

RELAÇÕES MORFO-ANATÔMICAS DOS ELEMENTOS TRAQUEAIS DE GENÓTIPOS DE *Eucalyptus* L'Héritier

Cassiana Alves Ferreira^{1*}, Cláudia Viana Urbinati², Alessandra de Oliveira Ribeiro¹,
Paulo Junio Duarte³, Fábio Akira Mori⁴, Maíra Reis Assis³

SAP 21474 Data do envio: 07/01/2019 Data do aceite: 04/04/2019
Sci. Agrar. Parana., Marechal Cândido Rondon, v. 18, n. 3, jul./set., p. 232-243, 2019

RESUMO - Dentre as diversas adaptações essenciais para a conquista do ambiente terrestre pelas Angiospermas, destacam-se as células especializadas do xilema secundário. Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho analisar morfo-anatomicamente os elementos de vaso do xilema secundário de seis genótipos de *Eucalyptus*, bem como a variação radial dos caracteres, relacionando-os com o ângulo de inclinação da placa de perfuração. De cada genótipo foram obtidos corpos de prova em três posições no sentido medula-casca. A mensuração do ângulo de inclinação da placa de perfuração dos elementos de vaso foi realizada em material macerado, mensurando o ângulo de inclinação da placa de perfuração em relação ao eixo axial, utilizando software com calibração angular conhecida. Os elementos de vaso dos genótipos de *Eucalyptus* tiveram inclinação da placa de perfuração entre 24-37°, em relação ao eixo axial do elemento traqueal. Os menores valores no ângulo de inclinação foram encontrados na posição 2 (intermediária). Ao contrário do esperado, os maiores valores foram observados na posição 1 (interno - próximo à medula), seguidos pela posição 3 (externo-próximo à casca). O aumento nos comprimentos dos elementos de vaso, frequência por mm² e diâmetro das pontoações é diretamente proporcional à inclinação da placa de perfuração. O diâmetro dos elementos de vaso por sua vez apresenta relação inversa, ou seja, a medida que o diâmetro aumenta, o ângulo de inclinação da placa de perfuração diminui.

Palavras-chave: *Eucalyptus* L'Héritier, placas de perfuração, elementos de vaso, ângulo de inclinação, relações ecológicas.

ANATOMIC MORPH RELATIONS OF THE TRACHEAL ELEMENTS OF GENOTYPES OF Eucalyptus L'Héritier

ABSTRACT - Among the several adaptations essential for the conquest of the terrestrial environment by Angiosperms, we highlight the specialized cells of the secondary xylem. In the light of the above, the objective of the present study was to analyze morpho-anatomically the vessel elements of the secondary xylem of six *Eucalyptus* genotypes, as well as the radial variation of the characters, relating them to the angle of inclination of the perforation plate. From each genotype, specimens were obtained in three positions in the marrow-shell direction. Measurement of the inclination angle of the perforation plate of the vessel elements was performed in macerated material, measuring the inclination angle of the perforation plate in relation to the axial axis, using software with known angular calibration. The vessel elements of *Eucalyptus* genotypes had a perforation plate inclination of 24-37° in relation to the axial axis of the tracheal element. The lowest values in the inclination angle were found in position 2 (intermediate). Contrary to expectations, the highest values were observed in position 1 (internal - near the medulla), followed by position 3 (external - near the shell). The increase in vessel element lengths, frequency per mm² and point diameter is directly proportional to the perforation plate inclination. The diameter of the vessel elements in turn has an inverse relationship, ie as the diameter increases, the angle of inclination of the drill plate decreases.

Keywords: *Eucalyptus* L'Héritier, perforate plate, vessels, angle inclination, ecological relations.

¹Doutora em Botânica Aplicada, Departamento de Biologia, Universidade Federal de Lavras (UFLA), *Campus* Universitário, s/n, Lavras, Minas Gerais, Brasil. E-mail: cassianaaf@gmail.com, alebioribeiro@gmail.com. *Autora para correspondência.

²Doutora em Ciências e Tecnologia da Madeira, Departamento de Tecnologia da Madeira, Universidade do Estado do Pará (UEPA), Belém, Pará, Brasil. E-mail: urbinatiuepa@gmail.com.

³Doutorando em Ciências e Tecnologia da Madeira, Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras (UFLA), *Campus* Universitário, s/n, Lavras, Minas Gerais, Brasil. E-mail: pauloduarte.floresta@gmail.com, maira.rassis@gmail.com.

⁴Professor Titular, Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras (UFLA), *Campus* Universitário, s/n, Lavras, Minas Gerais, Brasil. E-mail: morif@ufla.br.

INTRODUÇÃO

A condução de água e minerais nas plantas vasculares é realizada pelos xilemas primário e secundário, que, por sua vez, podem ser classificados como tecido heterogêneo complexo, constituído por diferentes tipos de células que realizam determinadas funções. A formação de elementos traqueais especializados na condução de solutos por toda a planta possibilitou a conquista do ambiente terrestre, menor dependência da água para a reprodução, e ainda estabeleceu a eficiência na condução a 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 e condução de água e minerais. Nas angiospermas, a função de sustentação é realizada pelas fibras libriformes e a condução é realizada pelos elementos de vaso, caracterizados pelas aberturas nas paredes terminais, denominadas de placas de perfuração. Estas podem ser divididas em quatro tipos principais: reticulada, foraminada, escalariforme e simples, sendo essa última considerada a mais especializada (CASTRO et al., 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, posição axial ou radial no caule, exposição a ventos e intensidade solar, tratamentos silviculturais, incidência de pragas e doenças (MARQUES et al., 2012).

Dentre os caracteres xilemáticos que possuem maior plasticidade estão os elementos de vaso, que podem adaptar-se aos diversos habitats. Sua disposição no lenho, diâmetro, comprimento e frequência podem sofrer alterações, conforme a necessidade do vegetal, assim como o tipo e diâmetro das pontuações. No entanto, detalhes sobre a morfologia dos elementos de vaso, suas relações ecológicas, bem como as relações com os demais parâmetros traqueais permanecem pouco elucidados. De modo geral, sabe-se apenas que os elementos de vaso mais especializados possuem menor comprimento e maior diâmetro, placa de perfuração simples e que esta, tende a ser perpendicular ao eixo axial da planta (CASTRO et al., 2009).

