



THIAGO CAMPOS MONTEIRO

**EFEITO DA ANATOMIA NO FLUXO DA ÁGUA
EM MADEIRA DE *Eucalyptus* E *Corymbia***

LAVRAS – MG

2014

THIAGO CAMPOS MONTEIRO

**EFEITO DA ANATOMIA NO FLUXO DA ÁGUA EM MADEIRA DE
Eucalyptus E *Corymbia***

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Madeira como matéria prima, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Ph. D José Tarcísio Lima

LAVRAS – MG

2014

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Monteiro, Thiago Campos.

Efeito da anatomia no fluxo da água em madeira de *Eucalyptus* e
Corymbia / Thiago Campos Monteiro. – Lavras : UFLA, 2014.
130 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.
Orientador: José Tarcísio Lima.
Bibliografia.

1. Tecnologia da madeira - secagem. 2. Água livre. 3. Água
adsorvida. 4. Elemento de vaso. 5. Fibras. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

CDD – 674.38

THIAGO CAMPOS MONTEIRO

EFEITO DA ANATOMIA NO FLUXO DA ÁGUA EM MADEIRA DE
Eucalyptus E Corymbia

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Madeira como matéria prima, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 05 de junho de 2014.

Dr. José Reinaldo Moreira da Silva	UFLA
Ph.D Paulo Ricardo Gherardi Hein	UFLA
Dr. Helder Bolognani Andrade	Vallourec Florestal Ltda
Dr. Ricardo Jorge Klitzke	UFPR

Ph. D José Tarcísio Lima
Orientador

LAVRAS – MG

2014

Aos meus pais José Alberto (*Sempre presente*) e Leticia.

Ao meu irmão André e minha irmã Camila.

Aos meus demais familiares.

Aos meus verdadeiros amigos.

À sociedade brasileira.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade concedida e aos amigos espirituais pelo acompanhamento neste trabalho.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), em especial ao programa de pós-graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, pela oportunidade oferecida para a realização do curso de doutorado. Aos funcionários da UFLA Carlos, Chica, Cris, Clare e Hernani por todo apoio e atenção na realização deste trabalho.

À Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS) e à Universidade Federal do Tocantins (UFT) pelo apoio para a realização dos trabalhos de doutorado.

À empresa *Vallourec Florestal Ltda*, pela concessão da bolsa de doutorado e apoio financeiro para a execução dos experimentos. Também agradeço, na pessoa do pesquisador Dr. Helder Bolognani, toda a equipe da empresa pelas reuniões sempre ricas em discussão sobre temas relacionados aos experimentos bem como no auxílio para coleta das árvores. Meus agradecimentos, também, à empresa *Cenibra* por fornecer as árvores de *Corymbia citriodora* para o experimento.

Ao Prof. José Tarcísio Lima pela orientação, amizade e ensinamentos desde a iniciação científica. Aos Prof. José Reinaldo, Paulo Trugilho, Paulo Hein e Fabio Akira pelos ensinamentos, colaborações e troca de conhecimentos. Ao Prof. Ricardo Jorge Klitzke (UFPR) pelo incentivo e colaboração prestada.

Aos amigos e colegas de curso, Allan, Antonio Zanuncio, Anna Carolina, Cassiana, Javan, Jeimy, Luiz Eduardo, Lidy, Luana, Marcela Gomes, Tatti, Raphael, Selma, Thiago Protásio, Marina Rates, Rodrigo Nobre, Raul, Taís e Camilo pela agradável convivência e auxílio nos experimentos. Também

aos amigos Sérgio Ferreira, Betão, Clair, Prof^a Polly e Prof^a Ana Carolina que desde a graduação incentivaram nos trabalhos com a madeira.

Aos amigos Beca, Eder Miguel, Edy, Gabriel, Marcela Oliveira, Thiza e Renato pelo convívio, incentivo e amizade.

Ao meu avô Divino (*sempre presente*) que, já na infância, deu-me os primeiros discos de *Eucalyptus* para brincar. À minha avó Maria do Carmo, pelo exemplo de força e carinho. Ao meu pai, José Alberto (*sempre presente*) e à minha mãe Leticia pela vida, criação, exemplo e amor incondicional. Ao meu irmão André e à minha irmã Camila por todo incentivo, amizade e carinho. Essa vitória também é de vocês.

Aos demais familiares pelas palavras de incentivos, carinho e orações.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O efeito das características anatômicas no fluxo da água livre e de adsorção da madeira de folhosas é pouco conhecido. Desta forma, o objetivo principal que norteou a realização deste estudo foi avaliar o efeito das características anatômicas no fluxo da água em madeiras dos clones VM04 e MN463 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora* durante a secagem. Foram utilizados toretes e blocos de madeira de árvores provenientes de plantios experimentais com sete anos. As características anatômicas dos elementos de vasos, raios, fibras e pontoações foram avaliadas em amostras retiradas da tora da base da árvore e, também, a densidade básica da madeira. Blocos preparados para o fluxo de água ocorrer em cada direção da madeira e toretes foram secos e, em seguida, a taxa de fluxo da água livre (TXAL), a taxa de fluxo da água adsorvida (TXAA) e a taxa de fluxo de água total (TXAT) foram calculadas. As relações entre a secagem e as características anatômicas da madeira foram analisadas. Pelos resultados foram demonstrados que, em geral, a TXAL e a TXAT foram diretamente proporcionais ao diâmetro e comprimento do elemento de vaso; ao comprimento, largura e diâmetro do lume da fibra; à altura do raio e ao diâmetro da pontoação raio-vascular. Por outro lado, foram inversamente proporcionais à frequência de poros e de raios, à fração de parede da fibra, à fração de parede total e à densidade básica. A espessura da parede da fibra reduziu apenas o fluxo da água livre. A TXAA foi diretamente proporcional à largura do raio; ao comprimento, largura e diâmetro do lume da fibra e inversamente proporcional à frequência de raios, à fração de parede total e ao diâmetro das pontoações raio-vascular e intervacular. Desta forma, foi observado que o aumento das dimensões dos elementos de vasos, dos raios, das fibras e do diâmetro das pontoações raio-vasculares favorece a movimentação da água enquanto o aumento da frequência dos poros e dos raios, assim como das características da parede celular reduz o fluxo de água. As características anatômicas que interferem na movimentação de líquidos na madeira, com destaque para o comprimento do elemento de vaso, apontam para a possibilidade de suas aplicações na seleção de *Eucalyptus* e *Corymbia*.

Palavras-chave: Secagem. Água livre. Água adsorvida. Elemento de vaso. Raio. Fibra. Pontoações.

ABSTRACT

Little is known of the effect of anatomical characteristics over the flow of free water and the absorption by hardwood. Thus, the main objective guiding the conductance of this study was to evaluate the effect of the anatomical characteristics of water flow in wood of VM04 and MN463 *Eucalyptus urophylla* and *Corymbia citriodora* clones during drying. Logs and wood blocks of trees originated from seven-year-old experimental plantations were used. The anatomical characteristics of the vascular elements, radius, fibers and pits were evaluated in samples removed from the log at the base of the tree, in addition to the basic density of the wood. Blocks prepared for water flow in both directions of the wood and logs were dried and, subsequently, the free water flow rate (TXAL), absorbed water flow rate (TXAA) and the total water flow rate (TXAT) were calculated. The relations between the drying and the anatomical characteristics of the wood were analyzed. With the results, it was demonstrated that, in general, the TXAL and the TXAT were directly proportional to the diameter and length of the vascular element; to length, width and diameter of the fiber lumen; to radius height and to radius-vascular pits. On the other hand, the same were inversely proportional to pore and radius frequency, fiber wall fraction, total wall fraction and basic density. The thickness of the fiber wall reduced only the flow of free water. The TXAA was directly proportional to the width of the radius; to length, width and diameter of the fiber lumen and inversely proportional to the radius frequency, total wall fraction and to the diameter of the radius-vascular and intervascular pits. Thus, it was observed that the increase in the dimensions of the vascular elements, of the radius, of the fibers and of the diameter of the radius-vascular pits favors the movement of water while the increase of pore and radius frequency, as well as of cellular wall characteristics, reduces water flow. The anatomical characteristics that interfere in the movement of liquids in wood, highlighting the length of the vascular element, point to the possibility of its applications in the selection of *Eucalyptus* and *Corymbia*.

Keywords: Drying. Free water. Absorbed water. Vascular elements. Radius. Fiber. Pits.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1	Madeira de <i>Eucalyptus</i>	13
2.2	Variações nas propriedades da madeira.....	14
2.3	Movimentação de água na madeira de <i>Eucalyptus</i>	16
2.3.1	Avaliação do fluxo da água na madeira.....	18
2.4	Efeito da estrutura anatômica da madeira na movimentação de água.....	21
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1	Material.....	27
3.2	Densidade da madeira.....	29
3.3	Estrutura anatômica da madeira.....	29
3.4	Umidade da madeira e tempo de secagem.....	32
3.5	Taxa de fluxo de água.....	33
3.6	Análises estatísticas.....	35
3.7	Efeito da estrutura anatômica no fluxo da água.....	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1	Densidade básica.....	40
4.2	Umidade da madeira e tempo de secagem.....	41
4.3	Características anatômicas dos materiais.....	45
4.3.1	Características dos elementos de vasos e raios.....	45
4.3.2	Características das fibras e pontoações.....	51
4.4	Taxa de secagem.....	55
4.5	Efeito da estrutura anatômica e densidade básica da madeira na secagem.....	66
4.5.1	Efeito da densidade básica da madeira no fluxo da água.....	66
4.5.2	Frequência de poros.....	69
4.5.3	Diâmetro dos vasos.....	73
4.5.4	Comprimento do elemento de vaso.....	77
4.5.5	Frequência de raios.....	83
4.5.6	Altura do raio.....	85
4.5.7	Largura do raio.....	88
4.5.8	Comprimento da fibra.....	89
4.5.9	Largura das fibras.....	92
4.5.10	Diâmetro do lume da fibra.....	95
4.5.11	Espessura da parede da fibra.....	98
4.5.12	Fração parede da fibra.....	100
4.5.13	Fração de parede total.....	103
4.5.14	Pontoação raio-vascular.....	106

4.5.15	Pontoações intervasculares.....	109
4.6	Efeito do conjunto de características anatômicas e da densidade básica da madeira na movimentação da água	112
5	CONCLUSÕES	117
	REFERÊNCIAS	121
	ANEXOS	127

1 INTRODUÇÃO

A movimentação da água na madeira tem sido estudada há décadas, principalmente, com as coníferas. Trabalhos com madeiras de folhosas foram realizados com o objetivo de reduzir os defeitos da secagem nas espécies nativas das regiões tropicais e para a elaboração de programas de secagem. Em seguida, também, foram realizados com espécies exóticas utilizadas em reflorestamentos, principalmente, com a secagem da madeira serrada de *Eucalyptus* e na década de 80 iniciaram no Brasil os primeiros trabalhos sobre secagem da madeira roliça, que eram utilizadas para fins energéticos.

Pelas pesquisas foi gerado conhecimento sobre a movimentação da água nas diferentes madeiras e os efeitos do ambiente sobre a secagem. A aplicação deste conhecimento tornou possível o conhecimento do efeito das dimensões das tábuas na secagem e na redução de defeitos como empenamentos, rachaduras, fendilhamento, colapso entre outros. Em algumas pesquisas com madeira roliça avaliaram-se os efeitos, por exemplo, da presença da casca, do diâmetro da tora e da presença do cerne em sua secagem (VITAL; DELLA LUCIA; VALENTE, 1985; REZENDE et al., 2010).

No entanto, a relação entre a estrutura anatômica da madeira com a secagem foi abordada para as coníferas, revelando a importância das pontoações areoladas e de sua aspiração no fluxo de água. Para a madeira das folhosas, os poucos relatos focavam, principalmente, na importância dos vasos. São raros os trabalhos em que se avaliaram esta relação de forma separada para o fluxo da água livre e da água adsorvida. Desta forma, é importante que estudos sejam realizados para tentar elucidar o efeito da anatomia na secagem da madeira. Por resultados advindos dessas pesquisas será permitida, não só a redução dos defeitos da secagem da madeira, como também auxiliará na tomada de decisão para a seleção de materiais genéticos superiores. Este é o caso de *Eucalyptus* que

produz madeira roliça para a produção do carvão vegetal, processo em que é desejável a secagem natural mais rápida. É possível que a escolha de madeiras com estrutura anatômica propícia, também, ao fluxo da água adsorvida, favoreça a produção de carvão de melhor qualidade, em virtude da menor degradação física da madeira em carbonização com a facilidade de saída dos gases.

Assim, objetivou-se nesta tese avaliar nas madeiras dos clones VM04 e MN463 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*: *i*) o efeito das características anatômicas no fluxo da água livre e da água adsorvida e *ii*) a relação entre as características anatômicas e o fluxo da água livre e da água adsorvida nas direções ortotrópicas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Madeira de *Eucalyptus*

A madeira de *Eucalyptus* é empregada nas diferentes indústrias do setor florestal brasileiro. Seu uso é diversificado, sendo a indústria de celulose e papel a maior consumidora, seguido pelos setores de carvão vegetal, painéis reconstituídos e indústria madeireira (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, ABRAF, 2013).

Este material é higroscópico, heterogêneo, poroso e anisotrópico, com suas propriedades físicas variando conforme as direções axial, radial ou tangencial (Figura 1). Cada setor necessita de características específicas quanto às suas propriedades anatômicas, físicas, mecânicas e químicas. Porém, a obtenção da madeira com determinadas características é complexa, pois como todos os materiais biológicos, ocorrem variações entre espécies, dentro da mesma espécie e, inclusive, dentro da mesma árvore.

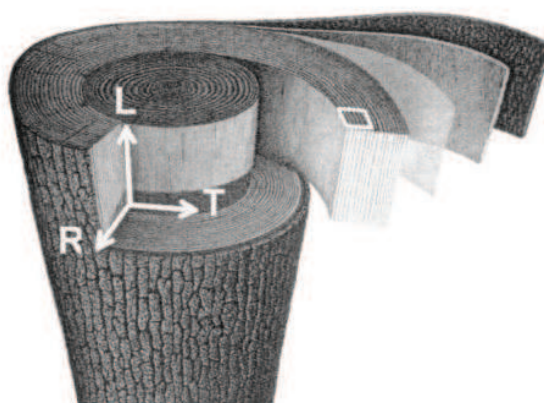


Figura 1 Direções longitudinal ou axial (L), radial (R) e tangencial (T) da madeira

Fonte: Badele Perre (2001).

2.2 Variações nas propriedades da madeira

As características físicas apresentam maior variação no sentido radial quando comparadas ao axial (CRUZ; LIMA; MUNIZ, 2003). A intensidade das variações ocorre, segundo Zobel e Jett (1995), em decorrência dos fatores genéticos, ambientais e da interação entre estes dois fatores.

Dentre suas características, a densidade básica da madeira é, provavelmente, a característica de qualidade utilizada com mais frequência nos programas de seleção de clones para melhoramento florestal (GOMIDE; FANTUZZINETO; REGAZZI, 2010), o que é justificável pela sua alta correlação com outras propriedades da madeira, como a mecânica e anatômica. A densidade varia, conforme a posição na árvore, a idade, tratos silviculturais, presença de lenho de reação entre outros. Alguns trabalhos relatam valores de densidade básica entre 437 e 577 kg.m⁻³ para *Eucalyptus urophylla*, entre 467 e 501 kg.m⁻³ para *Eucalyptus camaldulensis* (CRUZ; LIMA; MUNIZ, 2003) e entre 447 e 552 kg.m⁻³ para clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (QUEIROZ et al., 2004).

Assim como a densidade, as características anatômicas, também, sofrem variações. Tomazello Filho (1985) comparou a estrutura anatômica do *Eucalyptus globulus*, *E. gummifera*, *E. microcorys*, *E. pellita*, *E. pilularis*, *E. saligna* e *E. triantha* em que as espécies foram separadas, principalmente, quando se analisaram os elementos de vasos, raios lenhosos e parênquima.

Uma grande complexidade de estruturas anatômicas é encontrada nas folhas, que possuem, principalmente, elementos vasculares, fibrotraqueides e células parenquimáticas axiais e radiais (ESTEBAN et al., 2003). A distribuição destes elementos, dentro de uma árvore, apresenta variações quanto as suas dimensões e distribuição no lenho (NISGOSKI; MUÑIZ; KLOCK, 1998). Silva et al. (2007) apresentam que a variação nas dimensões das fibras e dos

elementos de vasos ocorrem conforme a idade da árvore e, também, conforme a região interna ou externa do tronco da árvore.

Na variação radial do tronco de *E. grandis*, analisada por Rocha, Florsheim e Couto (2004), foi observado que todas as dimensões das fibras apresentam tendência crescente no sentido medula-casca, já os elementos de vasos apresentam tendência crescente para o diâmetro e o comprimento do elemento vascular e a frequência de poros apresenta tendência decrescente. Os raios apresentam maiores dimensões na região próxima à medula e a sua frequência tende a reduzir na região próxima da casca. Por sua vez, analisando a variação longitudinal da árvore, os autores observaram que as fibras com maiores dimensões estão localizadas na altura entre 0 e 25% do fuste, os elementos de vaso com maior comprimento e menor frequência são observados na altura de 25%, os elementos de vasos mais largos são encontrados na altura de 75%, os raios mais altos e largos são encontrados na altura de 50% e os mais frequentes na altura de 100%.

As dimensões das estruturas variam, em que as fibras de *E. grandis* possuem, em média, comprimento de 1005,3 μm , largura de 19,76 μm , diâmetro do lume de 11,88 μm e espessura da parede celular de 3,94 μm . Já a frequência dos poros e o diâmetro do elemento de vaso têm, em média, 11,8 $\text{n}^\circ.\text{mm}^{-2}$ e 105,4 μm , respectivamente (BELINI et al., 2008). As pontoações raio-vasculares, segundo Nisgoski, Muñiz e Klock (1998), são simples, arredondadas, alternas, com diâmetro variando entre 2,5 e 5 μm . Estes autores, também, relatam que a madeira de *Eucalyptus* apresenta estrutura anatômica evoluída, pois possui características como presença de elementos vasculares curtos, com placa de perfuração simples, raios homogêneos, estreitos e de altura mediana. Esta evolução está relacionada à movimentação da água na madeira, que nas coníferas ocorrem, principalmente, por meio das pontoações areoladas e nas folhosas nos vasos e pares de pontoações (SIAU, 1971).

