidos com o auxílio de um micrótomo de deslize, com espessura de 16 a 20  $\mu\text{m}$ . Primeiramente, os cortes foram clarificados com uma solução de hipoclorito de sódio comercial (20%); em seguida, os cortes foram imersos em série alcoólica, sendo álcool 20% coloração com safranina hidroalcoólica; álcool 50%; álcool 70%; álcool absoluto; álcool-acetato 3:1, 1:1 e 1:3 e, por fim, acetato. Após coloração e desidratação, os cortes foram montados em lâmina e lamínula em Enterllan®.

### **2.4 Ângulo da placa de perfuração**

Para a obtenção do ângulo de inclinação da placa de perfuração, primeiramente, as imagens foram coletadas com o auxílio de câmera fotográfica acoplada ao microscópio óptico Olympus e ao computador, utilizando o *software* Wincell®. As imagens foram coletadas com a objetiva de 10x. Para a mensuração do ângulo de inclinação, foi utilizado o *software* livre da Zeiss, Axio Vision SE64 Rel. 4.9.1.

As análises biométricas dos elementos traqueais foram realizadas no Laboratório de Anatomia da Madeira da Universidade Federal de Lavras (UFLA), seguindo as normas para anatomia da madeira do comitê IAWA (INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS - IAWA, 1989). As análises foram obtidas com o auxílio do microscópio ótico acoplado ao computador, utilizando-se o *software* Wincel®.

Tabela 1 - Identificação dos genótipos.

<b>Genótipos</b>		<b>Sítios</b>
<b>1</b>	<i>Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis</i>	<b>A</b>
<b>2</b>	<i>Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis</i>	<b>A</b>
<b>3</b>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	<b>B</b>
<b>4</b>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	<b>B</b>
<b>5</b>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	<b>C</b>
<b>6</b>	<i>Eucalyptus urophylla x Eucalyptus camaldulensis</i>	<b>C</b>

Fonte: Da autora (2017).

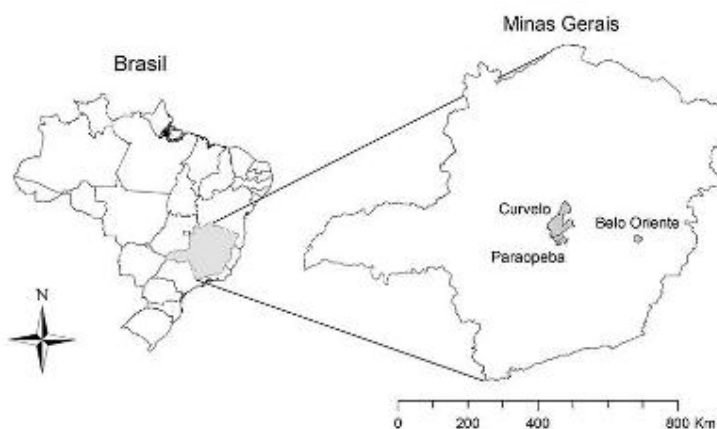
Tabela 2 - Características das áreas de coleta.

<b>Genótipos</b>	<b>Região</b>	<b>Idade (anos)</b>	<b>Precipitação anual (média)</b>	<b>Clima</b>	<b>T°C média</b>
<b>1</b>	Belo Oriente	6,33	1165 mm	Aw	23,7
<b>2</b>	Belo Oriente	6,41	1165 mm	Aw	23,7
<b>3</b>	Curvelo	7,17	1221 mm	Aw	21
<b>4</b>	Curvelo	6,8	1221 mm	Aw	21
<b>5</b>	Paraopeba	7	1244 mm	Aw	21,8
<b>6</b>	Paraopeba	7	1244 mm	Aw	21,8

Classificação Koppen: Aw é tropical úmido.

Fonte: Da autora (2017).

Figura 1 - Localização das áreas/sítios de coleta do material de estudo.



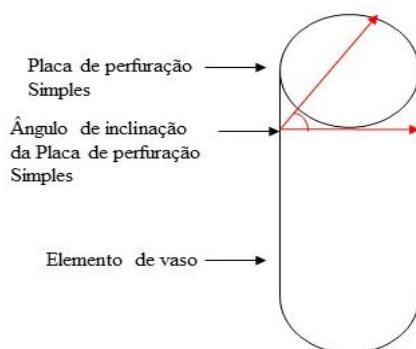
Fonte: Da autora (2017).

## 2.5 Análises de dados

Os dados coletados foram primeiramente tabulados com o auxílio do *software* Excel®, para a obtenção dos valores máximo, mínimo, média, desvio padrão e coeficiente de variação, e confecção dos gráficos e análises de regressão.

As análises estatísticas dos dados foram realizadas no *software* estatístico SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2014), em que foram realizados a análise de variância e o teste de interação entre as características estudadas. Na avaliação do experimento considerou-se o delineamento inteiramente casualizado, subparcelas, sendo eles seis clones com três indivíduos cada, e esses indivíduos subdivididos em três posições radiais (externa, intermediária e interna). Para a análise de variância foi realizado o teste de Scott Knott, a 5% de significância. Foi realizado o Teste de Bartlett, a 5%, para verificar a homogeneidade de variâncias e também o teste Shapiro-Wilk a 5% para verificar a normalidade dos resíduos.

Figura 2 - Esquema de mensuração do ângulo da placa de perfuração dos elementos de vaso.



Fonte: Da autora (2017).



### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Descrição morfológica dos elementos de vasos

De forma geral, todos os genótipos apresentaram morfologias semelhantes para os elementos de vaso, apresentando elementos com comprimento e diâmetro classificados como “médios” (acima de 350  $\mu\text{m}$  e de 100 a 200  $\mu\text{m}$ , respectivamente), frequência média (20-40  $\text{mm}^2$ ), presença de apêndices em uma das extremidades, podendo ocorrer, em ambas as extremidades, pontoações intervasculares alternas pequenas e placas de perfuração simples (Figuras 3, 4, 5 e 6). Ao que parece, a presença de apêndice pode estar relacionada ao grau de maturação dos elementos de vasos e, ainda, à inclinação da placa de perfuração, visto que os espécimes mais novos apresentaram menor grau de inclinação da placa. Estudos relacionam a presença de apêndice nas extremidades dos elementos de vasos como sendo resquício das iniciais fusiformes que as formaram.

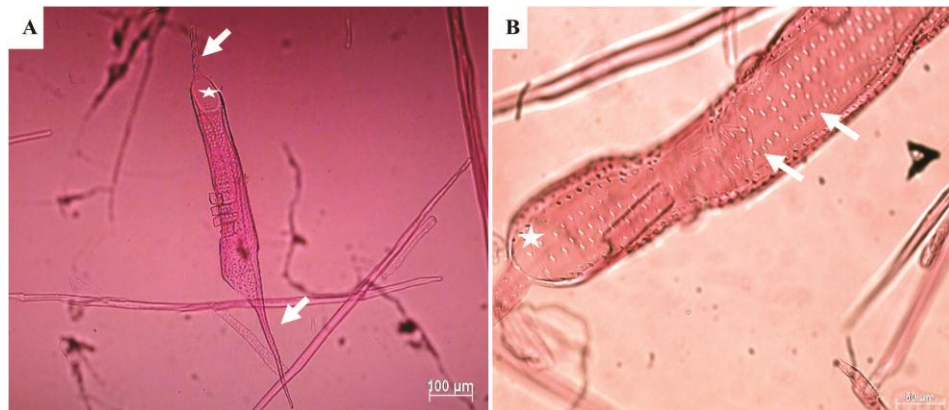
Na Tabela 3 apresentam-se os valores gerais para as características quantitativas dos elementos de vaso dos genótipos de *Eucalyptus*, em que não houve interações para os seguintes caracteres e posições radiais: diâmetro dos elementos de vaso, pontoações intervasculares e ângulo de inclinação da placa de perfuração. Entretanto, houve interações e diferenças significativas para comprimento e frequência por  $\text{mm}^2$  dos elementos de vaso.

De forma geral, o comprimento dos elementos de vaso foi maior na posição externa e menor na posição interna, com exceção do genótipo 2, que teve seu maior valor médio na posição intermediária. Porém, não foi estatisticamente diferente do valor médio da posição externa e o genótipo 5, que obteve seu menor valor médio na posição intermediária, sendo diferentes estatisticamente. Houve diferenças significativas entre os genótipos, tendo o

maior valor para comprimento dos elementos de vasos sido obtido pelo genótipo 3 (479,32  $\mu\text{m}$ ) e o menor valor médio foi obtido pelo genótipo 2 (262,71  $\mu\text{m}$ ).

Para frequência dos elementos de vasos por  $\text{mm}^2$ , a tendência geral foi de maior número de elementos de vasos na posição interna, ao passo que a posição externa obteve os menores valores, com exceção dos genótipos 5 e 6, cujos maiores valores foram obtidos na posição intermediária. Entretanto, não foram distintos estatisticamente. Os maiores valores médios para frequência de elementos de vasos foram obtidos pelo genótipo 3 (34 vasos  $\text{mm}^2$ ) e o menor valor foi obtido pelo genótipo 2 (18 vasos por  $\text{mm}^2$ ).

Figura 3 - Morfologia dos elementos de vaso. (A) presença de apêndice em ambas as extremidades (setas) e placa de perfuração simples (estrela). (B) placa de perfuração simples (estrela) e pontoações vasculares alternas pequenas.



Fonte: Da autora (2017).

Tabela 3 - Biometria dos elementos vasculares. (Continua)

Posição	1	2	3	4	5	6
Comprimento de elementos de vasos ( $\mu\text{m}$ )						
<b>Externo</b>	420,07 bA	366,43 bA	479,32 aA	405,87 bA	465,62 aA	390,47 bA
<b>Intermediário</b>	358,34 bB	370,79 bA	440,65 aA	348,98 bB	393,38 bB	355,90 bA
<b>Interno</b>	309,09 bB	262,71 bB	333,25 bB	295,75 bB	419,82 aB	338,06 bA
<b>Média</b>	362,50	333,31	417,74	350,20	426,27	361,48
<b>cv (%)</b>	14,45	17,64	18,31	15,57	9,30	9,56
Diâmetro dos elementos de vasos ( $\mu\text{m}$ )						
<b>Externo</b>	114,57*	149,30*	129,46*	131,86*	117,88*	132,40*
<b>Intermediário</b>	163,28*	148,79*	128,27*	128,31*	122,00*	133,88*
<b>Interno</b>	141,32*	116,95*	119,32*	128,14*	112,51*	117,86*
<b>Média</b>	149,72	138,34	125,68	129,44	117,47	128,05
<b>cv (%)</b>	8,78	12,32	11,16	9,38	5,66	8,22
Pontoações ( $\mu\text{m}$ )						
<b>Externo</b>	4,71*	4,01*	3,87*	4,43*	4,78*	4,40*
<b>Intermediário</b>	4,55*	3,89*	4,31*	4,25*	4,78*	4,36*
<b>Interno</b>	4,26*	3,95*	5,23*	4,13*	4,57*	4,62*
<b>Média</b>	4,50	3,95	4,47	4,26	4,70	4,46
<b>cv (%)</b>	10,89	5,12	20,80	6,09	8,39	9,65
Frequência de vasos por $\text{mm}^2$						
<b>Externo</b>	20,65 aB	17,58 aB	23,79 aB	20,97 aB	23,09 aA	20,69 aB
<b>Intermediário</b>	19,60 bB	19,31 bB	22,92 bB	23,50 bB	23,40 bA	28,39 aA
<b>Interno</b>	26,91 bA	25,01 bA	33,80 aA	29,02 bA	23,23 bA	27,56 bA
<b>Média</b>	22,39	20,64	26,84	24,50	23,24	25,55
<b>cv (%)</b>	16,72	18,56	20,43	20,01	8,41	19,60