O gênero *Eucalyptus* L'Héritier, de ocorrência natural na Austrália, possui cerca de 730 espécies adaptadas as mais diversas condições de clima e solo, tornando-se um gênero promissor para esse tipo de estudo. Pertencente a família botânica Myrtaceae, o gênero possui em sua composição estrutural celular, além de fibras libriformes e elementos de vaso, os fibrotraqueídeos, células intermediárias entre as traqueídes primitivas e as fibras especializadas, por isso a família é considerada por alguns autores como uma família basal entre as traqueófitas, justamente devido à presença de algumas características morfo-anatômicas primitivas, a exemplo, dos fibrotraqueídeos (LUCAS et al., 2005; WILSON et al., 2005).

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho analisar morfo-anatomicamente os elementos de vaso do xilema secundário de seis genótipos de *Eucalyptus*, bem como a variação radial dos caracteres, relacionando-os com o ângulo de inclinação da placa de perfuração.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de coleta e identificação do material

O presente estudo foi realizado utilizando madeiras de genótipos de *Eucalyptus* comerciais provenientes de três plantios florestais (denominados A, B e C), localizados em Minas Gerais/MG (Tabela 1). Segundo a classificação de Köppen e Geiger (1928), o clima destes três sítios é tipo Aw, tropical úmido.

O sítio A se localiza no município de Belo Oriente, mesorregião do Rio Doce, microrregião de Ipatinga, sob coordenadas geográficas: latitude 19°13'04"S e longitude 42°27'26"W. Os genótipos híbridos (1 e 2) foram coletados neste sítio, sendo *E. urophylla* x *E. grandis*. O sítio B se localiza no município de Curvelo, mesorregião central do Estado, microrregião de Curvelo, sob as coordenadas geográficas de 18°44'57"S e 44°26'32"W. Dois genótipos (3 e 4) de *E. urophylla* foram coletados nesse sítio. O sítio C se localiza no município de Paraopeba, mesorregião metropolitana de Belo Horizonte e microrregião de Sete Lagoas, sob as coordenadas geográficas de 19°16'54"S e 44°24'32"W. Foram coletados dois (5 e 6) os genótipos neste sítio, sendo *E. urophylla* e *E. urophylla* x *E. camaldulensis*.

TABELA 1 - Detalhes sobre as áreas de coleta no Estado de Minas Gerais e os genótipos de *Eucalyptus* coletados.

| Genótipos | Sítios | Região | Idade das plantas | Tipos de solo | Precipitação anual | T°C média | DAP (cm) |
|-----------|---------|--------------|-------------------|---------------|--------------------|-----------|----------|
| 1 | Sítio A | Belo Oriente | 6 anos | LAd1 | 1.165 mm | 23,70 | 14,50 |
| 2 | | Belo Oriente | 6 anos | LAW1 | 1.165 mm | 23,70 | 14,80 |
| 3 | Sítio B | Curvelo | 7 anos | LVAAd1 | 1.221 mm | 21,00 | 15,35 |
| 4 | | Curvelo | 6 anos | LVAAd1 | 1.221 mm | 21,00 | 15,27 |
| 5 | Sítio C | Paraopeba | 7 anos | - | 1.244 mm | 21,80 | 16,23 |
| 6 | | Paraopeba | 7 anos | - | 1.244 mm | 21,80 | 15,40 |

*T°C = Temperatura média anual. DAP = Diâmetro médio, medido da altura do peito (ou 1,30 m do solo).

Amostragem do material

Para as análises anatômicas foram utilizados três indivíduos de cada genótipo, dos quais foram obtidos discos com 5 cm de espessura aproximadamente, retirados a 1,30 m de altura a partir do nível do solo. Corpos de prova com 1,5 x 1,5 x 1,5 cm, nos planos transversal e longitudinais radial e tangencial foram retirados dos discos no sentido medula-casca nas seguintes posições: externo (próximo à casca), intermediário e interno (próximo à medula).

Obtenção dos cortes histológicos

Os corpos de prova foram submetidos a saturação em água e os cortes histológicos obtidos com auxílio de um micrótomo de deslize, com espessura de 16 a 20 μm . Primeiramente, os cortes foram clarificados com solução de hipoclorito de sódio comercial, em seguida desidratados em série alcoólica progressiva e acetato de N-Butila (álcool 20%, corados com safranina hidro-alcoólica 1%, álcool 50%, 70%, 80%, 100% e álcool-acetato 3:1, 1:1 e 1:3) e por fim, imersão com acetato. Após a coloração e desidratação, os cortes foram montados entre lâmina e lamínula com Entellan[®].

Mensuração do ângulo da placa de perfuração

O material macerado foi obtido a partir de amostras longitudinais dos corpos de prova e dissociados, utilizando a metodologia proposta por Franklin (1945). Para a obtenção do ângulo de inclinação da placa de perfuração, as imagens dos elementos de vaso dissociados foram coletadas com auxílio de câmera fotográfica, acoplada ao microscópio óptico (marca Olympus[®]) e ao computador, utilizando o

software Wincell[®], utilizando a objetiva de 10x. Para a mensuração do ângulo de inclinação da placa de perfuração os elementos traqueais foram colocados na máxima posição axial e obtidos os valores de angulação da placa utilizando o software Zeiss (Axio Vision SE64 Rel. 4.9.1), conforme esquema da Figura 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 da IAWA Committee (IAWA, 1989).

Análise de dados e delineamento experimental

Os dados quantitativos dos elementos de vaso referentes ao ângulo de inclinação da placa de perfuração, diâmetro, comprimento, frequência/ mm^2 e diâmetro das pontuações foram tabulados, com auxílio do software Excel[®] para a obtenção dos valores máximo, mínimo, média, desvio padrão e coeficiente de variação, bem como para a confecção dos gráficos e análises de regressão.

As análises estatísticas foram realizadas no software estatístico R Studio Versão 3.5.1 (2018), onde foi feita a análise de variância para as características avaliadas. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em subparcelas, sendo seis genótipos e três indivíduos cada (subdivididos em três posições radiais, sendo externa, intermediária e interna). Para a análise de variância realizou-se o teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro e o teste Shapiro-Wilk a 5% de probabilidade de erro para verificar a normalidade dos resíduos.