2.3 Movimentação de água na madeira de *Eucalyptus*

Os estudos sobre a relação água madeira têm sido estudados cientificamente há pelo menos um século (ENGELUND et al., 2013), principalmente, com espécies de coníferas e, nas últimas décadas, com madeiras de folhosas, dentre estas as do gênero *Eucalyptus* e *Corymbia*.

A relação água madeira é complexa e apresenta variações de estado físico e, também, forma de movimentação (ENGELUND et al., 2013). A água presente na madeira pode ser dividida, basicamente, em dois grupos (KOLLMANN; CÔTÉ JR., 1968; SIAU, 1971; ENGELUND et al., 2013):

- a) Água livre ou de capilaridade, encontrada na fase líquida e de vapor, encontrada acima da umidade do ponto de saturação das fibras (PSF), que, segundo Skaar (1972), varia entre 25 e 35%;
- b) Água adsorvida, adesão ou impregnação, encontrada na forma de vapor e adsorvida na parede celular das fibras, encontrada abaixo da umidade do PSF.

A movimentação destas águas ocorre de forma diferente. O fluxo da água livre é causado por forças capilares, baseado na *Lei de Hagen-Poiseuille's*. Por sua vez, a movimentação da água, na forma de vapor e adsorvida, ocorre por meio da parede celular, em virtude do gradiente de umidade e por difusão (KOLLMANN; CÔTÉ JR., 1968; SIAU, 1971). Esta movimentação ocorre nas diferentes direções ortotrópicas da madeira. Segundo Siau (1971), a organização das estruturas anatômicas na direção longitudinal, principalmente dos vasos, favorece o fluxo nesta direção, conforme ilustrado na Figura 2. A saída da água adsorvida, ou dessorção da água, também, ocorre de forma mais intensa no eixo axial quando comparado às direções radial e tangencial (MOUCHOT et al.,

2006). Importante salientar que, independente da direção avaliada, a água sempre busca o caminho com maior facilidade para fluir, podendo seguir na diagonal destas direções.

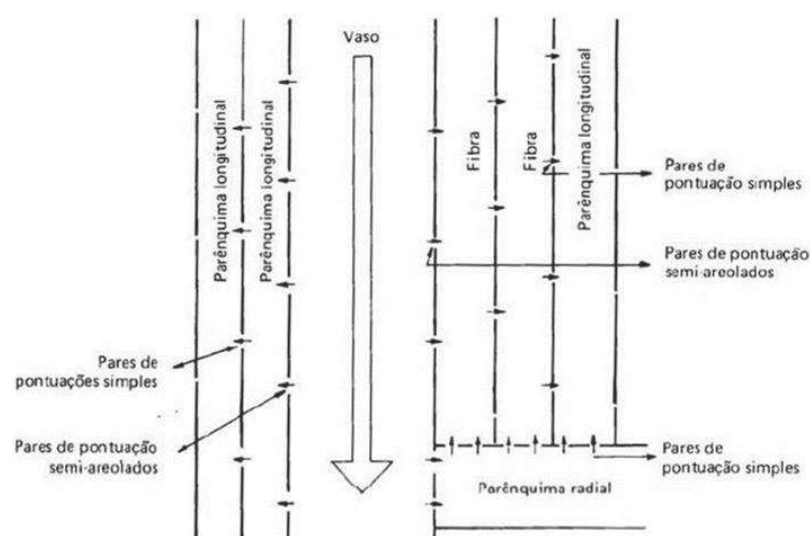


Figura 2 Modelo de fluxo generalizado para folhosas. Magnitude relativa do fluxo é indicada pelo tamanho da seta

Fonte: Siau (1971).

Os estudos sobre a movimentação da água são importantes, pois sua movimentação está relacionada a defeitos ocorridos na madeira (KLITZKE; BATISTA, 2010) e a presença da umidade aumenta os custos de transporte e afeta as propriedades mecânicas da madeira (HASELEIN et al., 2002). Também diminui o rendimento na produção de carvão vegetal, pois parte do material lenhoso é queimado para a retirada da água como vapor (ROUSSET et al., 2011) e reduz o poder calorífico líquido da madeira (BRAND et al., 2011; ZANUNCIO et al., 2013a), entre outros.

Diversos estudos avaliaram a saída da água da madeira de *Eucalyptus*, principalmente de madeira serrada (BARBOSA et al., 2005; JANKOWSKY;

SANTOS, 2005; KLITZKE; BATISTA, 2010). As publicações sobre a secagem da madeira roliça de *Eucalyptus* iniciaram na década de 80 e retornaram na última década e foram realizadas, principalmente, com toras destinadas para a produção de energia (VITAL; DELLA LUCIA; VALENTE, 1985; REZENDE et al., 2010; BRAND et al., 2011; ZANUNCIO et al., 2013b; PERTUZZATTI et al., 2013).

Destes estudos, Vital, Della Lucia e Valente (1985) avaliaram a secagem de *E. grandis*, aos cinco anos de idade e observaram que a redução de umidade, em função do tempo, é afetada pela posição na pilha e diâmetro das toras. Os autores, também, observaram o efeito da casca na secagem das toras, quando após 175 dias de secagem ao ar livre, as sem casca atingiram 23,4% de umidade e as com casca, 32,36%. Rezende et al. (2010) realizaram pesquisa com toras de *E. urophylla* e relataram as maiores perdas de umidade, nas três primeiras semanas e, também, encontraram para os maiores diâmetros das toras menores perdas de umidade, comparadas às toras mais finas.

Estes estudos foram realizados com a secagem das toras ao longo do tempo até determinada umidade. No entanto, diversas formas de avaliação da saída da água são relatadas na literatura. O conhecimento da fluidez dos líquidos por meio da estrutura da madeira é importante nos processos de secagem, polpação e preservação que são, consideravelmente, afetados pela facilidade com que os fluidos se movem pelos espaços internos na madeira sob gradiente de pressão estático ou dinâmico (RAYIRATH; AVRAMIDIS, 2008).

2.3.1 Avaliação do fluxo da água na madeira

A movimentação dos fluidos na madeira pode ser medida de diferentes formas. Uma destas é com base na permeabilidade, que atua como um forte indicativo sobre o deslocamento interno de fluidos. De acordo com Siau (1971),

ela é a medida da facilidade com que os fluidos são transportados por um sólido poroso, sob a influência de gradiente de depressão.

Diferentes métodos e técnicas são utilizados para o cálculo da permeabilidade da madeira. Silva, Machado e Calil Junior (2008) e Silva et al. (2010) avaliaram a permeabilidade ao ar e ao líquido para madeiras de *Pinus* e *Eucalyptus*, respectivamente, utilizando um aparato, conforme Figura 3.

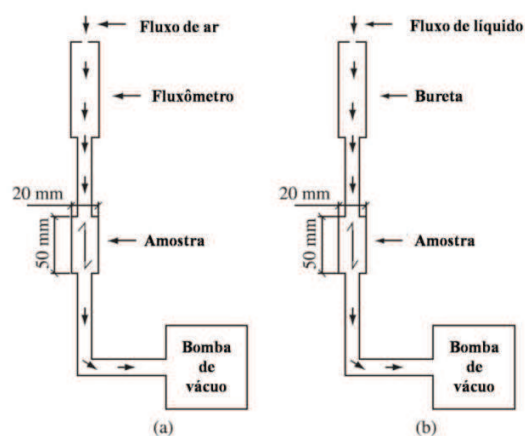


Figura 3 Esquema do aparato para medição da permeabilidade ao ar e ao líquido

Fonte: Silva et al. (2010).

Este mesmo aparato, também, foi desenvolvido por Baraúna (2010) para a avaliação da permeabilidade da madeira de amapá e faveira. Em todos os trabalhos, este aparato não forneceu valores para a medição do fluxo de líquido ou ar na direção radial da madeira. Independente do aparato utilizado, a medição do fluxo de líquido é difícil em decorrência da ação das forças capilares, pois o ar aumenta as forças de resistência viscosa que determina a permeabilidade. Para minimizar este efeito, Siau (1971) sugeriu que seja preciso de arear o líquido ao máximo e que, também, existe matéria particulada que pode entupir as

minúsculas aberturas das pontoações e estes devem ser removidos por microfiltração.

Com outro método, Ahmed e Chun (2011) avaliaram a permeabilidade na direção axial, radial e tangencial em madeira de *Tectona grandis*, com base na adsorção da solução de safranina, que foi medida de tempo em tempo com auxílio de uma câmera de vídeo e em seguida as imagens foram analisadas com base na distância percorrida pela solução nas amostras para cada direção. Os autores consideram importante, para a comparação dos resultados, o conhecimento das propriedades do líquido, como sua tensão superficial.

Perre e May (2007) usaram um aparato constituído por uma câmara climática, uma micro balança e avaliaram a perda de umidade de duas formas, ambas sem contato: dois feixes de laser e o outro com um termômetro infravermelho e com os resultados calcularam as taxas de secagem e a temperatura versus tempo. Os autores encontraram taxas de secagem constantes no primeiro período de secagem pelos dois métodos.

Na avaliação do fluxo da água no estado gasoso e da água adsorvida, ou seja, na avaliação da umidade abaixo do PSF, nos diferentes eixos ortotrópicas da madeira, Mouchot et al. (2006) utilizaram um método baseado na difusão de um soluto gasoso não adsorvido. Estas medições foram feitas em uma célula de difusão de *Wicke e Kallenbach*, constituída por dois compartimentos, separados por uma amostra de madeira. Com base na difusão do soluto inerte entre os compartimentos, é estimada a difusão do vapor d'água e as medições de difusão da água adsorvida foram realizadas em um medidor de fluxo de vapor (*vapometer*).

Outros métodos de avaliação das taxas de fluxo de água foram realizados, principalmente, com madeira do gênero *Eucalyptus*. Ciniglio (1998) avaliou a perda de massa, em função do tempo em condição drástica, com temperatura de 100°C, em amostras de *E. urophylla*, com dimensões 1 x 5 x 10

cm e estimou as taxas de secagem da água livre, da água adsorvida e da água total, considerando a umidade final igual a 5%. Metodologia semelhante foi adotada por Barbosa et al. (2005) que avaliaram a secagem em estufa a 100°C de clones de *Eucalyptus*. Por este método se fornecem valores para a saída da água, com base na massa, na área de secagem e no tempo, com unidade igual a $\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$.

Independente do método utilizado, diversos fatores afetam sua determinação. A umidade da amostra, em que Siau (1971) relata que a permeabilidade de coníferas aumenta quando a umidade decresce. A influência do comprimento da amostra, que segundo Bramhall (1971), a permeabilidade decresce quando o comprimento da amostra aumenta. As propriedades da madeira, também, afetam esta movimentação, como por exemplo, a densidade que apresenta relação inversa com a taxa de secagem e a umidade inicial (ZANUNCIO et al., 2013b), os constituintes químicos e os anatômicos, que estão abordados no próximo tópico.

2.4 Efeito da estrutura anatômica da madeira na movimentação de água

A estrutura anatômica da madeira desempenha um importante papel sobre a movimentação da água livre e da água adsorvida, favorecendo ou prejudicando o fluxo. Considerando a movimentação da água adsorvida, Mouchot et al. (2006) relatam que a morfologia das espécies desempenha um papel importante sobre os valores dos coeficientes de difusão na fase gasosa e na fase adsorvida e que a influência sobre a difusividade na fase gasosa pode ser muito diferente e mesmo oposta às difusividades observadas para a água adsorvida.

As árvores, como todo material biológico, apresentam uma grande complexidade de estruturas anatômicas da sua madeira. O fluxo entre as espécies

variam, consideravelmente, como por exemplo, Siau (1971) que relata valores de permeabilidade superiores para as folhosas em comparação com as coníferas. Comparando a mesma família, Myrtaceae, Silva et al. (2010) relatam maiores valores de permeabilidade para a madeira de *Eucalyptus grandis* quando comparada com o *Corymbia citriodora*.

Em diversos estudos são relatadas as relações entre as características anatômicas da madeira e o fluxo da água em um mesmo indivíduo. A comparação entre o fluxo de água no cerne e alburno demonstra que a passagem de fluido no alburno ocorre com maior facilidade. Siau (1971) apresenta valores de proporção do fluxo entre alburno e cerne de 34:1 para a espécie *Pseudotsuga* sp., de 10:1 na *Tsuga* sp. e de 6:1 na *Thuja* sp.. Em estudos com *Eucalyptus*, Silva et al. (2010) compararam *E. grandis* e *C. citriodora* e encontraram valores de permeabilidade maior no alburno. Em outro estudo, com *E. regnans*, England e Attiwill (2007) relatam o aumento da permeabilidade do alburno com o aumento da idade da árvore na altura de 1,3 metros do solo.

Assim como o cerne, a casca, também, dificulta a saída da água da madeira. Rezende et al. (2010) constataram que esta estrutura dificulta a saída de água. Por sua vez, Vital, Della Lucia e Valente (1985) estudaram a secagem de toras de *E. grandis* (Figura 4) com 5 anos e observaram que a influência mais pronunciada da casca ocorre até a 4ª semana, além de toras sem casca atingirem menores umidades que com casca em um mesmo intervalo de tempo.

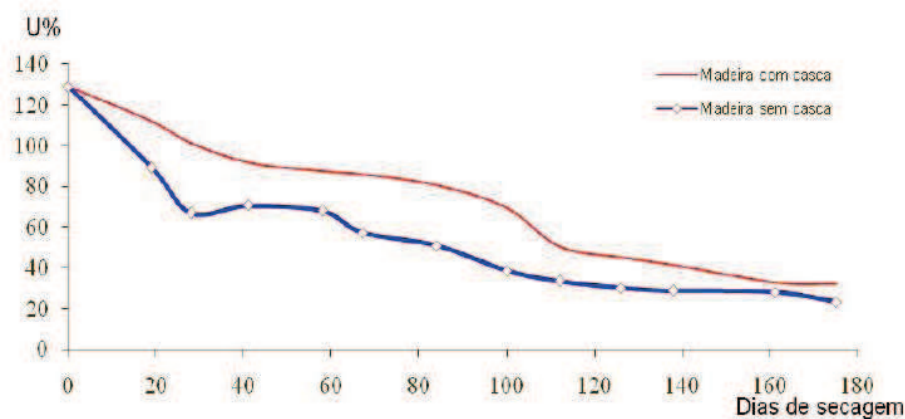


Figura 4 Curva de secagem de *Eucalyptus grandis* com e sem casca

Fonte: Vital, Della Lucia e Valente (1985)

As fibras representam o maior volume no lenho quando comparadas com outras estruturas e apresentam a função principal de sustentação (PANSHIN; ZEEUW, 1980; ESTEBAN et al., 2003). No entanto, sua relação com o fluxo da água apresenta pouca importância (SILVA, 2007). Baraúna (2010), também, não encontrou efeitos significativos da espessura da parede e do comprimento da fibra na permeabilidade da madeira de amapá e faveira. Kedrov (2012) justifica este comportamento em razão do próprio formato das fibras, uma vez que a parede celular forma uma terminação nas extremidades destas, dificultando o fluxo na direção axial, diferente dos elementos vasculares que possuem placas de perfuração. No entanto, relatos do comprimento das fibras, afetando a movimentação dos fluidos na madeira, foram apresentados por Ahmed e Chun (2011) no lenho de *Tectona grandis*. Além disso, a espessura da parede celular está relacionada com a quantidade de água livre e adsorvida na madeira, que afeta diretamente a umidade do ponto de saturação das fibras (ENGELUND et al., 2013) e, conseqüentemente, o fluxo destas águas.

Os vasos são a principal estrutura responsável pela movimentação de líquidos e gases na madeira das folhosas (SIAU, 1971; KEDROV, 2012; ENGELUND et al., 2013), como o *Eucalyptus*. Sua presença é um dos principais indicativos da madeira ser do grupo das folhosas (ESTEBAN et al., 2003). A permeabilidade axial está diretamente relacionada à sua distribuição, ao seu diâmetro e ao conteúdo deles (KOLLMANN; KUENZI; STAMM, 1975). Estes podem ser solitários ou múltiplos, que comunicam com os adjacentes por meio de pares de pontoações (PANSHIN; ZEEUW, 1980), que auxiliam na passagem dos fluidos entre eles (KEDROV, 2012). A distribuição dos vasos, também, apresenta variação, conforme observado por Tomazello Filho (1985) e Rocha, Florsheim e Couto (2004) que descrevem a compensação da redução no número total de poros por mm² com o aumento do diâmetro dos elementos vasculares.

O vaso observado no plano longitudinal radial ou tangencial do bloco de madeira é um conjunto de diversos elementos de vasos sobrepostos. Entre estes elementos, ocorrem placas de perfuração, que realizam a comunicação axial e são aberturas orientadas transversalmente apresentando descontinuidade simples ou múltipla. Os elementos vasculares do *Eucalyptus* geralmente são curtos e com placa de perfuração simples (NISGOSKI; MUÑIZ; KLOCK, 1998) apresentando pouca resistência a passagem dos fluidos.

Outros tipos de placas de perfuração, como as foraminada, reticulada, escalariforme e mista interferem no fluxo da água, pois facilitam a deposição de substâncias incrustantes, que podem bloquear ou dificultar a passagem dos líquidos pelos vasos (MILOTA et al., 1995). Além destas estruturas, as tiloses, também, podem obstruir os vasos, que são expansões de células adjacentes para o interior do elemento vascular que atravessam os pares de pontoações. Sua presença interrompe de forma parcial ou total a permeabilidade dos vasos (SIAU, 1971).

Na direção transversal, o raio ou parênquima radial apresentam importância na movimentação dos fluidos. Estes se originam com base em células iniciais radiais do cambio, cuja formação é completamente diferente das fusiformes, como as fibras e apresentam dimensões variáveis, podendo ser unisseriados ou multisseriados (ESTEBAN et al., 2003). Estas estruturas auxiliam na saída da água, conforme relatado por Ahmed e Chun (2011) que encontraram o efeito significativo da altura do raio no fluxo de solução de safranina na madeira de *Tectona grandis*. Além disso, os raios possuem pontoações que se ligam aos elementos vasculares (pontoações raio-vasculares) e outras estruturas. Estas pontoações presentes nos raios auxiliam na movimentação transversal da água (KEDROV, 2012).