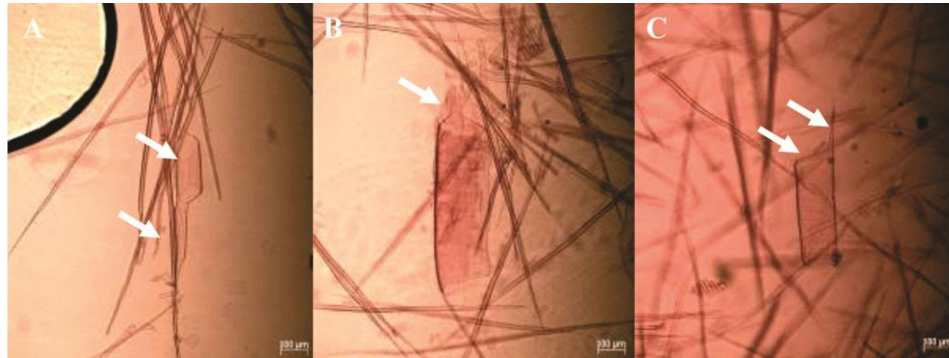
Tabela 3 - Biometria dos elementos vasculares. (Conclusão)

<b>Posição</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
	Ângulo da placa de perfuração ( ° )					
<b>Externo</b>	26,58*	25,02*	34,01*	29,37*	35,41*	33,41*
<b>Intermediário</b>	23,91*	25,23*	31,30*	28,35*	31,17*	33,72*
<b>Interno</b>	29,83*	28,21*	36,88*	30,92*	33,68*	32,92*
<b>Média</b>	26,78	26,15	34,06	29,55	33,42	32,68
<b>cv (%)</b>	17,12	11,75	11,05	12,15	12,73	9,58

Letras minúsculas, comparação entre os genótipos e letras maiúsculas, entre as posições radiais. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

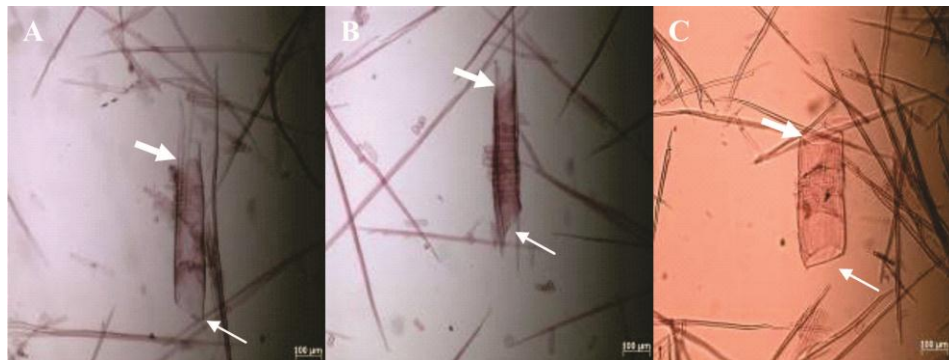
Fonte: Da autora (2017).

Figura 4 - Material macerado evidenciando a morfologia dos elementos de vasos de *E. urophylla* x *E. grandis*. Em (A), detalhe da inclinação da placa de perfuração e a presença de apêndice na posição radial “externa” (seta). Em (B), detalhe do apêndice no elemento de vasos da posição “intermediária” (seta). E em (C), inclinação da placa de perfuração e presença de apêndice (seta).



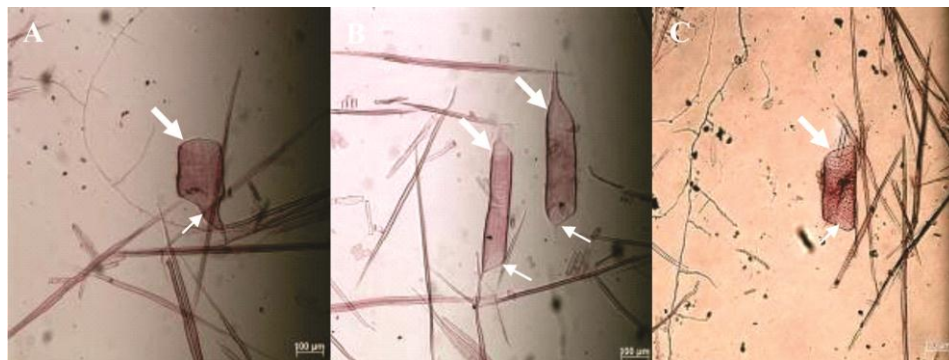
Fonte: Da autora (2017).