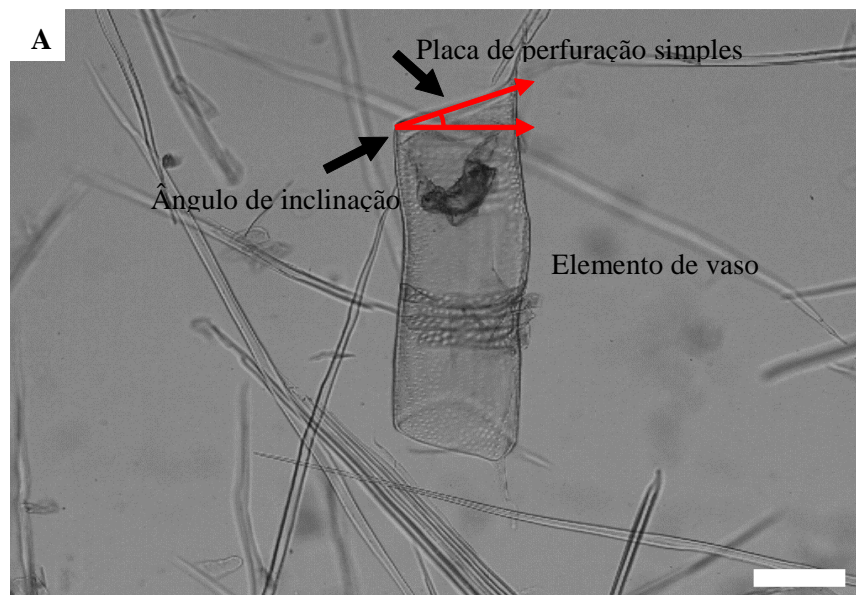


FIGURA 1 - Esquema de mensuração do ângulo da placa de perfuração dos elementos de vaso em *Eucalyptus*. Barra: 100 μm .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características dos elementos de vaso

De maneira geral, os genótipos apresentaram semelhanças morfológicas entre si para os elementos traqueais (Figura 2), como contorno circular; placas de perfuração simples; presença de apêndices em uma das extremidades dos elementos de vaso, eventualmente foram observados apêndices nas duas extremidades da célula, comprimento e diâmetro médio entre 263-479 μm e 100-200 μm , respectivamente. Os elementos de vaso foram

classificados como poucos frequentes (20-40 poros mm^{-2}). Os diâmetros das pontoações vasculares foram considerados pequenos (3,87 a 5,23 μm). Para a inclinação da placa de perfuração simples, foram obtidos ângulos médios de 23,91-36,88°, corroborando Calonego et al. (2005), Evangelista et al. (2010), Brisola e Demarco (2011), Baldin et al. (2017) para genótipos de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. camaldulensis*.

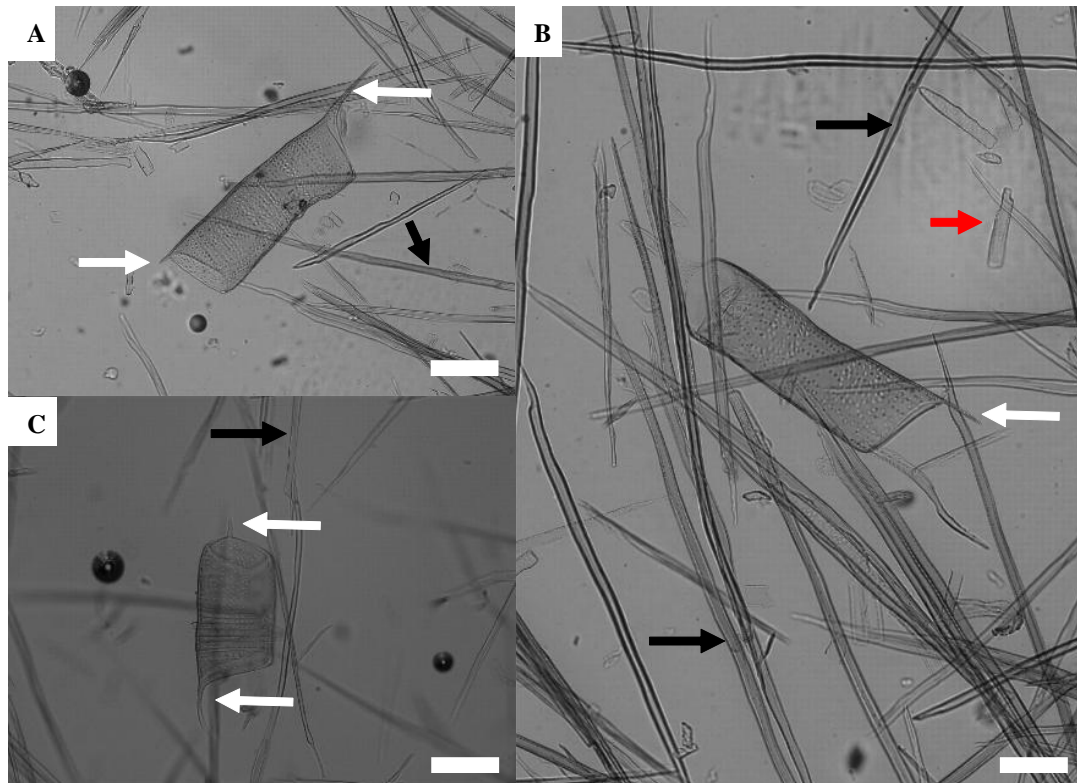


FIGURA 2 - Morfo-anatomia dos elementos de vaso dissociados comuns aos genótipos de *Eucalyptus*. A, B e C = presença de apêndices em ambas as extremidades dos elementos de vaso (setas brancas), fibras xilêmicas libriformes (setas pretas). B = observação de células parenquimáticas dissociadas (setas vermelhas). Barra: 100 μm .

A análise de variância entre os genótipos, elementos traqueais e posições radiais são apresentados na Tabela 2. Não houve diferença significativa para diâmetro dos elementos de vaso, pontoações vasculares e ângulo de inclinação da placa de perfuração entre as posições radiais. Entretanto, verificou-se diferença significativa a 5% de probabilidade de erro para o comprimento e a frequência por mm^2 dos elementos de vaso.