Tanto as pontoações raio-vasculares quanto as intervasculares apresentam relação com a movimentação dos fluidos nas folhosas. Segundo Choat, Cobb e Jansen (2008), a condução dos fluidos na madeira é influenciada tanto pela estrutura destas pontoações, quanto pelo seu diâmetro médio e sua área superficial total conectada entre os vasos. No entanto, algumas espécies se caracterizam por apresentarem pontoações com ornamentações, as quais podem reduzir, significativamente, a permeabilidade e as células radiais podem produzir substâncias gomosas e resinosas que se incrustam nos vasos, reduzindo sua permeabilidade.

Importante relatar que nas coníferas as pontoações areoladas são importantes para a movimentação dos fluidos. Elas apresentam uma estrutura denominada torus, dentro das cavidades, no estado verde. São completamente permeáveis, quando não obstruídas por outros elementos, como resinas ou incrustações (SIAU, 1971). Estas pontoações, também, são responsáveis pela diferença de permeabilidade entre cerne e alburno (AUMANN; FORD, 2006).

O conjunto das características anatômicas serve de base para os cálculos para determinar, por exemplo, as frações de parede da fibra e as frações de

parede total, entre outros. As frações geradas apresentam relação com a porosidade da madeira, que segundo Siau (1971), possuem relação com a movimentação de líquidos na madeira.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

As árvores de *Eucalyptus urophylla*, utilizadas neste trabalho, foram procedentes de reflorestamentos clonais, da empresa *Vallourec Florestal Ltda*, localizados no município de Paraopeba, Estado de Minas Gerais. Também foram utilizadas árvores da espécie *Corymbia citriodora*, procedentes de plantio seminal, da empresa *Cenibra S.A.*, localizado no município de Belo Oriente, Estado de Minas Gerais. O espaçamento entre as árvores nos reflorestamentos era de 3 x 3 metros (TABELA 1).

Tabela 1 Espécie, nome comercial, quantidade de árvores, idade, diâmetro a 1,3 metros do solo e altura comercial média das árvores de *Eucalyptus* e *Corymbia*

Espécie	Nome comercial	Quantidade (árvores)	Idade (anos)	*DAP (cm)	Altura das árvores (m)
<i>Eucalyptus urophylla</i>	MN463	3	7	20,34	30,45
<i>E. urophylla</i>	VM04	3	7	19,45	29,45
<i>Corymbia citriodora</i>	<i>C. citriodora</i>	3	7	17,88	22,65

* DAP – diâmetro a altura de 1,3 metros do solo, sem a casca.

Após o abate da árvore, foi retirada uma tora da base, com 1,4 metros de comprimento. A seguir, de cada árvore, foram retirados três toretes, com aproximadamente 45 cm de comprimento cada. Tal procedimento foi adotado visando excluir a variação axial das características anatômicas e físicas da madeira, fato que poderia comprometer os resultados obtidos. Também foram retirados discos, com aproximadamente 5 cm de espessura, entre os toretes. As toras, os toretes e os discos foram identificados por códigos (letras e números), por material genético, árvore e posição de retirada do fuste. Logo após eles

foram armazenados em sacos plásticos, vedados e transportados para o Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras (DCF/UFLA), onde os toretes foram armazenados para o controle da secagem ao ar livre, sob cobertura. Os discos foram partidos e utilizados para a determinação da densidade básica da madeira dos toretes. Também se procedeu à retirada de sarrafos das posições interna e externa da tora da base, bem como à remoção blocos (corpos-de-prova) ao longo de cada sarrafo para a avaliação da densidade básica, do fluxo da água e das características anatômicas, de acordo com esquema de distribuição presente na Figura 5.

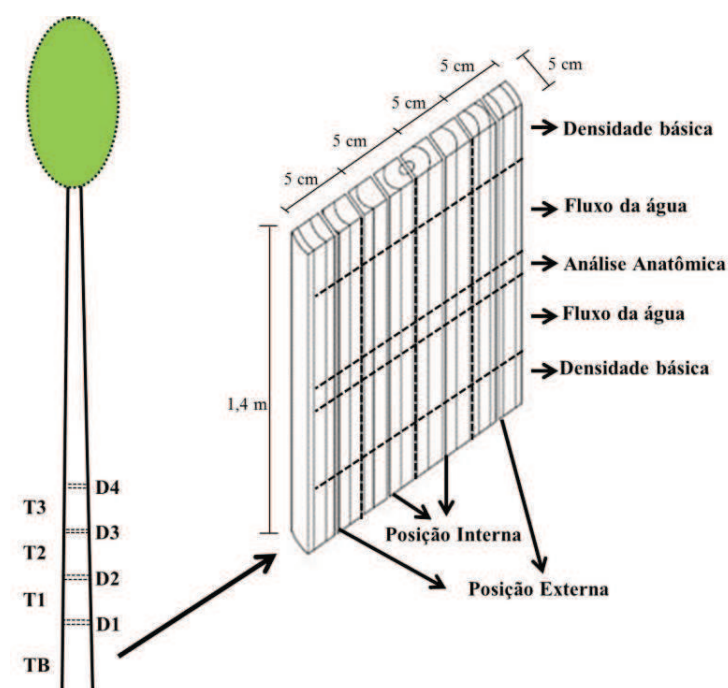


Figura 5 Esquema de retirada dos toretes (T1, T2 e T3), dos discos (D1, D2, D3 e D4) e da tora da base (TB) que gerou o pranchão central para a retirada dos blocos para avaliação das propriedades e fluxo da água na madeira

3.2 Densidade da madeira

Nos blocos retirados das extremidades dos sarrafos e nos discos retirados entre os toretes, foi determinada a densidade básica da madeira, conforme a NBR 11941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT, 2003).

3.3 Estrutura anatômica da madeira

Para avaliar as características anatômicas, foram utilizados quatro cubos (Figura 4), com 30 mm em cada aresta, de cada árvore, sendo dois da posição interna e dois da posição externa do caule. As análises anatômicas foram realizadas no DCF/UFLA e a medição do diâmetro das pontoações no Laboratório de Microscopia Eletrônica da mesma Universidade.

A descrição microscópica da anatomia da madeira foi realizada com base na metodologia descrita na International Association of Wood Anatomists, IAWA (1989). Na coloração e na montagem das lâminas histológicas, foi utilizada a técnica de Johansen (1940) e para o preparo do material macerado foi utilizado o método descrito por Franklin (1945), modificado por Berlyn e Miksche (1976).

Foram realizadas 30 medições para cada característica anatômica. Nos cortes histológicos foram quantificados os poros quanto ao número. mm^{-2} e diâmetro (μm); os raios quanto ao número. mm^{-1} , altura e largura (μm). No material macerado foi medido no elemento de vaso o comprimento (μm); nas fibras o comprimento, a largura e o diâmetro do lume (μm). Com base nestes dados foi calculada a espessura da parede da fibra e a fração parede da fibra, conforme as Equações 1 e 2, respectivamente:

$$EPF = \frac{LF - DLF}{2} \quad (1)$$

$$FPF = \frac{2 EPF}{LF} \times 100 \quad (2)$$

Em que: EPF: espessura da parede da fibra (μm); DLF: diâmetro do lume da fibra (μm); LF: largura da fibra (μm); FPF: fração parede da fibra (%).

O calculo da fração de parede total disponível por mm^2 foi realizada com base na Equação 3, conforme Melo (2013). A porção de células parenquimáticas da madeira foi desconsiderada.

$$FPT = \left[1 - \left(FP \times \frac{\pi DV^2}{4} \right) \right] \times FPF \quad (3)$$

Em que: FPT: fração parede total (%); FP: número de poros por mm^2 ; DV: diâmetro médio dos elementos de vaso (mm); FPF: fração parede das fibras (%).

Os diâmetros das pontoações raio-vasculares e intervasculares foram medidos por meio da microscopia eletrônica de varredura nos mesmos blocos de madeira utilizados para as demais características anatômicas. As dimensões dos corpos-de-prova foram reduzidas para 5 x 5 x 5 mm e tiveram a face longitudinal radial aplainada no micrótomo. Em seguida foram secas em estufa com circulação de ar, a 70°C por 1 hora e mantidas em recipiente com sílica até o momento do ensaio. A superfície foi recoberta com, aproximadamente, 20 nm de ouro em aparelho evaporador de ouro (*Sputtering – Bal-Tec*) e as imagens de microscopia eletrônica de varredura foram visualizadas e medidas em equipamento *LEO EVO 40 XVP* (Figura 6).

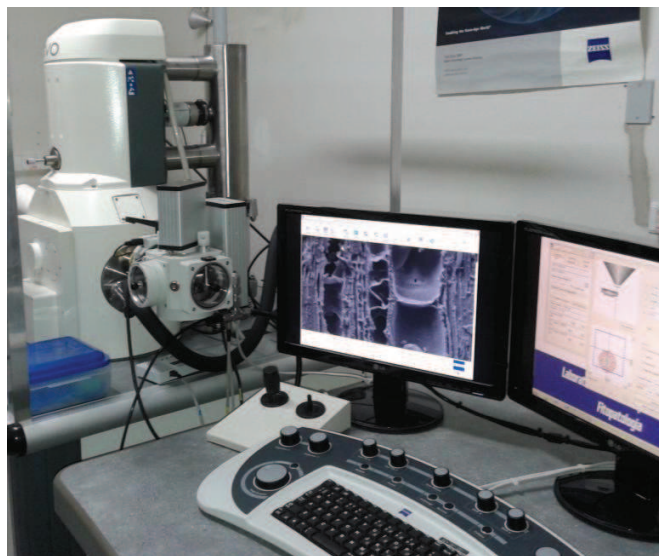


Figura 6 Conjunto para a observação da pontoação raio-vascular no microscópio eletrônico de varredura

A avaliação das características anatômicas dos materiais genéticos foi calculada para os toretes e para os blocos de madeira retirados dos sarrafos, onde foram determinados os valores de frequência de poros, diâmetro e comprimento do elemento de vaso; frequência, altura e largura do raio; comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura de parede da fibra; fração de parede da fibra e fração de parede total; diâmetro da pontoação raio-vascular e da pontoação intervascular para a posição interna e para a posição externa da tora da base. Os valores das características anatômicas dos toretes foram calculados com base na média ponderada pela área da seção transversal do torete (Equação 4). Inicialmente foi calculada a área da seção transversal de cada torete, em seguida, utilizando o valor da metade do raio do torete, foi calculada a área interna da seção transversal do torete. A diferença entre a área total e a área interna gerou a área externa do torete.

$$CA_{\text{torete}} = \left[\frac{(CA_{\text{int.}} \times A_{\text{int.}}) + (CA_{\text{ext.}} \times A_{\text{ext.}})}{A_{\text{int.}} + A_{\text{ext.}}} \right] \quad (4)$$

Em que: CA_{torete} : valor da média ponderada da característica anatômica da madeira do torete; $CA_{\text{int.}}$: valor médio da característica anatômica do bloco de madeira da posição interna da tora da base; $CA_{\text{ext.}}$: valor médio da característica anatômica do bloco de madeira da posição externa da tora da base; $A_{\text{int.}}$: área interna da seção transversal do torete; $A_{\text{ext.}}$: área externa da seção transversal do torete.

3.4 Umidade da madeira e tempo de secagem

A umidade dos blocos e dos toretes utilizados para a avaliação do fluxo da água na madeira foi calculada para cada período de secagem (Equação 5).

$$U_{bs}(\%) = \left(\frac{M_u - M_s}{M_s} \right) \times 100 \quad (5)$$

Em que: U_{bs} (%) - umidade base seca da madeira, em %; M_u - massa úmida em determinado período de secagem; M_s - massa seca da madeira.

A primeira massa medida na secagem foi considerada para a umidade inicial (UI). O ponto de saturação das fibras (PSF) foi considerado igual a 30%, valor médio relatado por Skaar (1972). A massa dos blocos e dos toretes, para a umidade próxima de 30%, foi considerada para o PSF. No final da secagem, quando a massa ficou constante, foi considerada para a umidade de equilíbrio (UE).

O tempo médio consumido para a saída da água livre (TAL), que ocorreu entre a umidade inicial e o PSF, foi avaliado. O tempo médio consumido

para a saída da água adsorvida (TAA), que ocorreu entre o PSF e a UE, também, foi avaliado. A soma do TAL e do TAA foi utilizada como o tempo de secagem total (TT). Importante notar que a secagem foi parcial, até a umidade de equilíbrio e não total, até a umidade de 0%.

3.5 Taxa de fluxo de água

A primeira medição da secagem dos toretes ocorreu após o abate das árvores, retirada da casca e impermeabilização com emulsão asfáltica da seção transversal, a fim de diminuir a saída de água nesta seção, ainda no campo. Depois, continuou no DCF/UFLA, onde os toretes foram empilhados para secagem, ao ar livre, em galpão coberto e sem paredes laterais para melhor circulação do ar, conforme adaptação da metodologia adotada por Rezende et al. (2010).

Com base em testes preliminares de secagem de toras, a massa dos toretes foi medida, durante 170 dias para avaliação da secagem, entre setembro de 2012 e março de 2013, na cidade de Lavras – MG. A medição da massa dos toretes ocorreu em dias alternados no primeiro mês e duas vezes por semana no período restante, até a estabilização das massas (UE), que, segundo Lima e Mendes (1995), ocorre próxima da umidade de 14% em Lavras – MG.

A secagem dos blocos de madeira retirados dos sarrafos da tora da base da árvore ocorreu para as direções ortotrópicas. Os blocos tinham as dimensões de 30 x 30 x 15 mm, tendo a menor dimensão a que o fluxo da água ocorreu (Figura 7). Dos sarrafos da tora da base de cada árvore foram produzidos 48 blocos, sendo 16 para cada direção e metade da posição interna do tronco e a outra metade da posição externa. Os corpos-de-prova foram identificados e suas faces impermeabilizadas com adesivo à base de epóxi.

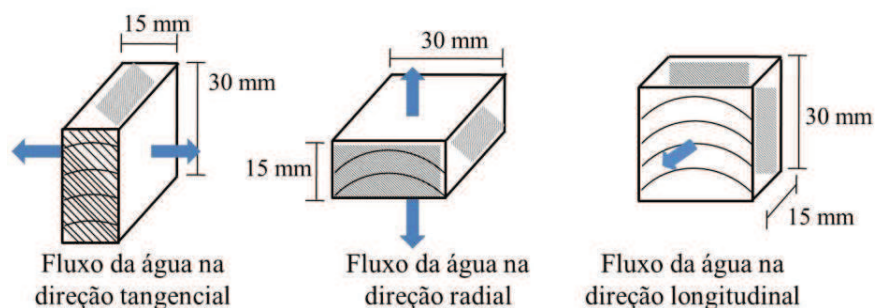


Figura 7 Esquema dos blocos de madeira utilizados para a avaliação do fluxo da água nas direções ortotrópicas da madeira dos clones MN463 e VM04 de *E. urophylla* e de *C. citriodora*. Em que: linhas curvas: anéis de crescimento; setas: direção do fluxo da água; hachuras: faces impermeabilizadas

Os blocos de madeira ficaram armazenados em sala climatizada, com temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 5\%$, condição que após a secagem da madeira gera UE de, aproximadamente, 12%. A massa dos corpos-de-prova foi medida em balança eletrônica digital, com precisão de 0,01g, a cada 6 horas na primeira semana, a cada 12 horas na segunda semana e a cada 24 horas até estabilização das massas.

Os toretes e os blocos de madeira, após a secagem ao ar livre e na sala climatizada, respectivamente, foram secos em estufa, com circulação de ar forçada e temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$, até massa constante. Em seguida foram determinadas as massas secas (umidade = 0%) em uma balança eletrônica. O gráfico da secagem, em função do tempo, foi gerado para os toretes e dos blocos em cada direção ortotrópica da madeira.

A taxa de fluxo da água livre, da água adsorvida e da água total foram calculadas para os toretes e para as direções ortotrópicas dos blocos de madeira, conforme as Equações 6, 7 e 8.

a) Taxa de fluxo da água livre

$$TXAL = \frac{Mi - MPSF}{T2 \times A} \quad (6)$$

Em que: TXAL: taxa de fluxo da água livre ($\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$); Mi: massa inicial da madeira (g); MPSF: massa da madeira no ponto de saturação das fibras (g); T2: tempo de fluxo da água livre (hora); A: área exposta para a saída da água na madeira (cm^2).

b) Taxa de fluxo da água adsorvida.

$$TXAA = \frac{MPSF - Meq}{T3 \times A} \quad (7)$$

Em que: TXAA: taxa de fluxo da água adsorvida ($\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$); MPSF: massa da madeira no ponto de saturação das fibras (g); Meq: massa da madeira na umidade de equilíbrio (g); T3: tempo de fluxo da água adsorvida (hora); A: área exposta para a saída da água na madeira (cm^2).

c) Taxa de fluxo da água total (água livre e adsorvida).

$$TXAT = \frac{Mi - Meq}{T1 \times A} \quad (8)$$

Em que: TXAT: taxa de fluxo da água total ($\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$); Mi: massa inicial da madeira (g); Meq: massa da madeira na umidade de equilíbrio (g); T1: tempo de fluxo da água total (hora); A: área exposta para a saída da água na madeira (cm^2).

3.6 Análises estatísticas

O delineamento experimental utilizado para a densidade básica da madeira dos toretes e dos blocos seguiu o modelo inteiramente casualizado,

considerando quatro leituras para cada árvore e as diferentes árvores como repetições, totalizando doze repetições para cada material genético. O delineamento experimental utilizado para a densidade básica da madeira dos blocos nas posições interna e externa do caule seguiu o modelo fatorial 3×2 , sendo três materiais genéticos e duas posições radiais de amostragem, com seis repetições para cada posição. Também foi calculado o valor médio da densidade básica da madeira e o coeficiente de variação.

Para cada característica anatômica da madeira dos toretes, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, considerando três leituras para cada árvore e as diferentes árvores como repetições, totalizando nove repetições para cada material genético. O mesmo delineamento foi utilizado, para cada característica anatômica dos blocos de madeira, no entanto, foram consideradas quatro leituras para cada árvore e as diferentes árvores como repetições, totalizando doze repetições para cada material genético. O delineamento fatorial 3×2 , sendo três materiais genéticos e duas posições radiais de amostragem foi utilizado para cada característica anatômica dos blocos de madeira para as posições interna e externa do caule, com seis repetições para cada posição. Os valores mínimo, médio e máximo de cada característica anatômica foram determinados juntamente com o coeficiente de variação.