Figura 5 - Morfologia dos elementos de vasos de *E. urophylla*. Em (A), detalhe da inclinação da placa de perfuração e presença de apêndice na posição radial “externa”(seta). Em (B), detalhe do apêndice no elemento de vasos da posição “intermediária”(seta). E em (C), inclinação da placa de perfuração (seta).



Fonte: Da autora (2017).

Figura 6 - Morfologia dos elementos de vasos de *E. urophylla* x *E. camaldulensis*. Em (A), detalhe da inclinação da placa de perfuração e a presença de apêndice na posição radial “externa”(seta). Em (B), detalhe do apêndice no elemento de vasos da posição “intermediária”(seta). E em (C), inclinação da placa de perfuração e a presença de apêndice (seta).



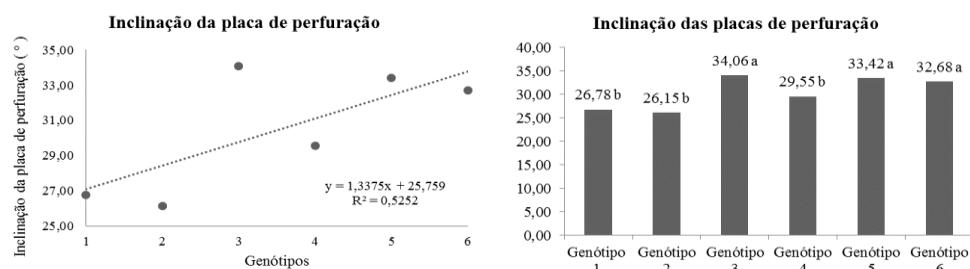
Fonte: Da autora (2017).

### 3.2 Variação do ângulo da placa de perfuração entre os genótipos

Houve diferenças significativas entre os genótipos para inclinação da placa de perfuração dos elementos de vasos no presente estudo (Figura 7), tendo os maiores valores sido obtidos pelo genótipo 3 ( $34,06^\circ$ ). No entanto, os menores valores médios foram obtidos pelo genótipo 2 ( $26,78^\circ$ ). De forma geral, os genótipos de *E. urophylla* x *E. grandis*, pertencentes ao sítio de coleta A, obtiveram os menores valores médios de inclinação da placa de perfuração, ao passo que os genótipos do sítio C obtiveram os maiores valores. Houve diferenças significativas entre os dois genótipos pertencentes ao sítio B, tendo os dois genótipos sido sujeitos às mesmas condições edafoclimáticas e, no entanto, foram distintos. Entretanto, os genótipos diferem na idade, sendo o genótipo 3, que tem o maior valor de inclinação da placa de perfuração, o mais velho (7,17 anos), se comparado aos demais genótipos e, principalmente, ao genótipo 4 (6,8 anos), pertencente ao mesmo local de coleta. Apesar de serem genótipos

distintos, os espécimes pertencentes ao sítio de coleta C não tiveram diferenças significativas, estando seus valores médios bem próximos.

Figura 7 - Inclinação da placa de perfuração dos elementos de vaso para os genótipos de *Eucalyptus*. Valores seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

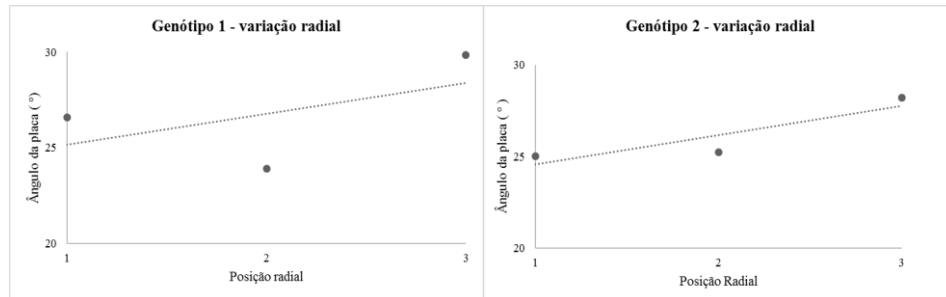


Fonte: Da autora (2017).

### 3.3 Variação radial da placa de perfuração entre os genótipos

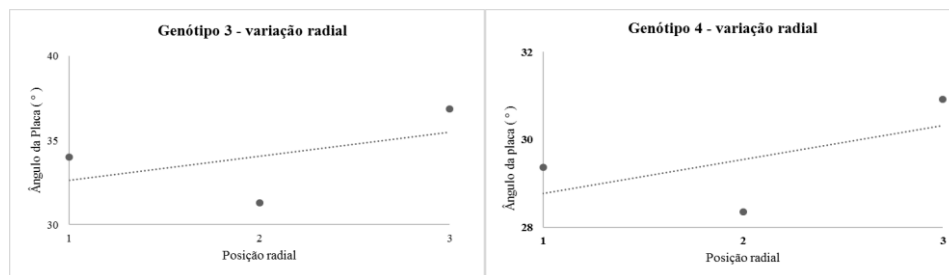
A variação radial da inclinação da placa de perfuração foi observada no presente estudo e está representada nas Figuras 8, 9 e 10. Para todos os genótipos estudados, a inclinação da placa de perfuração foi menor na posição radial intermediária, se comparada à posição externa e posição interna. De forma geral, os maiores valores de inclinação foram observados na posição interna, mais próxima à medula, com exceção dos genótipos no sítio de coleta C, que obtiveram os maiores valores de inclinação da placa de perfuração na posição externa mais próxima à casca.