O comprimento dos elementos de vaso foi maior na posição externa (próximo à casca) e menor na interna (próximo à medula), com exceção do genótipo 2 que teve seu maior valor médio observado na posição intermediária e do genótipo 5 que obteve menor valor médio nessa mesma

posição. No genótipo 2 os valores das posições externa e intermediária não diferiram estaticamente entre si. Já no genótipo 5, foram as posições intermediária e a interna que não diferiram estatisticamente. Para o genótipo 6, as 3 posições radiais foram estatisticamente iguais, indicando uma proximidade na biometria dos elementos de vaso. Entre os genótipos observou-se diferença significativa, onde o maior valor médio para comprimento dos elementos de vaso foi encontrado no genótipo 3 (479,32 μm) e menor valor médio no genótipo (262,71 μm).

Para frequência dos elementos de vaso por mm^2 , a tendência geral foi de maior número de elementos de vaso na posição interna (próximo à medula), enquanto a posição

externa (próximo à casca) verificou-se os menores valores, com exceção do genótipo 5, no qual não se observou diferença estatística entre as posições e, o genótipo 6, no qual a média da posição externa foi menor e distinta estatisticamente das demais. Maiores valores médios dos elementos de vaso foram observados para o genótipo 3 (34 vasos/mm²) e os menores para o genótipo 2 (18 vasos/mm²), diferindo estatisticamente dos demais genótipos.

De forma evolutiva e com vantagens fenotípicas (menor resistência ao fluxo), as placas de perfuração simples são a maioria nas espécies tropicais, podendo ainda, uma mesma espécie apresentar mais de um tipo de placa, dependendo do ambiente onde está inserida (FRANKLIN, 2013). Castro et al. (2009) ressaltaram que, existe uma tendência evolutiva de que os elementos de vaso estejam cada vez menores em comprimento, maiores em diâmetro,

com placas de perfuração simples e menos inclinada, o que pode favorecer a condução hídrica, diminuindo assim a resistência ao fluxo hídrico. Carlquist e Schneider (2002) observaram que, o aumento progressivo da área de condução das paredes terminais dos elementos traqueais na transição das placas de perfuração escalariformes para simples foram essenciais para adaptação das plantas em diversos ambientes.

Ao que parece, a presença de apêndice também pode estar relacionada ao grau de maturação dos elementos de vaso, e ainda, a inclinação da placa de perfuração, visto que os espécimes mais novos apresentam menor grau de inclinação da placa. Estudos relacionam a presença de apêndice nas extremidades dos elementos de vasos como sendo resquícios das iniciais fusiformes que as formaram, sendo, no entanto, esta análise não é conclusiva.

TABELA 2 - Biometria dos elementos de vasos e comparação estatística das médias anatômicas entre posições e genótipos.

| Posições | Genótipos | | | | | |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Comprimento dos elementos de vasos (µm) | | | | | | |
| Externo | 420,07 bA* | 366,43 bA | 479,32 aA | 405,87 bA | 465,62 aA | 390,47 bA |
| Intermediário | 358,34 bB | 370,79 bA | 440,65 aA | 348,98 bB | 393,38 bB | 355,90 bA |
| Interno | 309,09 bB | 262,71 bB | 333,25 bB | 295,75 bB | 419,82 aB | 338,06 bA |
| Médias | 362,50 | 333,31 | 417,74 | 350,20 | 426,27 | 361,48 |
| CV (%) | 14,45 | 17,64 | 18,31 | 15,57 | 9,30 | 9,56 |
| Diâmetro dos elementos de vasos (µm) | | | | | | |
| Externo | 114,57 ^{n.s} | 149,30 ^{n.s} | 129,46 ^{n.s} | 131,86 ^{n.s} | 117,88 ^{n.s} | 132,40 ^{n.s} |
| Intermediário | 163,28 ^{n.s} | 148,79 ^{n.s} | 128,27 ^{n.s} | 128,31 ^{n.s} | 122,00 ^{n.s} | 133,88 ^{n.s} |
| Interno | 141,32 ^{n.s} | 116,95 ^{n.s} | 119,32 ^{n.s} | 128,14 ^{n.s} | 112,51 ^{n.s} | 117,86 ^{n.s} |
| Médias | 149,72 | 138,34 | 125,68 | 129,44 | 117,47 | 128,05 |
| CV (%) | 8,78 | 12,32 | 11,16 | 9,38 | 5,66 | 8,22 |
| Pontuações (µm) | | | | | | |
| Externo | 4,71 ^{n.s} | 4,01 ^{n.s} | 3,87 ^{n.s} | 4,43 ^{n.s} | 4,78 ^{n.s} | 4,40 ^{n.s} |
| Intermediário | 4,55 ^{n.s} | 3,89 ^{n.s} | 4,31 ^{n.s} | 4,25 ^{n.s} | 4,78 ^{n.s} | 4,36 ^{n.s} |
| Interno | 4,26 ^{n.s} | 3,95 ^{n.s} | 5,23 ^{n.s} | 4,13 ^{n.s} | 4,57 ^{n.s} | 4,62 ^{n.s} |
| Médias | 4,50 | 3,95 | 4,47 | 4,26 | 4,70 | 4,46 |
| CV (%) | 10,89 | 5,12 | 20,80 | 6,09 | 8,39 | 9,65 |
| Frequência de vasos (mm ²) | | | | | | |
| Externo | 20,65 aB | 17,58 aB | 23,79 aB | 20,97 aB | 23,09 aA | 20,69 aB |
| Intermediário | 19,60 bB | 19,31 bB | 22,92 bB | 23,50 bB | 23,40 bA | 28,39 aA |
| Interno | 26,91 bA | 25,01 bA | 33,80 aA | 29,02 bA | 23,23 bA | 27,56 bA |
| Médias | 22,39 | 20,64 | 26,84 | 24,50 | 23,24 | 25,55 |
| CV (%) | 16,72 | 18,56 | 20,43 | 20,01 | 8,41 | 19,60 |
| Ângulo da placa de perfuração (°) | | | | | | |
| Externo | 26,58 ^{n.s} | 25,02 ^{n.s} | 34,01 ^{n.s} | 29,37 ^{n.s} | 35,41 ^{n.s} | 33,41 ^{n.s} |
| Intermediário | 23,91 ^{n.s} | 25,23 ^{n.s} | 31,30 ^{n.s} | 28,35 ^{n.s} | 31,17 ^{n.s} | 33,72 ^{n.s} |
| Interno | 29,83 ^{n.s} | 28,21 ^{n.s} | 36,88 ^{n.s} | 30,92 ^{n.s} | 33,68 ^{n.s} | 32,92 ^{n.s} |
| Média | 26,78 | 26,15 | 34,06 | 29,55 | 33,42 | 32,68 |
| CV (%) | 17,12 | 11,75 | 11,05 | 12,15 | 12,73 | 9,58 |

*Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si na linha e maiúscula na coluna, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro, n.s. = não significativo.