O delineamento experimental utilizado para a taxa de fluxo da água livre (TXAL), água adsorvida (TXAA) e água total (TXAT) da madeira dos toretes seguiu o modelo inteiramente casualizado, considerando três leituras para cada árvore e as diferentes árvores como repetições, totalizando nove repetições para cada material genético. Para as taxas de fluxo da água na direção axial, radial e tangencial nos blocos de madeira foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, considerando dezesseis leituras para cada árvore e as diferentes árvores como repetições, totalizando quarenta e oito repetições para cada material genético. O delineamento fatorial $3 \times 3 \times 2$, sendo três materiais

genéticos, três direções ortotrópicas da madeira e duas posições radiais de amostragem foi utilizado para cada taxa de fluxo da água nos blocos de madeira nas posições interna e externa do caule, com vinte e quatro repetições para cada posição.

Os resultados foram interpretados estatisticamente por meio da análise de variância. Para as variáveis analisadas que apresentaram diferenças estatísticas significativas foi aplicado o teste de comparação de médias, pelo método de Scott-Knott, a 5% de significância.

3.7 Efeito da estrutura anatômica no fluxo da água

Utilizando a planilha eletrônica digital *Tablecurve 2D*, as correlações foram realizadas para cada característica anatômica e densidade básica com a TXAL, TXAA e TXAT. Para os blocos de madeira, foram, também, estimadas as correlações para cada direção ortotrópica da madeira. Inicialmente foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson (r) e a significância dos mesmos, com 95% de probabilidade no teste t de Student. Para as correlações significativas, foram testados diferentes modelos de regressão e, em virtude da baixa diferença entre eles, foi utilizado o modelo linear (Tabela 2) junto com os coeficientes de determinação (R^2) e desvio padrão residual (S_{xy}). Um gráfico com o melhor ajuste para cada característica foi apresentado para ilustrar a tendência do efeito destes sobre as taxas de fluxo da água.

Tabela 2 Modelos estatísticos entre as taxas de fluxo da água e as características anatômicas da madeira dos clones MN463 e VM04 de *E. urophylla* e de *Corymbia citriodora*

Nº do modelo	Modelos estatísticos
1	$TXAL_i = \beta_0 + \beta_1 CA_i + \varepsilon$
2	$TXAA_i = \beta_0 + \beta_1 CA_i + \varepsilon$
3	$TXAT_i = \beta_0 + \beta_1 CA_i + \varepsilon$

TXAL: taxa de fluxo da água livre ($\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$); TXAA: taxa de fluxo da água adsorvida ($\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$); TXAT: taxa de fluxo da água total ($\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$); β_0 e β_1 : coeficientes dos modelos; ε : erro do modelo; CA: característica anatômica avaliada.

Em uma segunda etapa, foram ajustadas equações de regressão para a taxa de fluxo da água, em cada direção, tendo como variáveis explicativas a frequência de poros, o diâmetro e o comprimento do elemento vascular; a frequência, a largura e a altura do raio; o comprimento, a largura, o diâmetro do lume, a espessura da parede, a fração de parede de fibra e a fração de parede total, assim como a densidade básica, utilizando os modelos apresentados na Tabela 3. A escolha da melhor equação ajustada foi feita utilizando-se o procedimento de seleção por etapas (“*stepwise regression procedure*”) e admitindo nível de significância de até 10% de probabilidade.

Tabela 3 Modelos estatísticos entre as taxas de fluxo da água e as características anatômicas e densidade básica da madeira de amostras dos clones MN463 e VM04 de *E. urophylla* e de *Corymbia citriodora* para cada direção ortotrópica

Nº do modelo	DFA	Modelos estatísticos
1	Axial	$TXAL_i = \beta_0 + \beta_1CEV + \varepsilon$
2		$TXAA_i = \beta_0 + \beta_1DV + \beta_2LR + \beta_3DB + \beta_4CF + \varepsilon$
3		$TXAT_i = \beta_0 + \beta_1DV + \beta_2DLF + \beta_3CR + \beta_4LR + \varepsilon$
4	Radial	$TXAL_i = \beta_0 + \beta_1FPF + \beta_2CEV + B3db + \varepsilon$
5		$TXAA_i = \beta_0 + \beta_1CEV + \beta_2EPC + B3DB + \varepsilon$
6		$TXAT_i = \beta_0 + \beta_1CEV + \beta_2DB + \beta_3LF + \varepsilon$
7	Tangencial	$TXAL_i = \beta_0 + \beta_1DB + \beta_2FR + \beta_3DV + \varepsilon$
8		$TXAA_i = \beta_0 + \beta_1CEV + \beta_2LR + \beta_3LF + \beta_4DB + \varepsilon$
9		$TXAT_i = \beta_0 + \beta_1DB + \beta_2FPT + \beta_3CEV + \varepsilon$

TXAL: taxa de fluxo da água livre ($\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$); TXAA: taxa de fluxo da água adsorvida ($\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$); TXAT: taxa de fluxo da água total ($\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$); DFA: direção do fluxo da água; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$: coeficientes dos modelos; ε : erro do modelo; CA: característica anatômica avaliada. CEV: comprimento do elemento de vaso; DV: diâmetro do elemento de vaso; LR: largura do raio; CR: altura do raio; CF: comprimento da fibra; LF: largura da fibra; DLF: diâmetro do lume da fibra; EPC: espessura da parede da fibra; FPF: fração parede da fibra; FPT: fração parede total; DB: densidade básica.

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o *programa R*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Densidade básica

Na Tabela 4 encontram-se os valores médios da densidade básica da madeira dos toretes e dos blocos. Encontram-se, também, os coeficientes de variação e o teste de médias para os diferentes materiais genéticos. Nota-se que os coeficientes de variação obtidos foram baixos, com valores inferiores a 10%, exceto para a madeira dos blocos do clone MN463, indicando boa precisão experimental e demonstrando baixa variedade entre as árvores e, também, apenas para os blocos, entre a posição interna e externa do tronco. O coeficiente de variação da madeira dos toretes foi superior no *C. citriodora*, possivelmente, em razão de as árvores serem de plantio seminal. Na madeira dos blocos este comportamento não permaneceu, possivelmente, em consequência das diferentes posições radiais de amostragem em cada árvore.

Tabela 4 Densidade básica da madeira dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

Densidade básica (g.cm ⁻³)	Torete		Bloco	
	Média (CV%)		Média (CV%)	
<i>Corymbia citriodora</i>	0,610 (10,8)	A	0,655 (7,4)	A
				PI 0,620 ^a PE 0,673 ^a
Clone MN463 (<i>E. urophylla</i>)	0,498 (4,0)	B	0,474 (11,8)	B
				PI 0,443 ^b PE 0,502 ^a
Clone VM04 (<i>E. urophylla</i>)	0,523 (2,2)	B	0,499 (3,1)	B
				PI 0,486 ^a PE 0,505 ^a

CV%: coeficiente de variação em porcentagem; PI – região interna do tronco; PE – região externa do tronco. Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem o material genético e minúscula não diferem a posição radial de amostragem estatisticamente entre si, pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância.

A densidade da madeira dos toretes e dos blocos do *C. citriodora* apresentou valores superiores quando comparada à madeira dos clones MN463 e VM04 de *E. urophylla*. As diferenças entre a densidade da madeira dos toretes e dos blocos devem-se à obtenção dos blocos na tora da base da árvore e, também, à amostragem nas posições interna e externa do tronco. A madeira da posição externa do tronco apresentou valores de densidade básica superiores, sendo a diferença maior na madeira do clone MN463. Panshin; De Zeeuw (1980) relatam que a densidade básica da madeira aumenta no sentido da medula para a casca, mesma tendência encontrada por Cruz, Lima e Muniz (2003) com madeiras do gênero *Eucalyptus*.

Os valores das densidades da madeira encontrados são coerentes com a literatura para a madeira de *C. citriodora* e de *E. urophylla*. Lemos et al. (2012) avaliaram a madeira de *C. citriodora*, com 15 anos, provenientes de plantio com espaçamento de 3 x 2 metros e encontraram a densidade da madeira com valores entre 0,575 e 0,634 g.cm⁻³. Zanuncio et al. (2013b) avaliaram clones de *E. urophylla*, com a idade e espaçamento das árvores iguais as utilizadas no presente trabalho e encontraram nas toras da base das árvores, densidades próximas, com valores para a madeira do clone VM04 igual a 0,528 g.cm⁻³ e do clone MN463 igual a 0,497 g.cm⁻³.

4.2 Umidade da madeira e tempo de secagem

Os resultados médios obtidos com a secagem da madeira dos toretes dos clones MN463 e VM04 de *E. urophylla* e de *C. citriodora* da umidade inicial, do ponto de saturação das fibras estimado e da umidade de equilíbrio e, também, os tempos de fluxo da água livre, da água adsorvida e da água total encontram-se listados na Tabela 5.

Tabela 5 Umidade e tempo de fluxo da água na madeira dos toretes dos clones MN463 e VM04 de *E. urophylla* e de *C. citriodora*

Material genético	Umidade e Tempo	
<i>C. citriodora</i>	UI (%)	70,3
	TAL (h)	1327
	PSF (%)	30,7
	TAA (h)	2239
	UE (%)	14,8
	TT (h)	3566
Clone MN463 (<i>E. urophylla</i>)	UI (%)	102,2
	TAL (h)	1771
	PSF (%)	30,7
	TAA (h)	1908
	UE (%)	14,6
	TT (h)	3679
Clone VM04 (<i>E. urophylla</i>)	UI (%)	88,0
	TAL (h)	1123
	PSF (%)	32,4
	TAA (h)	2537
	UE (%)	14,9
	TT (h)	3660

UI: umidade inicial; PSF: umidade estimada para o ponto de saturação das fibras; UE: umidade de equilíbrio; TAL: tempo de fluxo da água livre; TAA: tempo de fluxo da água adsorvida; TT: tempo de fluxo total.

A madeira do clone MN463 apresentou maior umidade inicial, seguida pelo clone VM04 e *C. citriodora*. Esta mesma magnitude de umidade inicial, também, foi encontrada por Zanuncio et al. (2013b) para o clone MN463, que apresentou umidade inicial de 121,52%, para o clone VM04, com umidade igual a 94,54% e para o *C. citriodora*, com umidade de 78,47%. A diferença entre as umidades pode ser em decorrência de diversos fatores como a disponibilidade de

água no solo para a árvore e da densidade básica da madeira, que apresenta relação inversa com o máximo teor de umidade da madeira, entre outros.

Vale ressaltar que a umidade inicial da madeira do clone MN463 foi maior do que a apresentada no clone VM04, mesmo com a densidade da madeira dos clones não diferindo de forma significativa, conforme apresentado na Tabela 4. O tempo de fluxo da água livre na madeira do clone MN463, também, foi maior do que o tempo gasto na madeira do clone VM04, em 57,7%. Comparando a madeira do clone MN463 com o *C. citriodora*, que apresentaram densidades diferentes (Tabela 4), a UI do MN463 foi 45,4% superior e o tempo para o fluxo da água livre foi 33,5% maior.

A madeira do clone VM04 e do *C. citriodora* perdeu água livre mais rapidamente quando comparada à do clone MN463. Este resultado é importante para a indústria de energia da biomassa florestal, uma vez que realiza a secagem natural das toras e, geralmente, este tempo de secagem não é suficiente para atingir a estabilização das massas (umidade de equilíbrio) ou mesmo a umidade próxima ao PSF, que é esperada para a entrada da madeira no forno de carbonização. O maior tempo gasto para o fluxo da água livre no clone MN463, em parte, deve-se a sua maior umidade inicial.

A análise desses resultados deve levar em consideração o comprimento e o diâmetro das toras. Quando comparado com outros trabalhos, que muitas vezes utilizam toras com comprimento superior a 1 metro, o tempo máximo encontrado, de 3679,2 h (153,3 dias), conforme Tabela 5, não é suficiente para secar a madeira até a umidade de equilíbrio. Por exemplo, pode-se citar o trabalho realizado por Rezende et al. (2010) que avaliaram a secagem de toras de *E. urophylla*, com 3,6 metros de comprimento e encontraram umidade de 54% para toras com casca e 50% para toras sem casca.

Na Tabela 6 está listada a umidade inicial, o ponto de saturação das fibras e a umidade de equilíbrio da madeira dos blocos e, também, os tempos de

fluxo da água livre, adsorvida e total encontrado baseado no fluxo da água nas direções ortotrópicas da madeira dos materiais genéticos.

Tabela 6 Umidade e tempo de fluxo da água na madeira dos blocos dos clones MN463 e VM04 de *E. urophylla* e de *C. citriodora*

MG	DFA	UI (%)	TAL (h)	PSF (%)	TAA (h)	UE (%)	TT (h)
<i>C. citriodora</i>	Longitudinal	77,3	60	27,5	275	12,4	335
	Radial	72,0	111	29,4	476	12,1	588
	Tangencial	72,7	181	33,6	501	11,5	682
Clone MN463 (<i>E. urophylla</i>)	Longitudinal	124,3	76	26,8	204	12,4	280
	Radial	116,5	116	30,1	388	12,2	504
	Tangencial	114,6	178	30,4	393	11,7	572
Clone VM04 (<i>E. urophylla</i>)	Longitudinal	111,4	62	35,3	236	12,4	298
	Radial	101,5	100	29,6	405	12,2	505
	Tangencial	101,6	140	28,3	429	11,9	569

MG – material genético; DFA: direção do fluxo da água; UI: umidade inicial; PSF: umidade estimada no ponto de saturação das fibras; UE: umidade de equilíbrio; TAL: tempo de fluxo da água livre; TAA: tempo de fluxo da água adsorvida; TT: tempo de fluxo total.

Os valores de tempos entre as direções ortotrópicas apresentados na Tabela 6 são coerentes com a literatura, em que a direção axial perde rapidamente sua água quando comparada com a direção radial que, por sua vez, perde água mais rápida quando comparada com a direção tangencial (MOUCHOT et al., 2006; MELLADO, 2007; AHMED; CHUN, 2011). Importante observar, na Tabela 6, que a diferença entre o tempo gasto com o fluxo da água livre e a água adsorvida foi menor na madeira do clone MN463, possivelmente, em razão da maior umidade inicial desta madeira. Esta diferença, também, foi menor na direção de fluxo da água tangencial quando comparada com a direção axial e radial.

O ponto de saturação das fibras (PSF) e a umidade de equilíbrio (UE) da madeira dos toretes e das amostras apresentaram valores próximos entre os materiais genéticos (Tabela 5 e 6). Os valores do PSF são coerentes com aqueles relatados na literatura para folhosas (SKAAR, 1972; ENGELUND et al., 2013) e a UE dos toretes é coerente com as apresentadas para a região de Lavras – MG, conforme Galvão (1975) que relata UE próxima de 13,6% para a região de Belo Horizonte - MG e Lima e Mendes (1995), que relataram a UE para Lavras – MG igual a 14%. A UE de 12% da madeira das amostras foi em decorrência das condições controladas ($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65\% \pm 5\%$) da câmara de climatização onde foram secas.

4.3 Características anatômicas dos materiais

A análise de variância das características dos elementos de vasos, raios e fibras, em função do material genético, da posição externa e interna do tronco e para as suas interações foram apresentadas no ANEXO B.

4.3.1 Características dos elementos de vasos e raios

Na Tabela 7 apresentam-se as diferenças observadas entre os materiais genéticos e entre as regiões de amostragem interna e externa do tronco para as características dos elementos de vasos e dos raios, bem como o coeficiente de variação e teste de médias para os materiais genéticos e posição radial de amostragem.

Tabela 7 Diferença média entre as principais características dos elementos de vasos e dos raios para os clones MN463 e VM04 de *E. urophylla* e *C. citriodora* e para as posições do tronco interna e externa

MG	Característica	Min. - Md - Max (CV%)	PI	PE
<i>Corymbia citriodora</i>	Poros/Elemento de vaso			
	Frequência (n°.mm ⁻²)	14 - 18 - 27 (26%) ^A	19 ^a	17 ^a
	Diâmetro (µm)	83 - 96 - 110 (11%) ^B	91 ^a	99 ^a
	Comprimento (µm)	205 - 249 - 296 (10%) ^B	225 ^a	261 ^a
	Raios			
	Frequência (n°.mm ⁻¹)	12 - 14 - 17 (10%) ^A	15 ^a	13 ^b
	Altura (µm)	145 - 177 - 241 (16%) ^B	171 ^{ns}	180 ^{ns}
	Largura (µm)	8 - 12 - 17 (23%) ^{ns}	12 ^a	12 ^a
Clone MN463 (<i>E. urophylla</i>)	Poros/Elemento de vaso			
	Frequência (n°.mm ⁻²)	13 - 16 - 20 (14%) ^A	17 ^a	15 ^a
	Diâmetro (µm)	78 - 104 - 122 (12%) ^B	95 ^b	111 ^a
	Comprimento (µm)	218 - 300 - 413 (22%) ^A	250 ^b	337 ^a
	Raios			
	Frequência (n°.mm ⁻¹)	12 - 13 - 14 (8%) ^B	13 ^a	13 ^a
	Altura (µm)	150 - 220 - 279 (16%) ^A	227 ^{ns}	219 ^{ns}
	Largura (µm)	8 - 12 - 17 (21%) ^{ns}	12 ^a	11 ^a
Clone VM04 (<i>E. urophylla</i>)	Poros/Elemento de vaso			
	Frequência (n°.mm ⁻²)	10 - 13 - 15 (15%) ^B	15 ^a	12 ^a
	Diâmetro (µm)	100 - 125 - 147 (14%) ^A	107 ^b	134 ^a
	Comprimento (µm)	250 - 326 - 393 (16%) ^A	274 ^b	352 ^a
	Raios			
	Frequência (n°.mm ⁻¹)	10 - 12 - 14 (9%) ^B	12 ^a	13 ^a
	Altura (µm)	170 - 211 - 265 (16%) ^A	194 ^{ns}	220 ^{ns}
	Largura (µm)	9 - 12 - 14 (17%) ^{ns}	12 ^a	12 ^a

MG – material genético; Min – valor mínimo; Md – valor médio; Max – valor máximo; PI – posição interna do tronco; PE – posição externa do tronco. *Médias seguidas de mesma letra maiúscula e minúscula não diferem estatisticamente entre si para os materiais genéticos e posição de amostragem, respectivamente, pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância.