Figura 8 - Inclinação da placa de perfuração dos elementos de vasos dos genótipos de *E. urophylla* x *E. grandis*, em diferentes posições radiais (externo =1; intermediário=2 e interno=3).



Fonte: Da autora (2017).

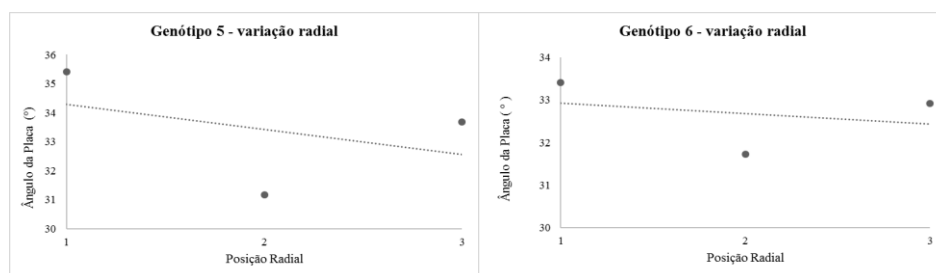
Figura 9 - Inclinação da placa de perfuração dos elementos de vasos dos genótipos de *E. urophylla*, em diferentes posições radiais (externo =1; intermediário=2 e interno=3).



Fonte: Da autora (2017).



Figura 10 - Inclinação da placa de perfuração dos elementos de vasos dos genótipos de *E. urophylla* (genótipo 5) e *E. urophylla* x *E. camaldulensis* (genótipo 6), em diferentes posições radiais (externo=1; intermediário=2 e interno=3).

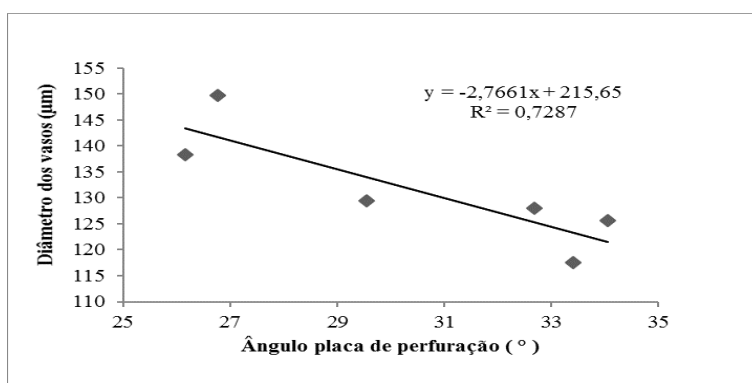


Fonte: Da autora (2017).

### 3.4 Ângulo da placa de perfuração x diâmetro dos elementos de vaso

Houve relação forte e inversa entre o ângulo da placa de perfuração e o diâmetro dos elementos de vasos entre os genótipos estudados. A relação estabelece que, quanto maior o diâmetro tangencial dos elementos de vasos, menor foi a inclinação da placa de perfuração, como apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Ângulo da placa de perfuração dos diferentes genótipos de *Eucalyptus* em função do diâmetro dos elementos de vasos.

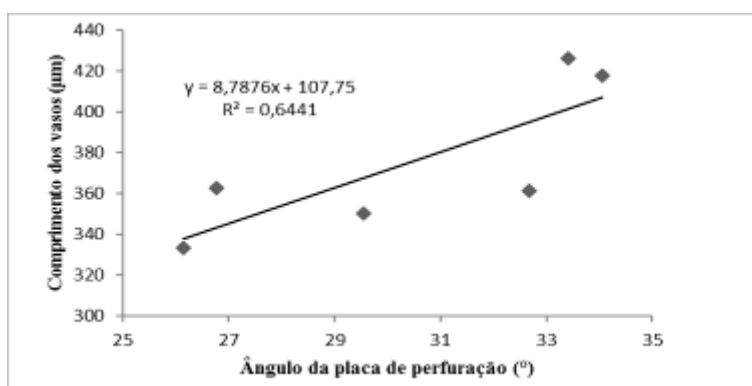


Fonte: Da autora (2017).

### 3.5 Ângulo da placa de perfuração x comprimento dos elementos de vasos

Já as relações entre o comprimento e o ângulo de inclinação da placa de perfuração dos elementos de vasos apresentaram-se fortes e positivas (Figura 12). A relação foi linear entre o comprimento e a inclinação da placa de perfuração dos elementos de vasos, aumentando conforme o outro aumenta.

Figura 12 - Ângulo da placa de perfuração dos diferentes genótipos de *Eucalyptus*, em função do comprimento dos elementos de vasos.

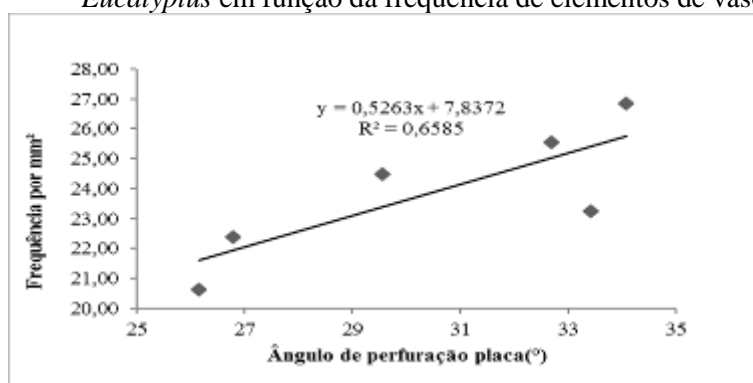


Fonte: Da autora (2017).