Variação do ângulo da placa de perfuração entre os genótipos

Os genótipos apresentaram diferenças significativas para o ângulo de inclinação da placa de perfuração dos elementos de vaso (Figura 3). Os maiores valores foram encontrados nos genótipos 3, 5 e 6, os quais não diferiram significativamente entre si. Já os menores valores médios foram obtidos nos genótipos 2, 1 e 4, que também não diferiram entre si. De forma geral, os genótipos de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* pertencentes ao sítio de coleta A obtiveram menores valores médios de inclinação da placa de perfuração, enquanto os genótipos do sítio C, os maiores valores. Esta diferença pode ser atribuída à idade

dos espécimes e diâmetro do caule obtido a 1,30 m, uma vez que os espécimes do sítio C são mais velhos, apresentando maiores diâmetros médios.

No sítio B, verificaram-se diferenças significativas entre os dois genótipos analisados, ambos de *E. urophylla*, apesar de estarem sujeitos as mesmas condições edafoclimáticas. Entretanto, os genótipos possuem diferença de 1 ano de idade, sendo que o genótipo 3 é o mais antigo (7 anos), e apresenta maior valor no ângulo de inclinação da placa de perfuração. Apesar de serem genótipos distintos, os espécimes pertencentes ao sítio C não tiveram diferenças significativas, estando seus valores médios bem próximos.

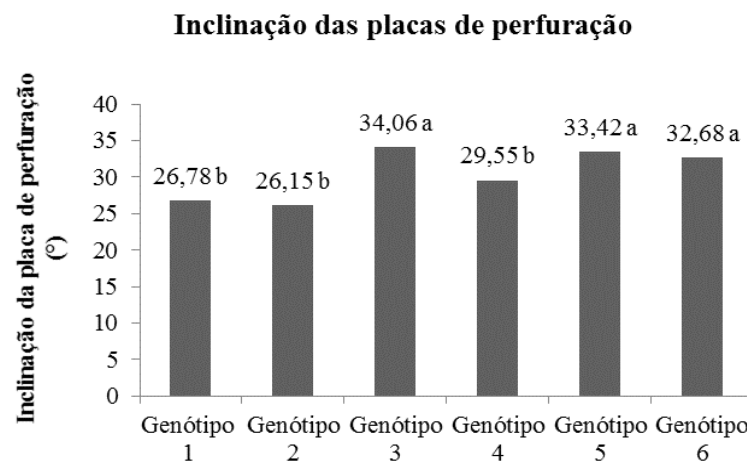


FIGURA 3 - Ângulo de inclinação da placa de perfuração dos elementos de vaso em função dos genótipos estudados.

Variação radial no ângulo da placa de perfuração entre os genótipos

A variação radial (sentido medula-casca) da inclinação da placa de perfuração observada no presente estudo está representada na Figura 4. Para todos os genótipos estudados, a inclinação da placa de perfuração foi menor na posição radial intermediária, se comparada a posição externa

(casca) e interna (medula). De forma geral, maiores valores de inclinação foram verificados na posição interna, mais próxima a medula, com exceção dos genótipos 5 e 6 (sítio C), os quais tiveram maiores valores de inclinação da placa de perfuração na posição externa, mais próxima a casca.