A frequência de poros por mm² foi inferior na madeira do clone VM04 e superior no clone MN463 e no *C. citriodora*, os dois que não apresentaram

diferença significativa. A região interna do tronco apresentou a frequência de poros maior quando comparada à região externa nos três materiais genéticos, mesmo comportamento encontrado por Evangelista et al. (2010) na madeira de *E. urophylla*. Melo (2013), também, avaliou a madeira dos mesmos materiais genéticos do presente trabalho, com a mesma idade, porém com análise em sete posições de amostragem entre a medula e a casca e observou menor frequência dos poros para a madeira de *C. citriodora* (valor médio de $7,9 \text{ n}^\circ.\text{mm}^{-2}$) e valores entre o intervalo mínimo e máximo do presente trabalho para a madeira do clone MN463 (valor médio de $13,5 \text{ n}^\circ.\text{mm}^{-2}$) e do clone VM04 (valor médio de $11,1 \text{ n}^\circ.\text{mm}^{-2}$). O coeficiente de variação das medidas de frequência de poros da madeira do *C. citriodora* foi superior ao dos clones MN463 e VM04, possivelmente, em virtude de sua origem em plantio seminal, diferente dos clones que, também, apresentaram variações próximas.

O diâmetro do elemento de vaso foi superior na madeira do clone VM04, quando comparado com o clone MN463 e o *C. citriodora*, que não apresentaram diferença significativa (Tabela 7). A região externa do tronco apresentou o diâmetro do elemento de vaso maior quando comparada à região interna em todos os três materiais genéticos, mesmo comportamento encontrado na madeira de *E. urophylla* por Evangelista et al. (2010) e Melo (2013). Comparando os resultados com os de Melo (2013), pode-se observar que o autor encontrou valor superior para a madeira do *C. citriodora* (valor médio de $102,4 \mu\text{m}$) e inferior para a madeira dos clones MN463 (valor médio de $92,9 \mu\text{m}$) e do clone VM04 (valor médio de $115,5 \mu\text{m}$). Os valores para a madeira de *E. urophylla*, também, são coerentes com os relatados por Evangelista et al. (2010) que avaliaram árvores com seis e oito anos e quatro posições de amostragem entre a medula e a casca. O coeficiente de variação das medidas do diâmetro do elemento de vaso apresentou valores próximos na madeira dos três materiais genéticos e baixos quando comparados com as variações encontradas por

Evangelista et al. (2010), demonstrando, assim, baixa dispersão entre os diâmetros dos elementos vasculares em cada árvore.

O comprimento do elemento vascular foi superior na madeira dos clones VM04 e MN463 quando comparado com o *C. citriodora*. Assim como ocorreu com o diâmetro, o comprimento do elemento vascular, também, foi superior na região externa do tronco quando comparada à região interna para os três materiais genéticos. Lemos et al. (2012), também, encontraram maiores valores de comprimento do elemento vascular na região externa do tronco (alburno), quando comparada à região interna (cerne) com valores iguais a 340 e 310 μm , respectivamente, sendo superiores aos encontrados na madeira do presente trabalho. Melo (2013), também, encontrou comprimento do elemento de vaso superior na madeira do *C. citriodora* (valor médio de 289,2 μm), do clone MN463(valor médio de 346,9 μm) e do clone VM04(valor médio de 387,6 μm). Os coeficientes de variação das medições dos comprimentos dos elementos vasculares dos três materiais genéticos foram próximos dos relatados por Lemos et al. (2012) para a madeira do *C. citriodora*, que apresentou menor variação quando comparada com a madeira dos clones de *E. urophylla*.

Pela análise dos resultados das características dos elementos de vasos permite-se observar relação inversa entre a frequência dos poros e o diâmetro dos elementos de vasos, que já foi relatada em outros estudos para o gênero *Eucalyptus* (TOMAZELLO FILHO, 1985; ROCHA; FLORSHEIM; COUTO, 2004). Este comportamento foi observado no *C. citriodora* e no clone MN463, que apresentaram frequência de poros superior e o diâmetro do elemento de vaso inferior quando comparados ao clone VM04 (Tabela 7). Os resultados apresentados para os três materiais genéticos são coerentes com os apresentados na literatura para a família myrtaceae, que Esteban et al. (2003) relatam a frequência de poros inferior a 20 unidades por mm^2 . Vale ressaltar que, qualitativamente, os poros da madeira do *C. citriodora* apresentaram

agrupamentos múltiplos de 2, 3, 4 e até 5. Em alguns casos, também, foram observados vasos obstruídos com tilose. Diferente da madeira dos clones de *E. urophylla* que apresentaram poros solitários e múltiplos de 2, sem a presença de tilose.

A frequência dos raios por mm foi superior na madeira do *C. citriodora* quando comparada com a dos clones de *E. urophylla*. A região interna da madeira do *C. citriodora* apresentou a frequência de raios maior quando comparada à região externa. Na madeira dos clones de *E. urophylla* as diferenças não foram significativas entre as regiões do tronco. O coeficiente de variação das medidas da frequência dos raios foi baixo nos três materiais genéticos, demonstrando, assim, baixa dispersão da frequência dos raios em cada árvore.

A altura dos raios foi superior na madeira dos clones MN463 e VM04 quando comparado com a do *C. citriodora* (Tabela 7). A região externa e interna do tronco não apresentou diferença significativa para a altura dos raios. Santos et al. (2011), também, não encontraram diferença significativa para a altura do raio nas amostras retiradas em diferentes posições entre a medula e a casca para a espécie *Astronium graveolens* (folhosa). Por outro lado, Rocha, Florsheim e Couto (2004) encontraram valores superiores para o altura do raio na região próxima da medula em *E. grandis*, com sete anos de idade. Um dos possíveis motivos das diferenças não significativas das características dos raios, principalmente da frequência dos raios, pode ser à reduzida idade das árvores, em que prevalece a ocorrência de madeira juvenil sobre a madeira adulta. Segundo Adamopoulos et al. (2011), que observaram duas espécies de folhosas (*Robinia pseudoacacia* e *Castanea sativa*) a transição entre a madeira juvenil e a adulta ocorre gradualmente entre os sete e quatorze anos de crescimento da árvore, conforme a espécie. Os resultados foram inferiores aos de Melo (2013), que encontrou altura média do raio para a madeira do *C. citriodora* igual a 182,4

μm , para o clone MN463 igual a 239,6 μm e para o clone VM04 igual a 213,7 μm . O coeficiente de variação da altura dos raios da madeira foi próximo para os três materiais genéticos.

A largura dos raios não apresentou diferença significativa entre os materiais genéticos. Por outro lado, entre as posições interna e externa do tronco ocorreu diferença significativa e apenas para a madeira do clone MN463 a posição interna do caule foi superior à externa. Santos et al. (2011), também, não encontraram diferença significativa para a largura do raio nas amostras retiradas em diferentes posições entre a medula e a casca para a espécie de folhosa *Astronium graveolens*. Comparando os resultados, Melo (2013) encontrou maior largura média do raio, exceto para a madeira do clone VM04, com valores para a madeira do *C. citriodora* igual a 15,4 μm , para o clone MN463 igual a 15,8 μm e para o clone VM04 igual a 12,1 μm . O coeficiente de variação da largura dos raios da madeira foi próximo para os três materiais genéticos, com menor variação no clone VM4 e todos os materiais apresentaram variação elevada quando comparados com as características frequência e altura do raio.

Assim como ocorreu a relação inversa entre a frequência dos poros e o diâmetro dos elementos vasculares, a frequência e o comprimento dos raios, também, apresentaram comportamento inverso (Tabela 7). Amadeira do *C. citriodora* apresentou frequência de raios maior e altura do raio menor quando comparada à madeira dos clones de *E. urophylla*. Se forem considerados os resultados apresentados por Esteban et al. (2003), esta relação é reforçada, pois os autores avaliaram a madeira de *E. camaldulensis* e *E. globulus* e encontraram elevados comprimentos dos raios, próximos de 1.000 μm e frequência dos raios, entre 4 e 12 raios. mm^{-1} .

4.3.2 Características das fibras e pontoações

Na Tabela 8 apresentam-se as diferenças observadas entre os materiais genéticos e entre as regiões de amostragem interna e externa do tronco para as características das fibras e das pontoações, bem como o coeficiente de variação e teste de médias para os materiais genéticos e posição radial de amostragem.

Tabela 8 Diferença média entre as principais características das fibras e das pontoações para os clones MN463 e VM04 de *E. urophylla* e *C. citriodora* e para as posições do tronco interna e externa

MG	Característica	Min. – Md - Max (CV%)	PI	PE
<i>Corymbia citriodora</i>	Fibras			
	Comprimento (μm)	665 - 824 - 962 (13%) ^C	726 ^b	873 ^a
	Largura (μm)	9 - 14 - 18 (23%) ^B	14 ^a	14 ^a
	Diâmetro do lume (μm)	4 - 7 - 11 (41%) ^B	7 ^a	7 ^a
	Espessura da parede (μm)	2,7 - 3,5 - 4,2 (15%) ^A	3,7 ^{ns}	3,4 ^{ns}
	Fração de parede (%)	39 - 53 - 70 (20%) ^A	54 ^{ns}	52 ^{ns}
	Fração de parede total (%)	36 - 45 - 62 (19%) ^A	48 ^a	44 ^a
	Pont. raio-vascular (μm)	4,5 - 4,7 - 5,0 (6%) ^C	5,0 ^a	4,6 ^a
Pont. intervascular (μm)	0,9 - 1,4 - 1,8 (30,6%)	2,1	1,6	
Clone MN463 (<i>E. urophylla</i>)	Fibras			
	Comprimento (μm)	766 - 917 - 1063 (11%) ^B	842 ^b	973 ^a
	Largura (μm)	14 - 18 - 23 (14%) ^A	16 ^a	19 ^a
	Diâmetro do lume (μm)	8 - 11 - 16 (21%) ^A	10 ^a	12 ^a
	Espessura da parede (μm)	2,9 - 3,4 - 4,1 (9%) ^A	3,2 ^{ns}	3,5 ^{ns}
	Fração de parede (%)	30 - 39 - 45 (12%) ^C	39 ^{ns}	38 ^{ns}
	Fração de parede total (%)	26 - 34 - 39 (12%) ^C	35 ^a	33 ^a
	Pont. raio-vascular (μm)	6,2 - 7,2 - 7,8 (12,3%) ^B	7,0 ^a	7,3 ^a
Pont. intervascular (μm)	0,9 - 1,6 - 2,3 (60,9%)	2,4	2,1	

“Tabela 8, conclusão”

MG	Característica	Min. – Md - Max (CV%)	PI	PE
Clone VM04 (<i>E. urophylla</i>)	Fibras			
	Comprimento (μm)	837 - 989 - 1082 (8%) ^A	906 ^b	1031 ^a
	Largura (μm)	12 - 14 - 17 (10%) ^B	13 ^a	15 ^a
	Diâmetro do lume (μm)	7 - 8 - 9 (10%) ^B	7 ^a	8 ^a
	Espessura da parede (μm)	2,7 - 3,3 - 3,7 (9%) ^A	3,2 ^{ns}	3,3 ^{ns}
	Fração de parede (%)	45 - 46 - 48 (2%) ^B	47 ^{ns}	46 ^{ns}
	Fração de parede total (%)	37 - 39 - 42 (5%) ^B	41 ^a	38 ^a
	Pont. raio-vascular (μm)	7,7 - 8,5 - 9,5 (10,9%) ^A	8,0 ^a	9,1 ^a
Pont. intervacular (μm)	1,2 - 2,1 - 2,9 (40%)	2,2	2,9	

MG – material genético; Min – valor mínimo; Md – valor médio; Max – valor máximo; PI – posição interna do tronco; PE – posição externa do tronco; Pont. – pontuação. *Médias seguidas de mesma letra maiúscula e minúscula não diferem estatisticamente entre si para os materiais genéticos e posição de amostragem, respectivamente, pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância.

O comprimento da fibra foi superior na madeira do clone VM04 e inferior na madeira do *C. citriodora*. A região externa do tronco apresentou os maiores comprimentos das fibras quando comparada à região interna nos três materiais genéticos. Lemos et al. (2012), também, encontraram maiores comprimentos das fibras na região externa no tronco (alburno) da madeira de *C. citriodora* e seus resultados foram coerentes com os relatados no presente trabalho, com valores entre 790 e 1020 μm . Evangelista et al. (2010), também, encontraram o comprimento das fibras da madeira de *E. urophylla* com resultados coerentes com os apresentados no presente trabalho, com valores médios de 920 e 950 μm , para as idades de oito e seis anos, respectivamente. Os coeficientes de variação do comprimento das fibras das madeiras dos três materiais genéticos foram coerentes e em alguns casos inferiores aos relatados na literatura para avaliação do comprimento das fibras da madeira de *Eucalyptus* e *Corymbia* (EVANGELISTA et al., 2010; LEMOS et al., 2012).

A largura e o diâmetro do lume da fibra apresentaram o mesmo comportamento e foram superiores na madeira do clone MN463. A região externa do tronco apresentou largura e diâmetro do lume da fibra maior quando comparada à região interna, exceto na madeira do *C. citriodora* que apresentou valores iguais para as posições radiais de amostragem das duas características. Os resultados estão de acordo com os relatados na literatura, em que Lemos et al. (2012) encontraram valores para a madeira de *C. citriodora*, com 15 anos, considerando discos de diferentes posições ao longo do fuste e da região do cerne e do albúrneo, entre 15,5 e 19,4 μm e 7,31 e 9,16 μm para a largura e diâmetro do lume da fibra, respectivamente. Da mesma forma, Evangelista et al. (2010) encontraram para a madeira de *E. urophylla*, com 6 e 8 anos os seguintes resultados: 21,3 e 19,3 μm e 12,7 e 8,8 μm para a largura e diâmetro do lume da fibra, respectivamente. Os coeficientes de variação da largura e diâmetro do lume das fibras das madeiras foram superiores no *C. citriodora* em relação aos clones de *E. urophylla*. O diâmetro do lume das fibras apresentou elevada variação quando comparado à largura da fibra demonstrando, assim, alta dispersão dos resultados em cada árvore.

A espessura da parede da fibra da madeira foi uniforme nos três materiais genéticos que, também, não diferiram de forma significativa para a posição interna e a posição externa do tronco (Tabela 8). Possivelmente, em razão da idade do material avaliado, conforme já discutido, que favorece a presença da madeira juvenil no tronco das árvores avaliadas com sete anos. Reforçando esta hipótese, Alencar, Barrichelo e Silva Júnior (2002), avaliaram o efeito da idade nos sete primeiros anos da árvore sobre a espessura das fibras em clone de *E. grandis* x *E. urophylla* e observaram que mediante o quarto ano houve uma tendência de estabilização. Os valores da espessura da parede da fibra foram inferiores aos apresentados por Lemos et al. (2012) em madeira de *C. citriodora*, com 15 anos e por Evangelista et al. (2010) em madeira de *E.*

urophylla, com seis e oito anos. Por outro lado, Melo (2013) encontrou valores próximos para esta característica. O coeficiente de variação da medição da espessura da parede da fibra apresentou valores próximos na madeira dos três materiais genéticos e inferiores aos relatados na literatura (EVANGELISTA et al., 2010; LEMOS et al., 2012), demonstrando, assim, baixa dispersão da espessura da parede das fibras em cada árvore.

A fração de parede da fibra e a fração de parede total foram maiores na madeira do *C. citriodora* e inferiores na madeira do clone MN463 (Tabela 8). A fração de parede da fibra não apresentou diferença significativa entre a região interna e externa do tronco, no entanto, a fração de parede total apresentou os maiores valores na posição interna do caule. As frações foram calculadas com base nos resultados das características anatômicas apresentadas nos trabalhos de Lemos et al. (2012) e Evangelista et al. (2010) e pode-se observar que os resultados da fração de parede da fibra foi próximo aos encontrados no primeiro trabalho para a madeira de *Corymbia*, com valores entre 53 e 56% e inferiores aos do segundo trabalho para a madeira de *E. urophylla*, com resultados entre 45 e 55%. A fração de parede total, também, foi inferior à calculada para a madeira de *E. urophylla* do trabalho de Evangelista et al. (2010), com valores entre 40 e 44%. O coeficiente de variação das medições da fração de parede da fibra e da fração de parede total apresentou valor próximo e a madeira do clone VM04 apresentou menor variação e a madeira do *C. citriodora* maior variação.

O diâmetro da pontoação raio-vascular e da pontoação intervascular foi superior na madeira do clone VM04 e inferior na madeira do *C. citriodora* (Tabela 8). A madeira do *C. citriodora* apresentou maiores resultados na posição interna do caule e o diâmetro das pontoações da madeira dos clones de *E. urophylla*, exceto para o diâmetro da pontoação intervascular da madeira do clone MN463, foi superior na posição externa do tronco, mesmo comportamento do apresentado por Lopes (2013), que avaliou o diâmetro das pontoações da

madeira de materiais genéticos de *Eucalyptus*. Os diâmetros das pontoações raio-vasculares e intervasculares foram coerentes com os relatados para a família Myrtaceae. Nisgoski, Muñiz e Klock (1998) encontraram pontoações raio-vasculares com diâmetro entre 2,5 a 5 μm em *E. benthamii*. Por sua vez, Lopes (2013) obteve diâmetros das pontoações intervasculares igual a 4 μm , superior aos encontrados no presente trabalho. O coeficiente de variação do diâmetro da pontoação raio-vascular foi inferior ao da pontoação intervascular nos três materiais genéticos. A maior dispersão dos valores na medida do diâmetro da pontoação intervascular na madeira dos clones de *E. urophylla* pode ser em virtude da ocorrência do arranjo dos poros predominantemente solitários, com difícil visualização das pontoações intervasculares nestes materiais, diferente da madeira do *C. citriodora*, com poros solitários e múltiplos de 2, 3 e 4.

4.4 Taxa de secagem

Pela Figura 08 ilustram-se as taxas de fluxo da água livre, da água adsorvida e da água total encontrada, considerando a secagem dos toretes, bem como o teste de média para os materiais genéticos.