### 3.6 Ângulo da placa de perfuração x frequência dos elementos de vasos

A relação entre o ângulo da placa de perfuração e a frequência de elementos de vasos por  $\text{mm}^2$  é demonstrada na Figura 13, que se apresentou positiva e forte ( $R^2 = 0,6719$ ), ou seja, à medida que a frequência dos elementos de vasos por  $\text{mm}^2$  aumenta, a inclinação da placa de perfuração também aumenta.

Figura 13 - Ângulo da placa de perfuração dos diferentes genótipos de *Eucalyptus* em função da frequência de elementos de vasos.

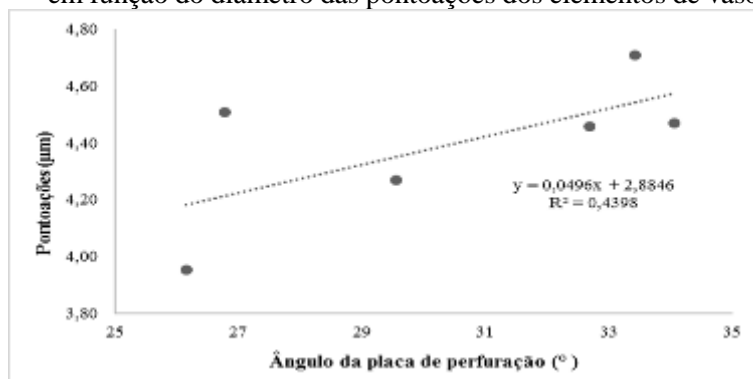


Fonte: Da autora (2017).

### 3.7 Ângulo da placa de perfuração x diâmetro das pontoações

A relação entre o ângulo da placa de perfuração e o diâmetro das pontoações intervasculares é apresentada na Figura 14. A relação mostrou-se positiva e de grau médio ( $R^2 = 0,4398$ ), ou seja, à medida que o diâmetro das pontoações aumenta, a inclinação da placa de perfuração também aumenta, mas não foi comum em todos os genótipos, podendo ter sofrido influência de fatores microclimáticos.

Figura 14 - Ângulo da placa de perfuração dos diferentes genótipos de *Eucalyptus*, em função do diâmetro das pontoações dos elementos de vasos.



Fonte: Da autora (2017).

#### 4 DISCUSSÃO

De maneira geral, a morfologia dos elementos traqueais foi bastante semelhante, sendo encontrada a presença de elementos de vasos com contorno circular e de placas de perfuração simples, além de apêndice presente em uma, podendo ocorrer nas duas extremidades e pontoações intervasculares alternas pequenas, corroborando dados encontrados na literatura (EVANGELISTA et al., 2010; FERREIRA, 2012; LOPES, 2013).

De forma evolutiva e com vantagens fenotípicas (menor resistência ao fluxo), as placas de perfuração simples são maioria nas espécies tropicais, podendo, ainda, uma mesma espécie apresentar mais de um tipo de placa, dependendo do ambiente onde está inserida ou, ainda, a junção de dois tipos em uma mesma extremidade terminal, chamada placa de perfuração dimórfica (BURGER; RICHTER, 1991). Burger e Richter (1991), Carlquist (2001) e Castro, Pereira e Paiva (2009) ressaltam que há uma tendência evolutiva de que os elementos de vaso estejam cada vez com menores comprimentos, maiores diâmetros, com placas de perfuração simples e menos inclinada, o que favorece a condução hídrica, diminuindo a resistência ao fluxo. Carlquist e Schneider (2002) ressaltam que o aumento progressivo da área de condução das paredes finais dos elementos traqueais, na transição das placas de perfuração escalariformes para simples, foi essencial para a adaptação das plantas em diversos ambientes.

Segundo diversos estudos para características anatômicas da madeira de *Eucalyptus*, incluindo os de Evangelista et al. (2010), Ferreira (2012) e Lopes (2013), as placas de perfuração para essas espécies são simples. No entanto, não há relatos de inclinação da placa de perfuração para espécies pertencentes ao gênero. Os valores médios encontrados para o ângulo de inclinação da placa de perfuração para os elementos de vasos, em todos os genótipos de *Eucalyptus*,

foram entre 26°-34°, ou seja, uma inclinação acentuada, se comparada a outros trabalhos dedicados a mensurar essa inclinação.

Ellerby e Ennos (1998) encontraram valores de inclinação médios para placas de perfuração simples e escalariformes entre 9-32°, em diferentes espécies. Christman e Sperry (2010), trabalhando com espécies arbóreas, se dedicaram a avaliar a resistência ao fluxo das placas escalariforme em relação às simples e encontraram ângulos de inclinação das placas de 5,3°-24°. Espécies mais derivadas tendem a apresentar essa inclinação mais perpendicular ao eixo do elemento de vaso, ou seja, com menor inclinação possível. Esse fator, ao que parece, é evolutivo e determinante para o sucesso dos vegetais, ou seja, espécies sujeitas a menores estresses hídricos podem apresentar uma inclinação de placa de perfuração maior, se comparadas àquelas em que é necessária uma maior eficiência hídrica.