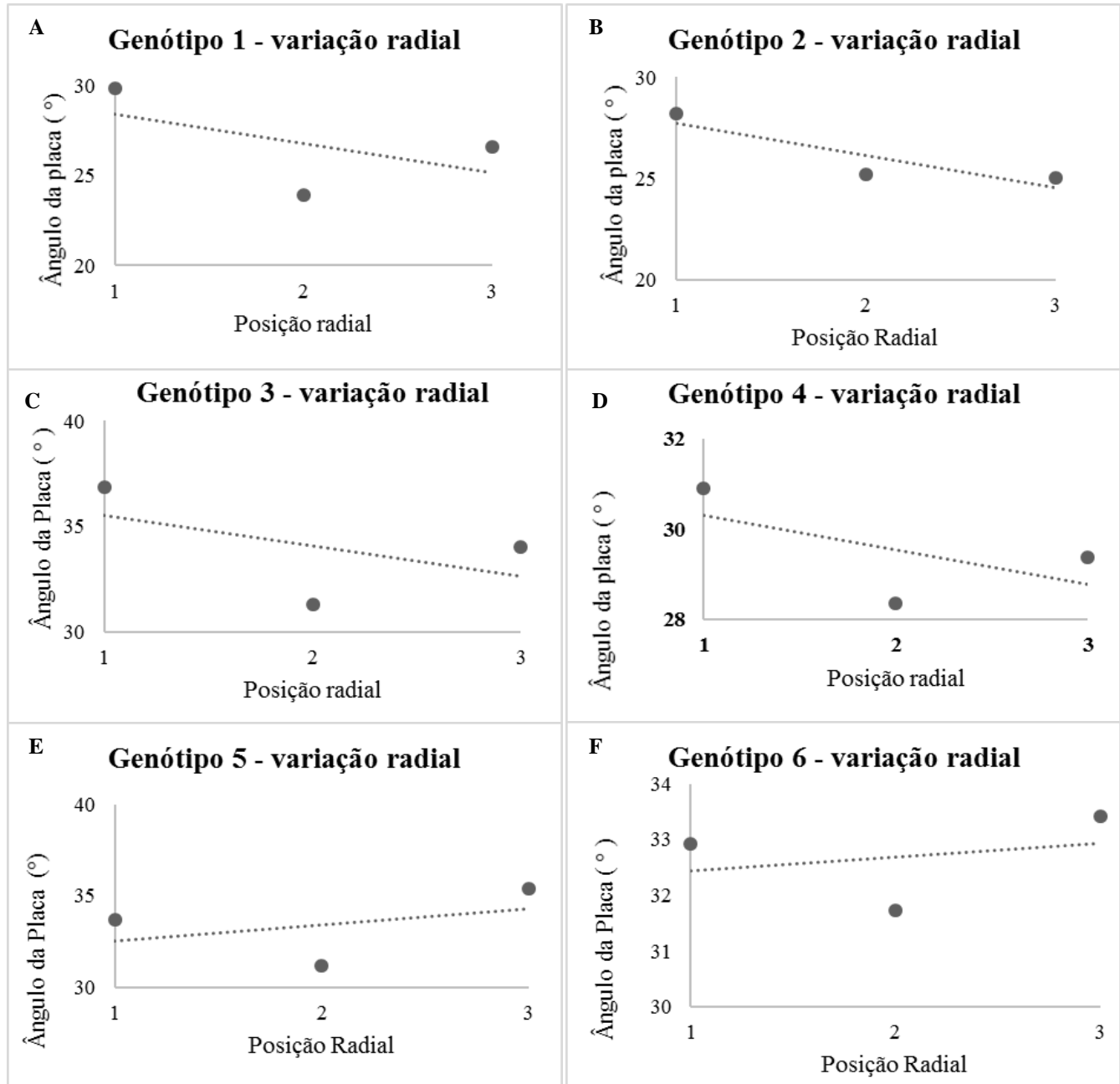


FIGURA 4 - Variação radial no ângulo de inclinação da placa de perfuração dos elementos de vaso dos genótipos estudados. (A e B) *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (genótipos 1 e 2), (C e D) *E. urophylla* (genótipos 3 e 4), (E) *E. urophylla* (genótipo 5), (F) *E. urophylla* x *E. camaldulensis* (genótipo 6). Posições radial: 1 = interno, 2 = intermediário e 3 = externo.

Diâmetro dos elementos de vaso em função do ângulo de inclinação da placa de perfuração

Observou-se uma relação inversamente proporcional entre o ângulo da placa de perfuração e o

diâmetro dos elementos de vaso nos genótipos estudados. Quanto maior o diâmetro tangencial dos elementos de vaso, menor foi o ângulo de inclinação da placa de perfuração (Figura 5).

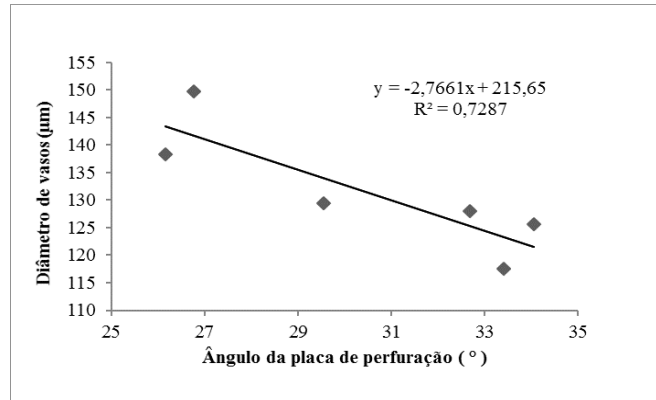


FIGURA 5 - Diâmetro tangencial dos elementos de vasos em função do ângulo de inclinação da placa de perfuração dos genótipos de *Eucalyptus*.

Comprimento dos elementos de vaso em função do ângulo de inclinação da placa de perfuração

As relações lineares entre comprimento e o ângulo de inclinação da placa de perfuração dos elementos de vaso

apresentaram-se fortes, positivas e diretamente proporcionais como observado na Figura 6. Assim quanto maior o comprimento do elemento de vaso, maior é o ângulo de inclinação de sua placa.

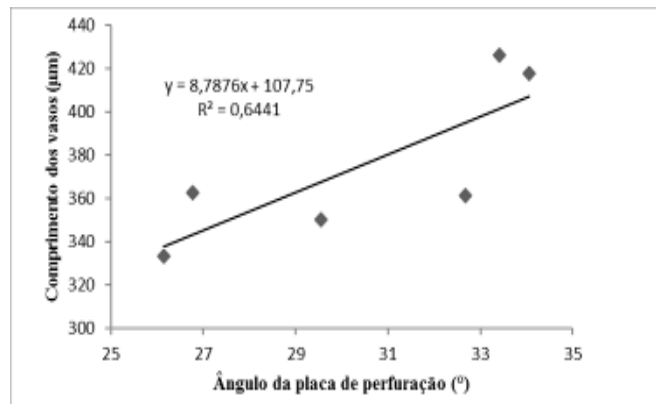


FIGURA 6 - Comprimento dos elementos de vaso em função do ângulo de inclinação da placa de perfuração dos genótipos de *Eucalyptus*.

Frequência dos elementos de vaso em função do ângulo de inclinação da placa de perfuração

A relação entre o ângulo da placa de perfuração e a frequência de elementos de vaso por mm², é demonstrada na

Figura 7, a qual se apresentou positiva e forte ($R^2 = 0,6719$), ou seja, a medida que a frequência dos elementos de vaso por mm² aumenta, a inclinação da placa de perfuração segue o mesmo aumento.

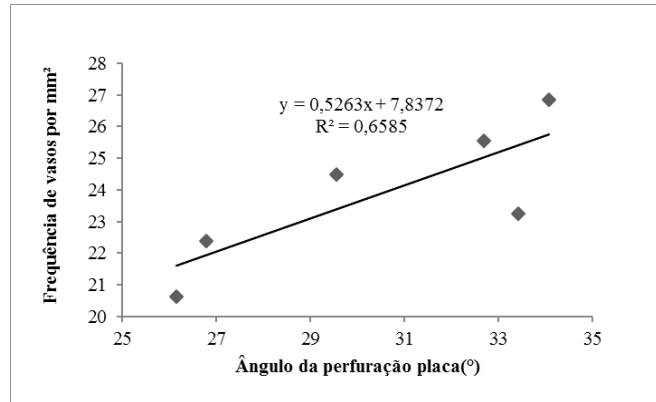


FIGURA 7 - Frequência dos elementos de vasos em função do ângulo da placa de perfuração dos genótipos de eucalipto *Eucalyptus*.

Diâmetro das pontoações em função do ângulo da placa de perfuração

A relação entre o ângulo da placa de perfuração e o diâmetro das pontoações vasculares é apresentada na Figura 8. A relação mostrou-se positiva e de grau médio ($R^2 =$

0,4398), ou seja, a medida que o diâmetro das pontoações aumenta, a inclinação da placa de perfuração também aumenta, mas não foi comum a todos os genótipos, não sendo possível estabelecer uma relação ao certo com outros fatores.