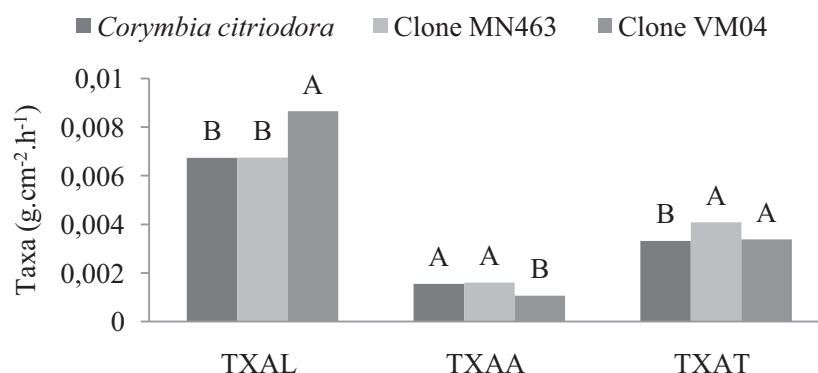


Figura 8 Taxas de fluxo da água da madeira dos toretes dos clones MN463 e VM04 de *E. urophylla* e de *C. citriodora*. Em que: TXAL: taxa de fluxo da água livre; TXAA: taxa de fluxo da água adsorvida; TXAT: taxa de fluxo da água total. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância

Na Figura 8 mostra-se que a TXAL da madeira do torete do clone VM04 foi, aproximadamente, 1,3 vezes maior do que a dos demais materiais genéticos. Importante notar que a madeira deste clone apresentou maior diâmetro e comprimento do elemento vascular, menor frequência de poros, maior comprimento das fibras e, também, maior diâmetro das pontoações raio-vasculares e intervasculares. A TXAA da madeira do clone MN463 e do *C. citriodora* foram 1,5 vezes maior do que a do clone VM04. Vale ressaltar que a madeira do clone MN463 e do *C. citriodora* não diferiram estatisticamente tanto na TXAL quanto na TXAA mesmo apresentando madeiras com diferentes densidades (Tabela 4), no entanto, estes materiais apresentaram a frequência dos poros e o diâmetro do elemento vascular com valores iguais (Tabela 7).

Analisando a TXAT (Figura 08), percebe-se que a madeira do clone MN463 apresentou taxa, aproximadamente, 1,2 vezes maior do que os outros materiais genéticos. Este resultado é coerente com a análise da umidade inicial e

o tempo de movimentação das águas dos toretes (Tabela 5), no qual a madeira do clone MN463 apresentou umidade superior aos demais materiais, com umidade inicial de 102,21%. O tempo de movimentação da água livre e da adsorvida foi semelhante ao dos demais materiais, com valor igual a 3679,2 horas. Conseqüentemente, este material apresenta uma perda de água, em média 45% maior do que os demais materiais em mesmo período de tempo, conforme apresentado na Figura 09. Enquanto a madeira do clone MN463 perdeu 3,7 kg de água, a do *C. citriodora* perdeu 2,6 kg e a do clone VM04 perdeu 2,5 kg. Por este resultado demonstra-se o potencial de perda da água da madeira do clone MN463 por apresentar fluxo de água rápido. Por este comportamento pode-se explicar a escolha desse clone como de interesse para a indústria de energia da biomassa florestal, uma vez que sua maior umidade inicial não resultará, necessariamente, em maior tempo de armazenamento das toras no pátio de secagem. Taxas de secagem superiores na madeira de *E. urophylla*, também, foram relatadas por Zanuncio et al. (2013b) comparando-a com a madeira do *C. citriodora* e por Ciniglio (1998) que a comparou com a madeira de *E. grandis*.

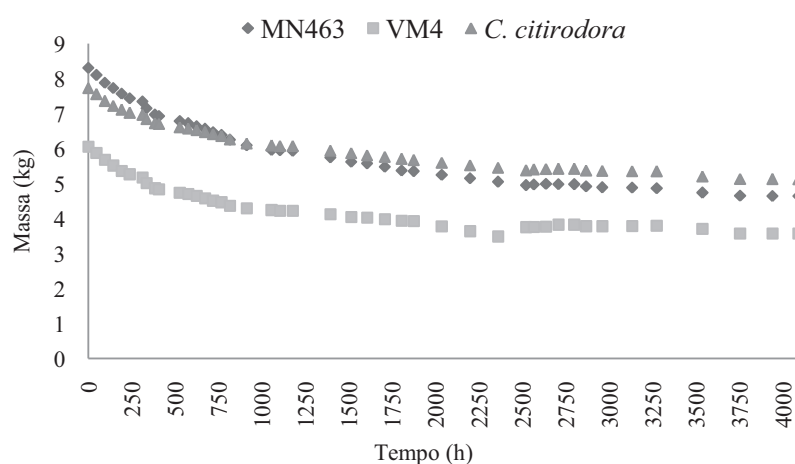


Figura 9 Média das curvas de perda de massa dos toretes dos clones MN463 e VM04 de *E. urophylla* e de *C. citriodora*, em Lavras, Minas Gerais

Na relação entre a TXAL e a TXAA (Figura 8), o clone VM04 se destacou, uma vez que apresentou a maior TXAL e a menor TXAA, resultando em uma relação de TXAL 8,2 vezes maior do que a TXAA. Nos outros materiais não ocorreram diferenças tão significativas entre as taxas, uma vez que a TXAL na madeira do clone MN463 foi 4,2 vezes superior à TXAA e a madeira do *C. citriodora* foi 4,3 vezes maior.

A saída mais lenta da TXAA, quando comparada à TXAL, é amplamente relatada na literatura (KOLLMANN; CÔTÉ JR., 1968; SIAU, 1971; ENGELUND et al., 2013). Segundo Kollmann e Côté Jr (1968), a água livre movimenta-se, principalmente, no estado líquido, em razão de forças capilares, com base na Lei de Hagen-Poiseuille's. Nesta fase, a remoção da água gasta pouca energia. A dessorção da água ocorre em virtude da diferença de gradiente de umidade entre a parede celular, com base no fenômeno da difusão, no estado líquido e de vapor, gasta mais energia, uma vez que a ligação água-madeira é mantida por ligações de hidrogênio mais fortes e a atração entre elas tem de ser vencida para saída da molécula de água.

A análise de variância (ANEXO A) da movimentação da água, com exceção da TXAA na direção radial da madeira, em função do material genético, apresentou diferença significativa. Assim, na Figura 10 apresenta-se o efeito do material genético para o fluxo da água em cada direção ortotrópica da madeira.

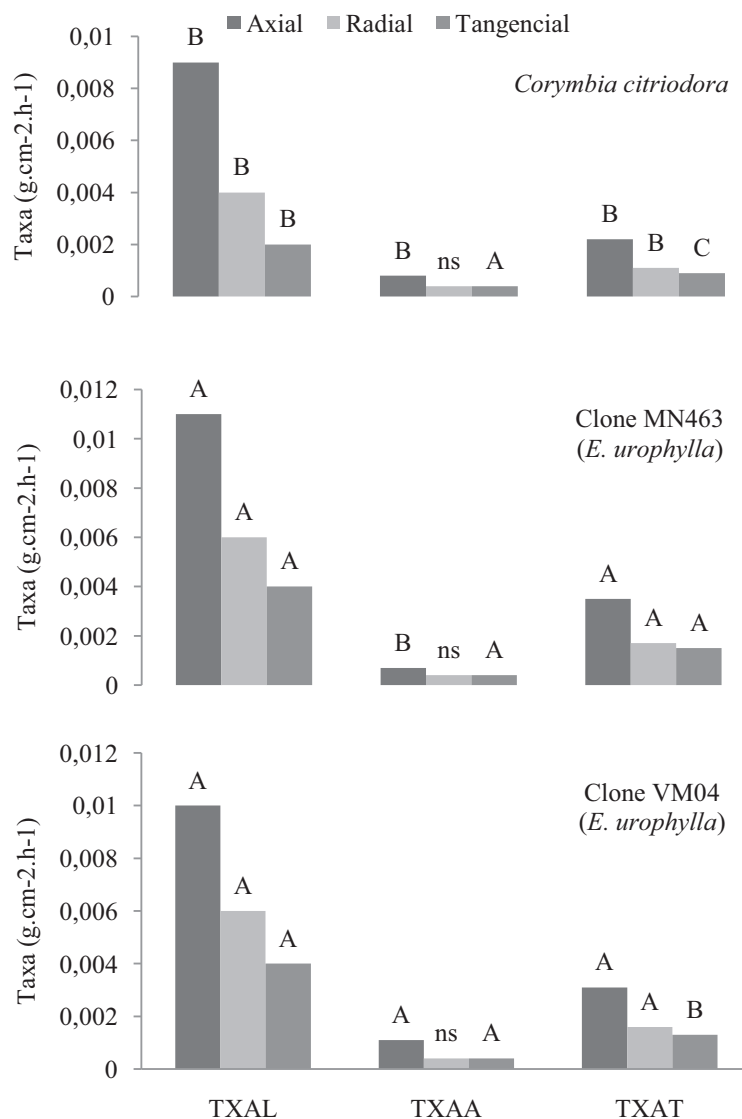


Figura 10 Taxas de secagem dos blocos para as direções ortotrópicas dos clones MN463 e VM04 de *E. urophylla* e de *C. citriodora*. TXAL: taxa de fluxo da água livre; TXAA: taxa de fluxo da água adsorvida; TXAT: taxa de fluxo total; DFA: direção do fluxo da água. Médias seguidas de mesma letra não difere mestatisticamente entre si, pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância. ns: não significativo a 5% de significância pelo Teste de Scott-Knott

Pela análise da Figura 10 permitiu-se realizar a comparação entre as taxas de fluxo da água na direção axial dos blocos de madeira com a saída da água na madeira dos toretes (Figura 8). Os valores da TXAL dos blocos foram 36,7% maiores do que na madeira dos toretes. A TXAA e TXAT da madeira dos blocos foram 36 e 18,5%, respectivamente, mais lenta do que a madeira dos toretes. Nestes resultados apresentam-se relação inversa entre o tamanho da peça de madeira e a sua TXAL e a diretamente proporcional entre o tamanho da amostra e a sua TXAA. Bramhall (1971) relata que a permeabilidade da madeira decresce com o aumento do comprimento da amostra, no entanto o autor não separou a saída da água livre e da dessorção da água.

A madeira do *C. citriodora* apresentou, em geral, os menores valores de TXAL e TXAT em todas as direções de fluxo quando comparada com as madeiras dos clones de *E. urophylla*. Para a TXAA, a madeira do *Corymbia* foi inferior somente para o fluxo na direção axial quando comparado à madeira do clone VM04. Nos toretes (Figura 8), a madeira do *C. citriodora*, também, apresentou valores para as TXAL e TXAA inferiores em pelo menos um dos clones.

A madeira dos clones MN463 e VM04, em geral, não apresentaram diferenças significativas entre as taxas de secagem e as direções ortotrópicas. As alterações ocorrem na TXAA da direção axial, quando a madeira do clone VM04 apresentou fluxo mais rápido e na TXAT da direção tangencial, que a madeira do clone MN463 apresentou o maior valor. Em geral, os resultados das taxas de secagem das amostras de madeira foram opostos aos da densidade básica dos blocos (Tabela 4), quando a madeira do *C. citriodora* apresentou os maiores valores de densidade. Siau (1971) relata que a densidade apresenta relação inversa com a porosidade da madeira, que, por sua vez, apresenta relação direta com o fluxo da água na madeira.

Com base nos resultados ilustrados na Figura 10, em média, a TXAL dos blocos foi superior quando comparada com a TXAA 12,4; 13,2 e 09 vezes para as direções axial, radial e tangencial, respectivamente. A TXAL foi maior que a TXAT em média 3,5; 3,7 e 2,8 vezes para as direções axial, radial e tangencial, respectivamente. Os resultados são maiores do que os apresentados na literatura, que relata que as diferenças devem-se ao gênero/espécie da árvore, ao tamanho reduzido das amostras, à impermeabilização das faces não avaliadas e às condições de secagem. Nos estudos com *Eucalyptus*, Ciniglio (1998) avaliou a secagem a 100°C, de amostras com 1 x 5 x 10 cm e umidade inicial de 61,4%, da madeira de *E. urophylla*, e encontrou uma relação de 4,2 vezes entre a TXAL e TXAA e de 2,3 vezes entre a TXAL e TXAT. Por sua vez, Barbosa et al. (2005) avaliaram madeiras de clones de *Eucalyptus* com 7,5 anos, secas a 100°C, tendo as amostras as dimensões de 1 x 5 x 10 cm e umidade inicial de 102,02%. A relação média foi de 4,0 vezes entre a TXAL e TXAA e de 1,8 vezes entre a TXAL e a TXAT.

As diferenças entre a TXAL e TXAA devem-se, em parte, à cinética da movimentação destas águas na madeira e, também, à estrutura anatômica, que será discutida no próximo tópico. A saída da água livre da madeira, segundo Kollmann e Côté Jr (1968), é provocada por forças capilares, baseada na Lei de Hagen-Poiseuille's. Esta fase ocorre quando a velocidade de evaporação da água é menor ou igual à velocidade de chegada do líquido à superfície do sólido. Segundo Ciniglio (1998), neste período a taxa de secagem pode ser constante. Após esta fase, à medida que a água livre é removida e resta apenas a água adsorvida, existe a necessidade de se empregar maior energia para a retirada desta água, em que a velocidade de evaporação é um pouco maior que a velocidade de chegada do líquido à superfície da madeira (CINIGLIO, 1998). Nesta fase, a movimentação ocorre, principalmente, por difusão, e a água adsorvida move-se por meio da parede celular em virtude do gradiente de

umidade (KOLLMANN; CÔTÉ JR., 1968). Esta movimentação da água nos diferentes estados é complexa e ocorre, simultaneamente, em uma mesma peça de madeira. Abaixo do ponto de saturação das fibras, também, ocorre diferença entre movimentação da água no estado de vapor e a água adsorvida (MOUCHOT et al., 2006).

A análise dos resultados ilustrados na Figura 10, também, permite a comparação entre as direções de fluxo da água, que apresentaram proporções próximas para as taxas. Desta forma, considerando-se valores médios dos materiais genéticos e das taxas, pode-se observar que o fluxo na direção axial foi o dobro do observado na direção radial e 2,6 vezes maior do que o apresentado na direção tangencial. O fluxo na direção radial foi 1,3 vezes maior do que na direção tangencial.

As diferenças entre as perdas de umidade nas três direções podem ser visualizadas na Figura 11, que apresenta as perdas de umidade na madeira do *C. citriodora* e na madeira do clone MN463, que apresentou comportamento semelhante ao clone VM04.

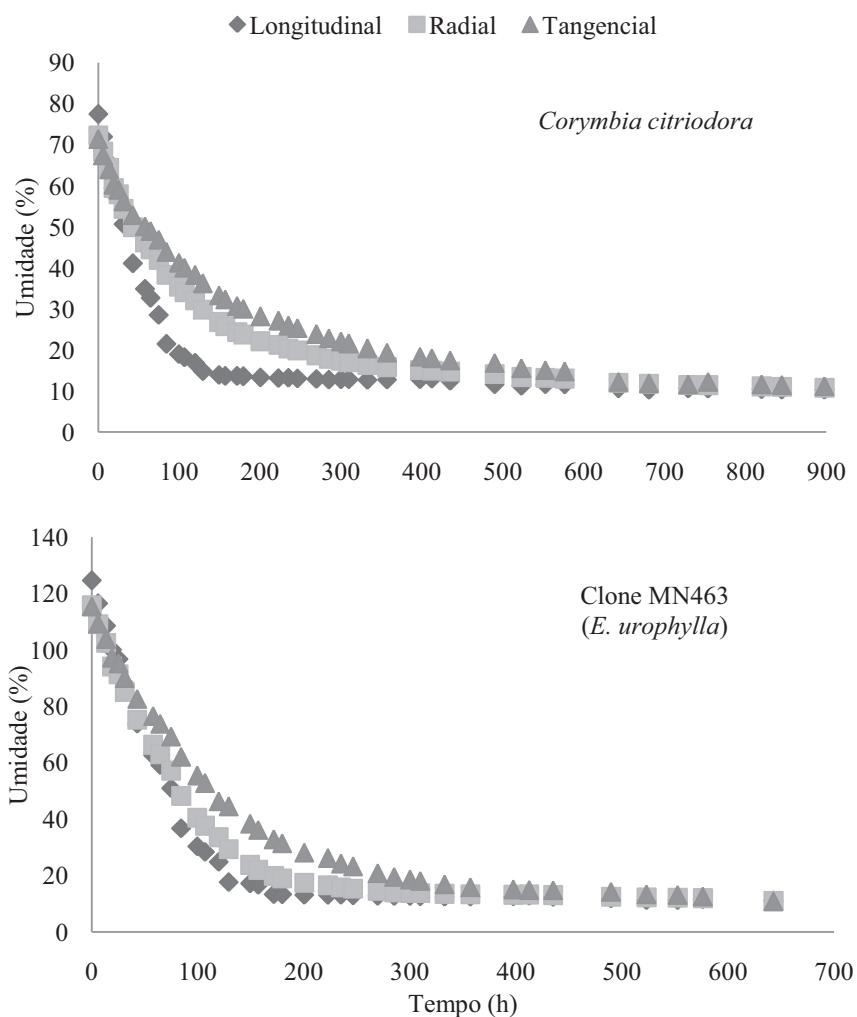


Figura 11 Curvas de secagem das direções ortotrópicas da madeira do *Corymbia citriodora* e do clone MN463 de *E. urophylla*

Os estudos comparando o fluxo de água nas direções ortotrópicas da madeira são escassos, principalmente, avaliando a saída na direção tangencial. Como comparação, Ahmed e Chun (2011) avaliaram a permeabilidade axial e radial em madeira de *Tectona grandis*, utilizando solução de safranina e

encontraram a condução axial 3,5 vezes maior que a direção radial. Por sua vez, Mouchot et al. (2006) avaliaram a movimentação da água abaixo do PSF nas três direções em madeiras de *Fagus sylvatica* (folhosa) e *Picea Sp.* (conífera) e encontraram fluxo predominante na direção axial. Em outros trabalhos com folhosas, tanto Silva et al. (2010) quanto Baraúna (2010) encontraram apenas valores para o fluxo de líquido e de ar na direção axial e, em razão da metodologia empregada, não conseguiram registrar valores para a permeabilidade na direção radial. Estes autores relatam que diversos fatores anatômicos favorecem o fluxo axial nas folhosas, como, por exemplo, o arranjo e dimensão dos vasos, da fibra e do parênquima axial.

Também foram comparadas as taxas de fluxo da água entre as amostras retiradas das posições interna e externa da tora. Na análise de variância em pelo menos uma direção de fluxo da água na madeira para todas as taxas de secagem houve efeito para a interação entre o material genético e a posição radial de amostragem do tronco, considerando 5% de significância pelo Teste de *Scott-Knott* (ANEXO A). Desta forma, avaliou-se o efeito da posição radial dos materiais genéticos nas taxas de fluxo da água (Tabela 9).