O gênero *Eucalyptus* L'Héritier pertence à família botânica Myrtaceae, considerada por alguns autores como sendo basal, por suas características monofiléticas, como a presença de fibrotraqueídeos em sua estrutura anatômica e, ao que parece, a morfologia da placa de perfuração mais inclinada. No Brasil, as espécies de Myrtaceae estão distribuídas na tribo Myrteae, classicamente subdividida em Myrtinae, Eugeniinae e Myrciinae, nomeadas da tribo mais basal para a mais derivada, conforme filogenia com base em dados moleculares, em que clados mais basais foram ocupados por espécies de *Eucalyptus* e *Callistemon*, entre outros gêneros (LUCAS et al., 2005; MERWE; WYK; BOTHA, 2005; WILSON et al., 2005).

Entre os genótipos de *Eucalyptus*, os menores valores médios foram obtidos nos genótipos 1 e 2 (sítio A), enquanto os maiores valores foram obtidos pelos genótipos 5 e 6 (sítio C). Como se observa na Tabela 2, os genótipos coletados no sítio A estavam sujeitos a menores valores de precipitação anual, ao que tudo indica, se comparados aos demais genótipos estudados. Pode-se

afirmar que os dois genótipos precisavam de maior eficiência na condução hídrica, sendo este fator determinante na morfologia dos elementos de vasos, em especial, fazendo com que a resistência ao fluxo fosse diminuída pela tendência geral de a inclinação da placa de perfuração ser baixa, ao passo que os espécimes do sítio C estavam sujeitos a maiores valores de precipitação anual, possivelmente, sem necessidade de uma maior eficiência hídrica. Christman e Sperry (2010), trabalhando com resistência ao fluxo em placas de perfuração simples e escalariformes, encontraram forte relação entre a resistência hidráulica das placas simples e o ângulo de inclinação da placa de perfuração ( $R^2$  0,60), sendo que a resistência diminui conforme a diminuição do ângulo de inclinação da placa. O mesmo foi descrito por Ellerby e Ennos (1998).

Na variação radial, a maioria dos genótipos obteve seus maiores valores de inclinação da placa de perfuração na posição interna, próximo à medula, com exceção dos genótipos 5 e 6, que obtiveram seus maiores valores de inclinação da placa de perfuração na posição externa. O mesmo aconteceu com a inclinação da placa de perfuração. Porém, era esperado que o ângulo da placa de perfuração fosse menor próximo à casca (externa), se comparado às demais posições, pois nessa região está o “alburno”, ou seja, xilema ativo, em que ocorre a condução propriamente dita. No entanto, os menores valores médios para inclinação da placa de perfuração para todos os genótipos foram encontrando na posição intermediária. Ao que parece, esse fato foi possível devido à idade dos espécimes, sendo constituído apenas por madeira em formação, ou seja, madeira juvenil.

Para a variação radial, Barrichelo e Britto (1984), Panshin e Zeeuw (1980) e Ribeiro, Mori e Mendes (2011) ressaltam que, nos primeiros anos de vida, há uma alta atividade cambial; as células tendem a ser mais largas, com acentuados diâmetros e, posteriormente, tendem a estagnar. Daswell (1958), Rocha et al. (2004) e Tomazello Filho (1987) ressaltam que a variação radial é

observada em diversas espécies de *Eucalyptus*, em que o comprimento e o diâmetro dos vasos aumentam e a frequência diminui. A diferença, em termos de madeira juvenil comparada à madeira adulta, está na magnitude das alterações anatômicas e físicas que ocorrem no sentido medula para o câmbio (CALONEGO; SEVERO; ASSIS, 2005).

A maior frequência e o menor diâmetro dos elementos de vasos próximos à medula (posição interna) podem ser justificados pela maior taxa de crescimento do vegetal nos primeiros anos de vida, necessitando de uma maior eficiência no transporte hídrico, sem deixar a segurança de lado, pois um maior número de elementos de vasos com menores diâmetros ajuda a planta na prevenção contra embolia e cavitação, assim como menciona Carlquist (2001). A diversidade estrutural no xilema secundário está, em grande parte, condicionada às variações ambientais, visto que a evolução ou a derivação estão diretamente relacionadas à disponibilidade hídrica e ao desenvolvimento de estratégias para maximizar a condutividade hidráulica e diminuir a cavitação e a resistência ao fluxo aerodinâmico (ENNOS, 1999; SPERRY, 2003).

Já o entre o diâmetro das pontoações e a inclinação das placas de perfurações a relação parece ser estreita. À medida que o diâmetro das pontoações aumenta, mais inclinada fica a placa de perfuração. É possível que, com a diminuição do diâmetro da pontoação e da inclinação da placa final de perfuração, diminua a resistência ao fluxo na direção axial, tornando-a mais eficiente. A relação pode ser semelhante ao que ocorre em espécies que apresentam pontoações guarnecidas, que são quase fechadas e estão presentes em espécies sujeitas a maiores dificuldades hídricas, como ressaltam Marcati Oliveira e Machado (2006) que a ocorrência de pontoações guarnecidas é característica de espécies sujeitas a estresse hídrico, ao contrário, quando pontoações simples são características de espécies que não estão sob estresse hídrico. Os valores de diâmetro das pontoações foram semelhantes aos

encontrados por Lopes (2013), trabalhando com identificação de espécies de *Eucalyptus* para diversos usos tecnológicos, em especial para secagem, visto que pontoações diminutas dificultam o processo de secagem, sendo a movimentação radial da água dificultada pelas pontoações diminutas. No entanto, a movimentação axial pode ser facilitada, devido ao fato de esse fator estar associado a inclinações menores da placa de perfuração, ou seja, mais eficiência hídrica para a planta.