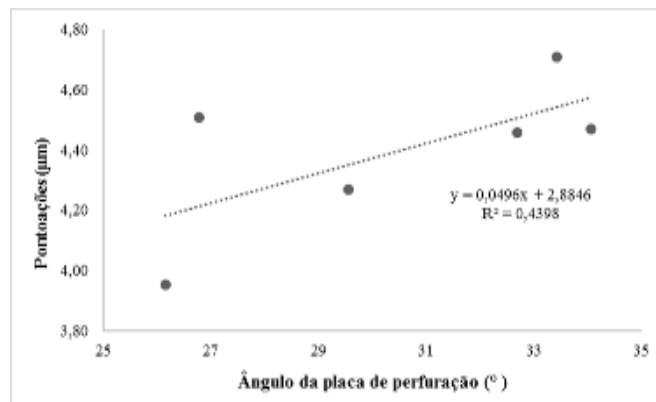


FIGURA 8 - Diâmetro das pontoações em função do ângulo da placa de perfuração para os diferentes genótipos de *Eucalyptus*.

Segundo estudos para características anatômicas da madeira de eucalipto, alguns autores como Calonego et al. (2005), Evangelista et al. (2010), Brisola e Demarco (2011), Baldin et al. (2017), afirmam que as placas de perfuração para essas espécies são simples. No entanto, não há relatos de estudos a cerca da inclinação da placa de perfuração para espécies pertencentes ao gênero *Eucalyptus*. Os valores médios encontrados para o ângulo de inclinação da placa de perfuração para os elementos de vaso, em todos os genótipos de eucalipto foram entre 26-34°, com inclinação acentuada, se comparada a outros trabalhos nessa temática.

Ellerby e Ennos (1998) encontraram valores de inclinação médios para modelos de placas de perfuração simples e escalariformes entre 9-32°, respectivamente, construídos em cilindros adaptados no intuito de avaliar a resistência da placa de perfuração simples e escalariforme ao fluxo de água. Christman e Sperry (2010), trabalhando

com espécies 31 arbóreas, entre elas *Cercis canadenses* (Fabales), *Hedera helix* (Apiales), *Rhizophora mangle* (Malphigiales) e *Ilex verticillata* (Aquifoliales), avaliaram a resistência ao fluxo das placas escalariforme em relação as simples, encontrando variação de ângulos de 5,3-24°. Espécies mais derivadas tendem a apresentar essa inclinação mais horizontal ao eixo do elemento de vaso, com menor inclinação possível.

Este fator, ao que parece, é evolutivo e determinante para o sucesso dos vegetais, pois espécies sujeitas a estresses hídricos podem apresentar uma inclinação de placa de perfuração maior, ou seja maior segurança hídrica, se comparada aquelas onde é necessária maior eficiência hídrica. Não há na literatura registros sobre a relação entre o estress hídrico e o ângulo de inclinação das placas de perfuração, assim a discussão aqui apresentada é baseada nos

conceitos teóricos sobre placa de perfuração e sua morfologia.

Franklin (2013) tratando sobre a eficiência dos vasos na condução de água, esclarece de forma bem didática a influência do diâmetro dos vasos, explicando que quanto maior a largura do vaso, maior é a condutividade hidráulica, sendo estes muito mais eficientes nessa função quando comparados aos vasos estreitos. Entretanto, à medida que aumenta o diâmetro dos elementos de vaso a sua segurança reduz. Quando se projeta o diâmetro do elemento de vaso para o vaso, o risco de cavitação e, conseqüentemente, embolismo também aumenta, levando a sua perda da função de condução.

Do ponto de vista filogenético, o gênero *Eucalyptus* L'Héritier pertence a família botânica Myrtaceae, considerado por alguns autores como sendo basal, por suas características monofiléticas, como a presença de fibrotraqueídeos em sua estrutura anatômica, apresentando ainda a morfologia da placa de perfuração mais inclinada, presença de apêndice nos elementos de vaso, etc. No Brasil, espécies desta mesma família estão distribuídas na tribo Myrteae, subdividida em Myrtinae, Eugeniinae e Myrciinae, nomeadas da tribo mais basal para aquela mais derivada, conforme filogenia baseada em dados moleculares, onde clados mais basais foram ocupados por *Eucalyptus* e *Callistemon*, entre outros gêneros (LUCAS et al., 2007; WILSON et al., 2005).

Entre os genótipos de *Eucalyptus*, os menores valores médios foram obtidos nos genótipos 1 e 2 (sítio A), enquanto o maior valor médio foi obtido pelo genótipo 3 (sítio B), seguidos pelos genótipos 5 e 6 (sítio C). Conforme observado na Tabela 1, os genótipos coletados no sítio A, estavam sujeitos aos menores valores de precipitação anual, se comparados aos demais genótipos estudados, podendo afirmar que, os dois genótipos precisaram de maior eficiência na condução hídrica, fator determinante na morfologia dos elementos de vaso, fazendo com que a resistência ao fluxo fosse diminuída pela tendência geral da inclinação da placa de perfuração ser baixa.

Aqueles espécimes do sítio C por sua vez, 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 ($R^2 = 0,60$), onde a resistência diminuiu conforme diminuição do ângulo de inclinação da placa, corroborando Ellerby e Ennos (1998).

Na variação radial, a maioria dos genótipos obtiveram maiores valores de inclinação da placa de perfuração na posição interna, próximo a medula, com exceção dos genótipos 5 e 6, na posição externa. Existem

diferenças significativas e variações que ocorrem na madeira no sentido medula-casca. O mesmo aconteceu com a inclinação da placa de perfuração, porém era esperado que o ângulo da placa de perfuração fosse menor próximo a casca (externa), se comparado as demais posições, pois nessa região está o “alburno” (xilema ativo), onde ocorre a condução propriamente dita. No entanto, menores valores médios para inclinação da placa de perfuração para todos os genótipos foram encontrando na posição intermediária. Isto ocorreu, provavelmente, devido a idade dos espécimes, sendo constituído apenas por madeira considerada juvenil, ou seja, o tecido xilemático em formação e quantitativamente heterogêneo, no que tange as dimensões celulares.

Para a variação radial, Ribeiro et al. (2011) ressaltaram que, nos primeiros anos de vida da planta ocorre uma alta atividade cambial, as células tendem a ser mais largas, com acentuados diâmetros e posteriormente tendem a estagnar-se. Tomazello Filho (1987) observou uma variação radial em diversas espécies de *Eucalyptus*, onde o comprimento e diâmetro dos elementos de vaso aumentava e a frequência diminuía. A diferença em termos de madeira juvenil, comparada àquela adulta está na magnitude das alterações anatômicas e físicas que ocorrem no sentido medula-câmbio (CALONEGO et al., 2005).