Tabela 9 Taxas de secagem nas direções ortotrópicas da madeira e posições radiais de amostragem dos caules para os clones MN463 e VM04 de *E. urophylla* e de *C. citriodora*

MG	DFA	Posição	TXAL (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	TXAA (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	TXAT (g.cm ⁻² .h ⁻¹)
<i>Corymbia citriodora</i>	Axial	Externa	ns	0,0009 ^A	ns
		Interna		0,0007 ^A	
	Radial	Externa	ns	ns	0,0011 ^A
		Interna			0,0010 ^A
	Tangencial	Externa	0,0026 ^A	ns	0,0009 ^A
		Interna	0,0020 ^A		0,0009 ^A
Clone MN463 (<i>E. urophylla</i>)	Axial	Externa	ns	0,0007 ^A	ns
		Interna		0,0005 ^A	
	Radial	Externa	ns	ns	0,0018 ^A
		Interna			0,0015 ^A
	Tangencial	Externa	0,0034 ^B	ns	0,0015 ^A
		Interna	0,0047 ^A		0,0014 ^A
Clone VM04 (<i>E. urophylla</i>)	Axial	Externa	ns	0,0013 ^A	ns
		Interna		0,0006 ^B	
	Radial	Externa	ns	ns	0,0017 ^A
		Interna			0,0013 ^B
	Tangencial	Externa	0,0039 ^B	ns	0,0014 ^A
		Interna	0,0045 ^A		0,0011 ^B

MG: material genético; DFA: direção do fluxo da água; TXAL: taxa de fluxo da água livre; TXAA: taxa de fluxo da água adsorvida; TXAT: taxa de fluxo total. Médias seguidas com a mesma letra, na direção de fluxo da água, não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste de *Scott-Knott* a 5% de significância. ns: não significativo na ANAVA, a 5% de significância pelo Teste de *Scott-Knott*.

Pelos resultados da Tabela 9 demonstrou-se que os clones de *E. urophylla* apresentaram diferença significativa entre a posição externa e interna do tronco no fluxo de água na madeira. A madeira da posição externa do tronco destes clones apresentou menor frequência de poros e maiores diâmetro e

comprimento do elemento de vaso (Tabela 7). Dentre as diferenças das taxas de movimentação da água, é importante observar que a posição interna do tronco apresentou maiores valores para a TXAL na direção tangencial. A posição externa de amostragem do caule apresentou maiores valores para a TXAA na direção axial. Ainda na posição externa do tronco, a TXAT apresentou maiores valores tanto para a direção radial quanto para a direção tangencial. Conforme já discutido, em poucos estudos avaliaram-se o fluxo da água na direção tangencial. Silva et al. (2010) encontraram, para a direção axial, em *Eucalyptus*, maiores valores de permeabilidade para a região do alburno. Os autores não conseguiram registrar os valores de permeabilidade para a direção radial e, também, não separaram a movimentação das águas livre e adsorvida.

4.5 Efeito da estrutura anatômica e densidade básica da madeira na secagem

Os tópicos a seguir apresentam cada característica anatômica que apresentou efeito significativo na movimentação das águas, em função do coeficiente de determinação. As estimativas dos coeficientes de correlação linear simples entre todas as características anatômicas da madeira, estão apresentadas no ANEXO C, para os dados relativos aos toretes e no ANEXO D, para as informações referentes aos blocos de madeira.

4.5.1 Efeito da densidade básica da madeira no fluxo da água

A determinação da densidade básica é um procedimento comum para a caracterização da qualidade da madeira. Além disso, esta propriedade possui relação com diversas outras características da madeira, principalmente, as anatômicas, como a espessura da fibra, a frequência de poros e raios, as frações

de parede. Assim, na Tabela 10 estão apresentados os modelos de regressão com os três materiais genéticos juntos, cada um com características anatômicas distintas e suas taxas de secagem em função da densidade básica.

Tabela 10 Ajustes da taxa de secagem em função da densidade básica da madeira dos toretes e das direções ortotrópicas dos blocos dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

Fluxo	Modelo	Coefficientes	R ²	S _{xy} (g.cm ⁻² .h ⁻¹)
TORETES	TXAT=β ₀ +β ₁ .DB + ε	β ₀ 0,005774* β ₁ -0,004005*	0,40	0,000334
Direção axial do bloco	TXAT=β ₀ +β ₁ .DB + ε	β ₀ 0,005744* β ₁ -0,005007*	0,28	0,000733
Direção radial do bloco	TXAL=β ₀ +β ₁ .DB + ε	β ₀ 0,008566* β ₁ -0,005962*	0,20	0,0011097
	TXAT=β ₀ +β ₁ .DB + ε	β ₀ 0,002594* β ₁ -0,002158*	0,35	0,0002804
Direção tangencial do bloco	TXAL=β ₀ +β ₁ .DB + ε	β ₀ 0,007739* β ₁ -0,007833*	0,37	0,0009353
	TXAT=β ₀ +β ₁ .DB + ε	β ₀ 0,002398* β ₁ -0,002131*	0,44	0,0003157

R²: Coeficiente de determinação; S_{xy}: Desvio padrão residual; β₀: Coeficiente linear da equação; β₁: coeficiente angular da equação; ε: erro do modelo. TXAL: taxa de fluxo da água livre; TXAT: taxa de fluxo da água total; DB: densidade básica; e^{ns}: Não significativo a 0,95 de probabilidade; e*: Significativo a 0,95 de probabilidade.

Nos resultados da Tabela 10 mostra-se que a densidade básica da madeira apresentou relação inversamente proporcional com a secagem total da madeira dos toretes e dos blocos. O aumento da densidade básica dos blocos reduziu o fluxo da água livre e total nas direções radial e tangencial. A

densidade básica da madeira dos toretes e dos blocos não apresentou associação com a taxa de dessecção (TXAA).

A secagem total de forma mais rápida tende a ocorrer nos materiais com madeira menos densa. Assim, os clones MN463 e VM04 de *E. urophylla* apresentaram os menores valores de densidade básica, quando comparados à madeira do *C. citriodora* e, dessa forma, tendem a apresentar os maiores valores de taxas de secagem total. Comparando as regiões do tronco, a madeira da posição interna apresentou os menores valores e, também, tende a retirar a água livre e a água total mais rapidamente do que a madeira da posição externa do caule (Tabela 4).

Os ajustes são coerentes com os relatados na literatura, como Siau (1971) que apresenta a relação inversa entre a densidade da madeira e a sua porosidade e, conseqüentemente, com a sua permeabilidade. Zanuncio et al. (2014), também, encontraram coeficiente de correlação igual a -0.79 entre a densidade básica da madeira e a taxa de secagem das toras de clones de *Eucalyptus* e de *Corymbia*.

Na Figura 12 ilustram-se os ajustes com os maiores valores dos coeficientes de determinação (R^2) entre a densidade básica e a secagem total (TXAT) dos toretes e, também, dos blocos para a direção tangencial.

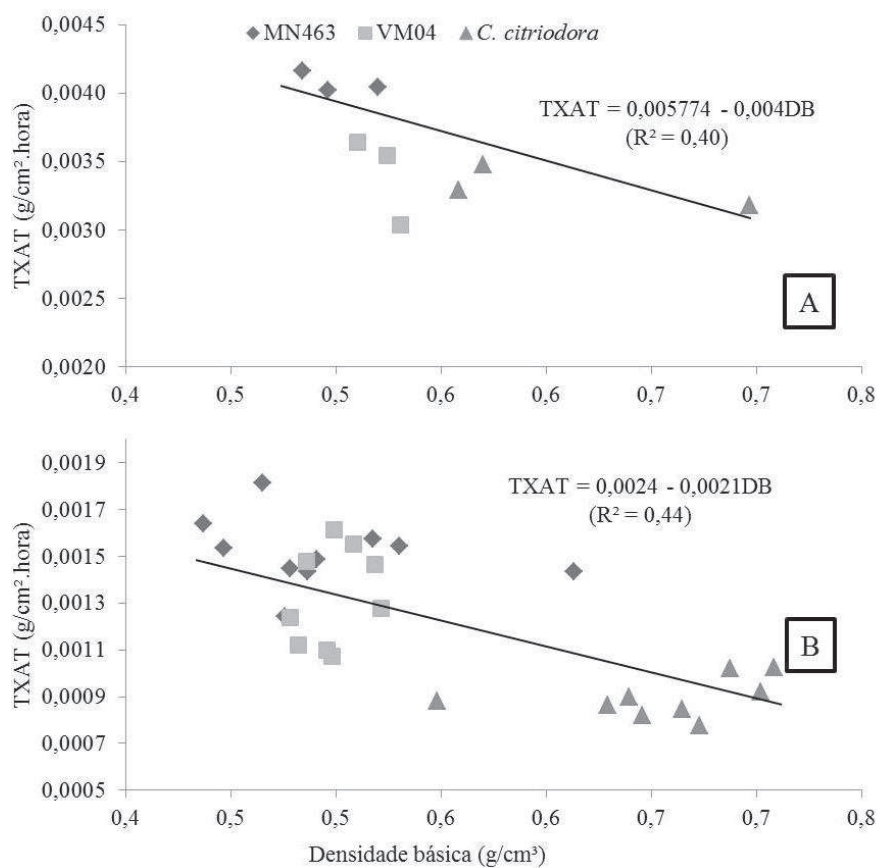


Figura 12 Relação entre a secagem total e a densidade básica da madeira dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*. A – secagem da madeira dos toretes; B – secagem da madeira dos blocos na direção tangencial.

4.5.2 Frequência de poros

Na Tabela 11 estão apresentados os modelos de regressão com os três materiais genéticos juntos, cada um com características anatômicas distintas e suas taxas de secagem em função da frequência de poros da madeira.

Tabela 11 Ajustes da taxa de secagem em função da frequência de poros da madeira dos toretes e das direções ortotrópicas dos blocos dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

Fluxo	Modelo	Coeficientes		R ²	S _{xy} ² (g.cm ⁻² .h ⁻¹)
Toretos	TXAA=β ₀ +β ₁ .FP + ε	β ₀	-0,34893*	0,59	0,0001829
		β ₁	9,05152*		
Direção axial do bloco	TXAA=β ₀ +β ₁ .FP + ε	β ₀	0,00143*	0,12	0,000373
		β ₁	-0,39301*		
	TXAT=β ₀ +β ₁ .FP + ε	β ₀	0,00428*	0,12	0,000821
		β ₁	-0,08308*		
Direção radial do bloco	TXAL=β ₀ +β ₁ .FP + ε	β ₀	0,00748*	0,17	0,001133
		β ₁	-0,00014*		
	TXAT=β ₀ +β ₁ .FP + ε	β ₀	0,00214*	0,20	0,000301
		β ₁	-0,45717*		
Direção tangencial do bloco	TXAT=β ₀ +β ₁ .FP + ε	β ₀	0,00178*	0,19	0,000271
		β ₁	-0,34275*		

R²: Coeficiente de determinação; S_{xy}: Desvio padrão residual; β₀: Coeficiente linear da equação; β₁: coeficiente angular da equação; ε: erro do modelo. TXAL: taxa de fluxo da água livre; TXAA: taxa de fluxo da água adsorvida; TXAT: taxa de fluxo da água total; FP: frequência de poros; e^{ns}: Não significativo a 0,95 de probabilidade; e*: Significativo a 0,95 de probabilidade.

Pelos resultados da Tabela 11 infere-se que a frequência de poros da madeira dos toretes apresentou relação significativa e diretamente proporcional com a taxa de dessorção da água (TXAA). Por outro lado, os modelos de regressão das taxas de secagem, para as direções ortotrópicas dos blocos de madeira, em função da frequência de poros, mostraram que, em geral, o aumento da frequência de poros reduziu a saída das águas para todas as direções. Analisando as direções de fluxo da umidade nos blocos de madeira, todas apresentaram relação inversamente proporcional com a TXAT em função da

frequência de poros. O fluxo da água adsorvida (TXAA) dos blocos tanto para a direção radial quanto para a tangencial não apresentaram ajustes significativos com a frequência de poros. Este comportamento deve-se, possivelmente, ao fato da maior frequência dos poros contribuírem para a melhor distribuição dos espaços ocupados com ar dentro da madeira, reduzindo a difusão da água por meio da parede celular.

Os maiores coeficientes de determinação (R^2) dos ajustes foram observados no modelo com o fluxo da água adsorvida nos toretes, com relação diretamente proporcional com a frequência de poros e no fluxo da água total da direção radial dos blocos, com relação inversamente proporcional com a frequência dos poros (Figura 13). Comparados com outros estudos, os valores dos R^2 das equações de regressão estão compatíveis e, em muitos casos, maiores do que os relatados na literatura quando é avaliado o efeito da frequência de poros no fluxo de água da madeira. Como exemplo, Baraúna (2010) avaliou o efeito da frequência de poros na permeabilidade ao líquido, na direção axial, em madeira de amapá e faveira, encontrando valores de coeficientes de correlação de Pearson de -0,083 e -0,037, respectivamente. Vale notar que o mesmo autor não registrou valores para a permeabilidade na direção radial em virtude da metodologia adotada.

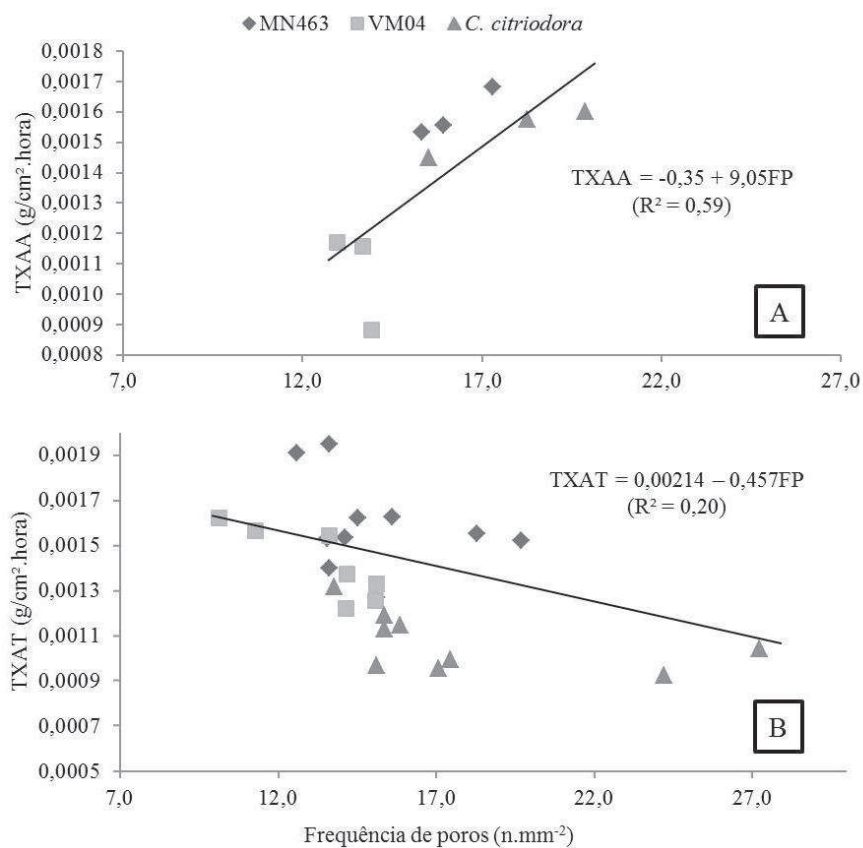


Figura 13 Relação entre a secagem e a frequência de poros da madeira dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*. A – saída da água adsorvida da madeira dos toretes; B – secagem total da madeira dos blocos na direção radial

A retirada da umidade abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF) nos toretes foi superior nos materiais com maior frequência de poros, com tendência de maiores taxas de dessecagem na madeira dos toretes de *Corymbia citriodora* e do clone MN463 de *E. urophylla*. De forma oposta, a madeira dos blocos apresenta a secagem mais rápida quando ocorre menor frequência dos poros, com tendência de secagem mais rápida na madeira do clone VM04 de *E. urophylla* e na madeira da região externa do tronco (Tabela 7).

4.5.3 Diâmetro dos vasos

Na Tabela 12 estão apresentados os modelos de regressão com os três materiais genéticos juntos, cada um com as características anatômicas distintas e suas taxas de secagem em função do diâmetro dos elementos de vasos da madeira.

Tabela 12 Ajustes da taxa de secagem em função do diâmetro do elemento de vaso da madeira dos toretes e das direções ortotrópicas dos blocos dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

Fluxo	Modelo	Coeficientes		R ²	S _{xy} (g.cm ⁻² .h ⁻¹)
Toretetes	TXAL=β ₀ +β ₁ .DV + ε	β ₀	-0,0014*	0,74	0,000688
		β ₁	8,2873*		
	TXAA=β ₀ +β ₁ .DV + ε	β ₀	0,0030*	0,52	0,000196
		β ₁	-0,1530*		
Direção axial do bloco	TXAL=β ₀ +β ₁ .DV + ε	β ₀	0,0050*	0,21	0,001651
		β ₁	4,6538*		
	TXAA=β ₀ +β ₁ .DV + ε	β ₀	-0,0004*	0,24	0,000346
	β ₁	1,0939*			
	TXAT=β ₀ +β ₁ .DV + ε	β ₀	0,0006*	0,22	0,000776
		β ₁	2,2371*		
Direção radial do bloco	TXAA=β ₀ +β ₁ .DV + ε	β ₀	7,5803*	0,23	9,56E+01
		β ₁	0,2993*		
	TXAT=β ₀ +β ₁ .DV + ε	β ₀	0,0003*	0,26	0,000322
		β ₁	1,0576*		
Direção tangencial do bloco	TXAT=β ₀ +β ₁ .DV + ε	β ₀	0,0006*	0,18	0,000275
		β ₁	0,6473*		

R²: Coeficiente de determinação; S_{xy}: Desvio padrão residual; β₀: Coeficiente linear da equação; β₁: coeficiente angular da equação; ε: erro do modelo. TXAL: taxa de fluxo da água livre; TXAA: taxa de fluxo da água adsorvida; TXAT: taxa de fluxo da água total; DV: diâmetro do elemento de vaso; e^{ns}: Não significativo a 0,95 de probabilidade; e*: Significativo a 0,95 de probabilidade.

Na análise da Tabela 12 ilustra-se que o diâmetro do elemento de vaso foi, em geral, diretamente proporcional com a secagem da madeira, exceto para a retirada da água de adsorção (TXAA) dos toretes. Importante observar que ocorre comportamento inverso quando comparado o efeito do diâmetro do elemento vascular com a frequência dos poros (Tabela 11) na movimentação da água adsorvida (TXAA) na madeira dos toretes.