## 5 CONCLUSÃO

Os genótipos de *Eucalyptus* apresentaram uma inclinação acentuada das placas de perfuração dos elementos de vasos, com valores médios de 26° a 34°, podendo ter relação com a idade dos genótipos estudados, pois os espécimes mais jovens tiveram os menores valores de inclinação. Entretanto, os menores valores de precipitação anuais e as maiores temperaturas podem ter tido influência sobre a inclinação, sendo necessários mais estudos para o estabelecimento de relações mais concretas.

Todos os genótipos, independente das espécies e dos locais de coleta, obtiveram seus menores valores de inclinação da placa de perfuração nas posições intermediárias.

Para a relação com os demais caracteres relacionados aos elementos traqueais, à medida que o comprimento e a frequência dos elementos de vasos e o diâmetro das pontoações diminuem, a inclinação da placa de perfuração também diminui; já para o diâmetro dos elementos de vasos, à medida que este aumenta, a inclinação da placa diminui. No entanto, recomendam-se estudos mais detalhados, com materiais genéticos semelhantes, em condições ambientais distintas.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species: 2., axial parenchyma, rays and fibres. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 23, n. 4, p. 391-418, 2002.
- BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. Variabilidade longitudinal e radial da madeira de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 17., 1984, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel, 1984. p. 403-409.
- BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. v. 1, 153 p.
- CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D.; ASSI, P. P. Mensuração do comprimento das fibras para a determinação da madeira juvenil em *Eucalyptus citriodora*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p. 113-121, 2005.
- CARLQUIST, S. **Comparative wood anatomy**: systematic, ecological and evolutionary aspects of dicotyledon wood. 2<sup>nd</sup> ed. Berlin: Springer-Verlag, 2001.
- CARLQUIST, S.; SCHNEIDER, E. L. The tracheid: vessel element transition in angiosperms involves multiple independent features: cladistic consequences. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 89, n. 9, p. 185-195, 2002.
- CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal**: estrutura e função de órgãos vegetativos. Lavras: Ed. UFLA, 2009. 234 p.
- CHRISTMAN, M. A.; SPERRY, J. S. Single vessels flow measurements indicate scalariform perforation plate confer higher flow resistance than previously estimated. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 33, p. 431-443, 2010.
- DASWELL, H. E. Wood structure variations occurring during growth and their influence on properties. **Journal of the Institute of Wood Science**, Tokyo, v. 1, p. 2-23, 1958.
- ELLERBY, D. J.; ENNOS, A. R. Resistances to fluid flow of model xylem vessels with simple and scalariform perforation plates. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 49, n. 323, p. 979-985, June 1998.

ENNOS, A. R. The aerodynamics and hydrodynamics of plants. **The Journal of Experimental Biology**, Cambridge, v. 202, p. 3281-3284, 1999.

EVANGELISTA, W. V. et al. Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 273-284, 2010.

FERREIRA, C. A. **Caracterização anatômica, secagem e carbonização da madeira de clones de *Eucalyptus* e espécies do Cerrado**. 2012. 94 p. Dissertação (Mestrado em Processamento e Utilização da Madeira)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, mar./abr. 2014.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS. List of microscopic features for hardwoods identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 10, p. 220-332, 1989.

LIMA, E.; SILVA, H. D.; LAVORANTI, O. J. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 65, p. 9-17, 2011.

LOPES, O. P. **Anatomia e identificação da madeira de genótipos de *Eucalyptus* spp. plantados no Estado de Minas Gerais**. 2013. 93 p. Dissertação (Mestrado em Processamento e Utilização da Madeira)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

LUCAS, E. J. et al. Phylogenetic patterns in the fleshy-fruited Myrtaceae: preliminary molecular evidence. **Plant Systematics and Evolution**, New York, v. 251, p. 35-51, 2005.

MARCATI, C. R.; OLIVEIRA, J. S.; MACHADO, S. R. Growth rings in cerrado woody species: occurrence and anatomical markers. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 6, n. 3, Sept./Dec. 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/bn/v6n3/v6n3a01.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

MARQUES, P. A. et al. Variação intraespecífica do lenho de *Eugenia uniflora* L. em duas diferentes fitofisionomias do complexo vegetacional atlântico. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 4, p. 483-496, 2012.

MERWE, M. M.; WYK, A. E.; BOTHA, A. M. Molecular phylogenetic analysis of *Eugenia* L. (Myrtaceae), with emphasis on southern African taxa. **Plant Systematics and Evolution**, New York, v. 251, p. 21-34, 2005.

MONTAGU, K. D.; KEARNEY, D. E.; SMITH, R. G. B. The biology and silviculture of pruning planted eucalypts for clear wood production: a review. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 179, n. 1, p. 1-13, 2003.

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

RIBEIRO, A. O.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Características das dimensões das fibras e análise do ângulo microfibrilar de *Tooma ciliata* cultivada em diferentes localidades. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 1, p. 47-56, 2011.

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

SARAMPAA, P. Wood density and growth. In: BARNETT, J.; JERONIMIDIS, G. (Ed.). **Wood quality and its biological basis**. Victoria: Blackwell, 2003. p. 87-113.

SPERRY, J. S. Evolution of transport and Xylem structure. **International Journal of Plant Sciences**, Chicago, v. 164, n. S3, p. 115-127, 2003.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 1-15, 1996.

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

WILSON, P. G. et al. Relationships within Myrtaceae sensu lato based on a matK phylogeny. **Plant Systematics and Evolution**, New York, v. 251, p. 3-19, 2005.