A maior frequência e menor diâmetro dos elementos de vaso próximo à medula (posição interna) pode ser justificada pela maior taxa de crescimento do vegetal nos primeiros anos de vida, necessitando de maior eficiência no transporte hídrico, sem deixar a segurança de lado, pois maior número de elementos de vaso com menores diâmetros, ajuda a planta na prevenção contra embolia e cavitação. A diversidade estrutural no xilema secundário está em grande parte condicionada as variações ambientais, pois a evolução ou derivação está diretamente relacionada à disponibilidade hídrica e ao desenvolvimento de estratégias para maximizar a condutividade hidráulica e diminuir a cavitação e resistência ao fluxo (ELERBY e ENNOS, 1998; SPERRY, 2003).

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, a resistência ao fluxo na direção axial torna-se mais eficiente. A relação pode ser semelhante ao que ocorre em plantas que possuem pontoações guarnecidas, que são quase fechadas, e estão presentes em espécies sujeitas a maiores dificuldades hídricas. Marcati et al. (2006) ressaltam que, a ocorrência de pontoações guarnecidas são características de espécies sujeitas ao estresse hídrico e que pontoações simples são características daquelas que não estão sob este tipo de estresse. No entanto a planta pode

compensar diminuindo a abertura das mesmas e aumentando o fluxo axial.

Estudos mais aprofundados, inclusive com espécies nativas, são necessários e fundamentais para compreensão de relações mais robustas entre o ângulo de inclinação da placa de perfuração e os demais caracteres anatômicos do xilema secundário de espécies ou espécimes provenientes de condições ambientais distintas.

CONCLUSÕES

Os elementos de vaso dos genótipos de *Eucalyptus* tiveram inclinação da placa de perfuração entre 24-37°, em relação ao eixo axial do elemento traqueal.

Os menores valores no ângulo de inclinação foram encontrados na posição 2 (intermediária).

Ao contrário do esperado, os maiores valores foram observados na posição 1 (interno - próximo à medula), seguidos pela posição 3 (externo-próximo à casca).

O aumento nos comprimentos dos elementos de vaso, frequência por mm² e diâmetro das pontoações é diretamente proporcional à inclinação da placa de perfuração.

O diâmetro dos elementos de vaso por sua vez apresenta relação inversa, ou seja, a medida que o diâmetro aumenta, o ângulo de inclinação da placa de perfuração diminui.

REFERÊNCIAS

BALDIN, T.; MARCHIORI, J.N.C.; NISGOSKI, S.; TALGATTI, M.; DENARDI, L. Anatomia da madeira e potencial de produção de celulose e papel de quatro espécies jovens de *Eucalyptus* L'Hér. **Brasilian Journal of Wood Science**, v.8, n.2, p.114-126, 2017.

BRISOLA, S.H.; DEMARCO, D. Análise anatômica do caule de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. grandis* x *E. urophylla*: desenvolvimento da madeira e sua importância para a indústria. **Scientia Forestalis**, v.39, n.91, p.317-330, 2011.

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**, v.34, n.68, p.113-121, 2005.

CARLQUIST, S.; SCHNEIDER, E.L. The tracheid - vessel element transition in angiosperms involves multiple independent features: Cladistic consequences. **American Journal of Botany**, 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, UFLA. 2009. 234p.

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**, v.33, n.1, p.431-443, 2010.

ELLERBY, D.J.; ENNOS, A.R. Resistances to fluid flow of model xylem vessels with simple and scalariform perforation plates. **Journal of Experimental Botany**, v.49, n.323, p.979-985, 1998.

EVANGELISTA, W.V.; SILVA, J.C.; VALLE, M.L.A.; XAVIER, B.A. Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Scientia Forestalis**, v.38, n.86, p.273-284, 2010.

FRANKLIN, E.R. **Anatomia das plantas de Esau** - meristemas, células e tecidos do corpo da planta: sua estrutura, função e desenvolvimento. Ray F. Evert: Coordenação e tradução de Carmen Regina Marcati. São Paulo: Blucher, 2013. 726p.

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

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

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150 cm x 200 cm. 1928.

LUCAS, E.J.; BELSHAM, S.R.; NICLUGHADHA, E.M.; ORLOVICH, D.A. SAKURAGUI, C.M.; CHASE, M.W.; WILSON, P.G. Phylogenetic patterns in the fleshy-fruited Myrtaceae - preliminary molecular evidence. **Plant Systematics and Evolution**, v.251, [s.n.], p.35-51, 2005.

LUCAS, E.J.; HARRIS, S.A.; MAZINE, F.F.; BELSHAM, S.R.; LUGHADHA, E.M.N.; TELFORD, A.; GASSON, P.E.; CHASE, M.W. Suprageneric phylogenetic of Myrteae, the generically richest tribe in Myrtales (Myrtales). **Táxon**, v.56, [s.n.], p.1105-1128, 2007.

MARCATI, C.R.; OLIVEIRA, J.S.; MACHADO, S.R. Growth rings in cerrado woody species: occurrence and anatomical markers. **Biota Neotropica**, v.6, n.3, p.1-31, 2006.

MARQUES, P.A.; CALLADO, C.H.; BARROS, C.F.; COSTA, C.G. Variação intraespecífica do lenho de *Eugenia uniflora* L. em duas diferentes fitofisionomias do complexo vegetacional atlântico. **Floresta e Ambiente**, v.19, n.4, p.483-496, 2012.

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. 2018. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

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**, v.41, n.1, p.47-56, 2011.

SPERRY, J.S. Evolution of transport and xylem structure. **International Journal of Plant Sciences**, v.164, n.3, p.115-127, 2003.

Relações morfo-anatômicas...

FERREIRA, C. A. et al. (2019)

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica em estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*. **IPEF**, v.5, n.36, p.35-42, 1987.

WILSON, P.G.; O'BRIEN, M.M.; HESLEWOOD, M.M.; QUINN, C.J. Relationships within Myrtaceae sensu lato based on a matK phylogeny. **Plant Systematics and Evolution**, v.251, [s.n.], p.3-19, 2005.