Na Tabela 12, também, ilustra-se que o diâmetro do elemento vascular apresentou ajuste com a secagem total (TXAT) na madeira dos blocos para todas as direções ortotrópicas e não apresentou ajuste para a madeira dos toretes, possivelmente, em decorrência das relações opostas entre a TXAL e a TXAA. O efeito do diâmetro do elemento vascular no fluxo da água na direção axial do bloco ocorreu para a movimentação da água livre, de adsorção e total. Em alguns estudos é relatada a relação positiva entre o diâmetro dos elementos vasculares e o fluxo de líquidos na direção axial, como, Ahmed e Chun (2011) que avaliaram o efeito da anatomia de *Tectona grandis* no fluxo de solução de safranina. Em outros trabalhos, também, relata-se a importância dos vasos na condução de líquidos, porém sem a diferenciação das águas livre e adsorvida, bem como a diferenciação do fluxo nas direções da madeira (SIAU, 1971; KEDROV, 2012; ENGELUND et al., 2013). O aumento do diâmetro do elemento vascular, também, favoreceu o fluxo nas direções radial e tangencial dos blocos, possivelmente, em razão do fluxo facilitado da água, no estado líquido e de vapor, que ocorrem mediante as pontoações raio-vasculares e intervasculares. As pontoações, segundo Kedrov (2012), apresentam particularidades para a ocorrência do fluxo da água, como o achatamento e o espessamento da parede celular próxima às pontoações, que melhoram a penetração da água que ocorre sob pressão.

Comparando a movimentação da água na madeira dos blocos com a movimentação da água nos toretes, estes apresentaram maiores valores de R^2

tanto para o fluxo da água livre quanto para o fluxo da água adsorvida, iguais a 0,74 e 0,52, respectivamente enquanto o maior R^2 dos blocos foi igual a 0,26 e ocorreu na secagem total (TXAT) da direção radial (Tabela 12). Na Figura 14 apresenta-se o maior R^2 do ajuste entre o diâmetro do elemento vascular e a secagem da madeira dos toretes e dos blocos.

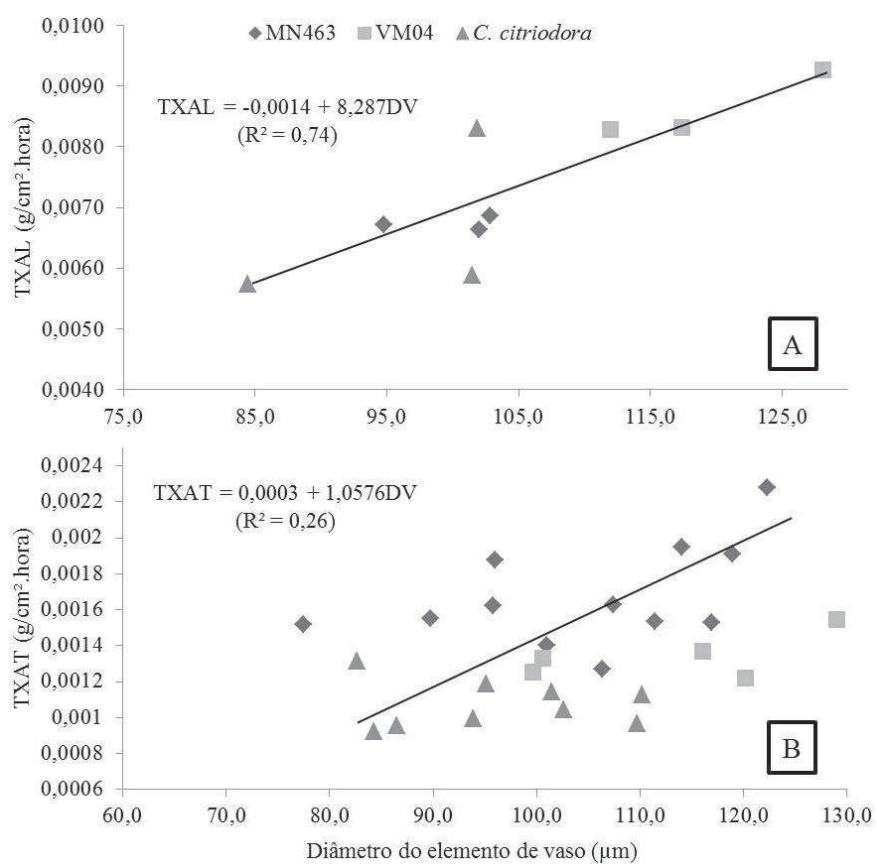


Figura 14 Relação entre a secagem e o diâmetro do elemento de vaso da madeira dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*. A – saída da água livre da madeira dos toretes; B – saída da água total da madeira dos blocos na direção radial.

Pela análise da Figura 14 permite-se observar a maior eficiência da condução de líquidos com o aumento das dimensões dos elementos de vasos da madeira tanto dos toretes quanto dos blocos, mesmo comportamento relatado por Sperry, Hacke e Pittermann (2006). A importância de dimensões elevadas dos vasos, para condução de líquidos na madeira, é apresentada em diversos trabalhos (SIAU, 1971; AHMED; CHUN, 2011; KEDROV, 2012; ENGELUND et al., 2013). Esta água move-se no estado líquido por cavidades celulares, neste caso os vasos, por meio de diferenças de tensão de capilaridade, com base na Lei de Hagen-Poiseuille (KOLLMANN; CÔTÉ JR., 1968). Com base nesta lei, quanto maior o diâmetro do elemento de vaso maior será a velocidade do fluxo no seu interior e menor será esta velocidade na região próxima a sua parede, em face do atrito entre as moléculas da água e da parede do vaso.

Por estes resultados reforça-se a importância do diâmetro dos elementos de vasos na secagem da madeira. No caso da secagem dos materiais genéticos avaliados, a madeira do clone VM04 tende a secar mais rapidamente, pois apresentou os maiores valores do diâmetro do elemento vascular, quando comparado aos demais materiais genéticos e a madeira da região externa do tronco dos três materiais genéticos, também, tende a apresentar melhor movimentação da água em função dos maiores diâmetros dos poros nesta região (Tabela 7).

Pela análise da secagem da madeira dos toretes demonstra-se que os materiais genéticos que apresentaram elementos de vasos com maior diâmetro tendem a apresentar maior facilidade para a retirada da água livre. Para a indústria de carvão vegetal isso é importante uma vez que a secagem ao ar livre é o principal método utilizado para retirar água da madeira destinada à produção de carvão no Brasil (ROSSO, 2006). O tempo gasto com esta secagem, muitas vezes, não é suficiente para a umidade alcançar valores abaixo do PSF (REZENDE et al., 2010; ZANUNCIO et al., 2013a) e a água restante provoca

redução no rendimento da produção de carvão vegetal (ROUSSET et al., 2011) e reduz o poder calorífico líquido da madeira (BRAND et al., 2011; ZANUNCIO et al., 2013a). Por outro lado, pelos ajustes para a TXAA da madeira dos toretes demonstrou-se relação inversa com o diâmetro dos vasos. Ou seja, os materiais com maiores diâmetros dos vasos perderiam a água adsorvida de forma mais lenta, demorando mais para atingir a umidade de equilíbrio. Desta forma, o clone VM04, apesar de tender a perder água livre mais rapidamente que os demais materiais até o PSF, após esta fase, tende a perder água adsorvida mais lentamente.

4.5.4 Comprimento do elemento de vaso

Na Tabela 13 estão apresentados os modelos de regressão com os três materiais genéticos juntos, cada um com as características anatômicas distintas e suas taxas de secagem em função do comprimento do elemento vascular da madeira.

Tabela 13 Ajustes da taxa de secagem em função do comprimento do elemento vascular da madeira dos toretes e das direções ortotrópicas dos blocos dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

Fluxo	Modelo	Coeficientes		R ²	S _{xy} (g.cm ⁻² .h ⁻¹)
Toretos	TXAL=β ₀ +β ₁ .CEV + ε	β ₀	-0,0001*	0,34	0,001076
		β ₁	2,6601*		
	TXAA=β ₀ +β ₁ .CEV + ε	β ₀	0,0034*	0,46	0,0001967
		β ₁	-0,0719*		
Direção axial do bloco	TXAL=β ₀ +β ₁ .CEV + ε	β ₀	0,0058*	0,23	0,00163
		β ₁	0,0143*		
	TXAA=β ₀ +β ₁ .CEV + ε	β ₀	0,0001*	0,13	0,0003715
		β ₁	0,2392*		
TXAT=β ₀ +β ₁ .CEV + ε	β ₀	0,0011*	0,21	0,0007769	
	β ₁	0,6548*			
Direção radial do bloco	TXAL=β ₀ +β ₁ .CEV + ε	β ₀	0,0026*	0,22	0,001099
		β ₁	0,9273*		
	TXAA=β ₀ +β ₁ .CEV + ε	β ₀	4,3712*	0,41	8,09E+06
		β ₁	0,1204*		
TXAT=β ₀ +β ₁ .CEV + ε	β ₀	0,0002*	0,50	0,000266	
	β ₁	0,4269*			
Direção tangencial do bloco	TXAA=β ₀ +β ₁ .CEV + ε	β ₀	0,0001*	0,17	9,20E+01
		β ₁	0,0836*		
	TXAT=β ₀ +β ₁ .CEV + ε	β ₀	0,0004*	0,35	0,0002443
		β ₁	0,2789*		

R²: Coeficiente de determinação; S_{xy}: Desvio padrão residual; β₀: Coeficiente linear da equação; β₁: coeficiente angular da equação; ε: erro do modelo. TXAL: taxa de fluxo da água livre; TXAA: taxa de fluxo da água adsorvida; TXAT: taxa de fluxo da água total; CEV: comprimento do elemento de vaso; e^{ns}: Não significativo a 0,95 de probabilidade; e*: Significativo a 0,95 de probabilidade.

Com os ajustes da Tabela 13 ilustra-se o efeito do comprimento do elemento vascular na movimentação da água na madeira, que foram semelhantes ao comportamento do diâmetro do elemento de vaso (Tabela 12), principalmente, para a madeira dos toretes que, também, apresentou relação diretamente proporcional com a movimentação da água livre e inversamente proporcional com a saída da água de adsorção. Além disso, o comprimento e o diâmetro do elemento de vaso apresentaram o mesmo comportamento para a movimentação da água adsorvida na madeira dos toretes e dos blocos. Isso pode ter ocorrido em consequência da dessorção da água ser de grande complexidade, envolvendo mecanismos de movimentação da água no estado de vapor e da água adsorvida nas paredes celulares, conforme relatado por Mouchot et al. (2006). Além disso, o torete, com dimensões superiores, permite a ocorrência e a movimentação da água em diferentes estados físicos e nas direções ortotrópicas. A tendência oposta do efeito do comprimento do elemento de vaso da madeira do torete no fluxo da água livre e da água adsorvida, possivelmente, gerou um efeito nulo para a secagem total (TXAT). Vale notar, também, que o comprimento do elemento vascular não teve associação com o fluxo da água livre (TXAL) na direção tangencial do bloco.

As relações ilustradas na Tabela 13 reforçam que a eficiência na movimentação da água está relacionada às maiores dimensões dos elementos vasculares, conforme apresentado por Sperry, Hacke e Pittermann (2006). O comportamento semelhante do diâmetro do elemento de vaso e do comprimento do elemento vascular da madeira dos toretes e dos blocos, durante a secagem, pode ser justificado em virtude da relação entre estas duas características (Figura 15).

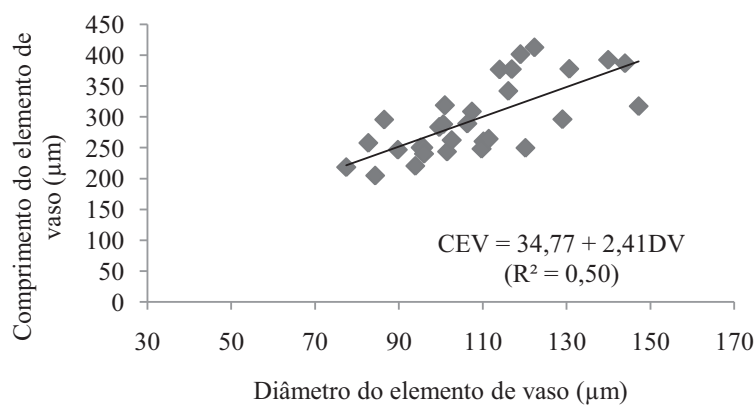


Figura 15 Relação entre o comprimento e o diâmetro do elemento vascular da madeira dos corpos-de-prova dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

Dentre as características dos elementos de vasos, o comprimento foi a que, em geral, melhores ajustes apresentou para o fluxo nas direções radial e tangencial dos blocos de madeira quando comparados à frequência dos poros e o diâmetro do elemento de vaso (Tabela 11 e 12). Ahmed e Chun (2011) relatam que o comprimento do elemento vascular afetou, negativamente, o fluxo da solução de safranina na direção axial da madeira de *Tectona grandis*. No entanto, a metodologia utilizada pelos autores não diferiu a movimentação da umidade acima e abaixo do ponto de saturação das fibras da madeira. Por sua vez, Kedrov (2012) relata que os elementos de vasos intercomunicam por meio de numerosas pontuações que ocupam boa parte da sua superfície. A região de contato entre as pontuações dos elementos de vasos apresenta um achatamento e, também, um espessamento da parede, melhorando o fluxo da água e aumentando a rigidez para aguentar a pressão que a água exerce. Após a análise dos resultados e as considerações de Kedrov (2012), possivelmente quanto maior for o comprimento do elemento vascular, maior será a quantidade de pontuações nas paredes, fato que tende a facilitar o escoamento da água na direção transversal

do elemento de vaso e, também, aumentar a movimentação da água entre os vasos adjacentes.

Os resultados apresentados na Tabela 13 reforçam a importância dos estudos que utilizam o fluxo das águas livres e adsorvidas para a avaliação da relação entre as características dos elementos de vasos e a secagem da madeira. Pela Figura 16 ilustram-se os melhores ajustes para o efeito do comprimento do elemento vascular na secagem dos toretes e dos blocos de madeira. O efeito do comprimento do elemento vascular no fluxo da água adsorvida na madeira do torete apresentou maior R^2 , quando comparado à movimentação da água livre, diferentemente do que ocorreu com o efeito do diâmetro do elemento de vaso (Tabela 12).

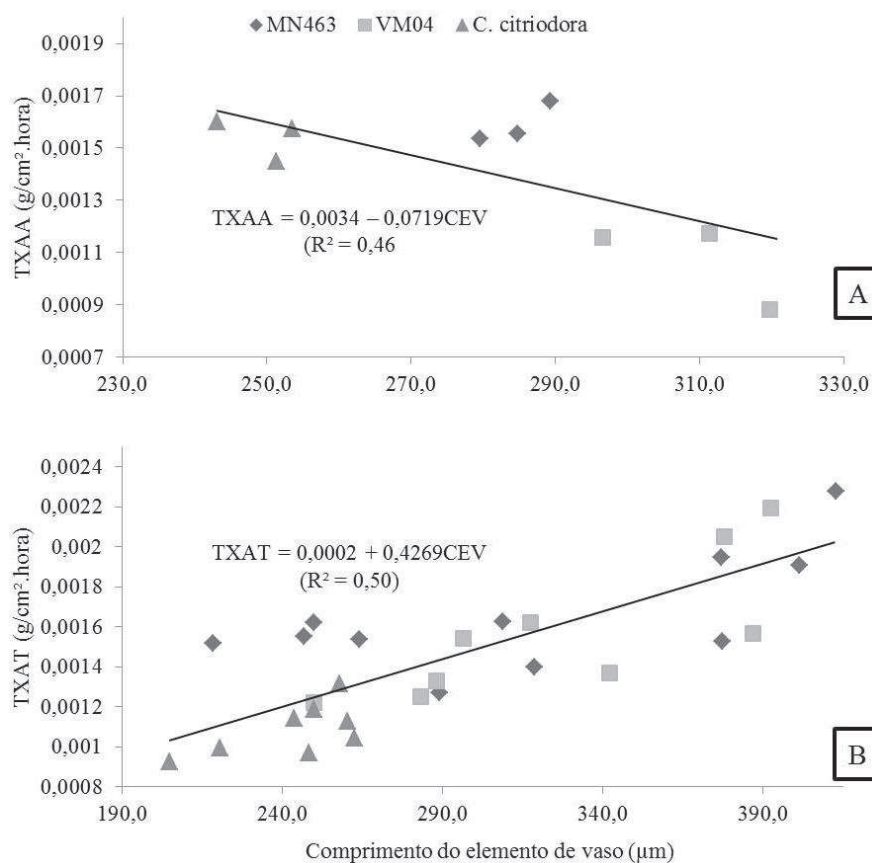


Figura 16 Relação entre a secagem e o comprimento do elemento de vaso da madeira dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*. A – saída da água adsorvida da madeira dos toretes; B – saída da água total da madeira dos blocos na direção radial

Com base nas linhas de tendência apresentadas da Figura 16A, a madeira do *C. citriodora* apresentou o menor comprimento do elemento vascular, quando comparada à madeira dos clones de *E. urophylla*, tendendo a movimentar a água adsorvida nos toretes de forma mais rápida. Este resultado, também, pode ser um indicativo do maior fluxo dos gases no interior da

madeira, principalmente, no interior dos fornos de carbonização, em que as temperaturas elevadas retiram rapidamente a água adsorvida e em seguida as moléculas de hidroxilas que estão na parede celular, podendo gerar, conseqüentemente, um carvão vegetal de melhor qualidade físico-mecânica. Por outro lado, a madeira dos blocos dos clones de *E. urophylla* apresentaram os maiores valores de comprimento do elemento vascular (Tabela 7) e tendem a apresentar taxas de secagem total superiores quando comparadas com a madeira do *C. citriodora* (Figura 16 B).

4.5.5 Frequência de raios

Os modelos de regressão dos três materiais genéticos juntos, cada um com as características anatômicas distintas e suas taxas de secagem em função da frequência de raios dos toretes e da direção axial dos blocos, não foram significativos, com base no test t student, 95% (ANEXO C e D). Este fato deve-se ao próprio arranjo das células parenquimáticas radiais que interferem, principalmente, no fluxo das direções radial e tangencial. Vale notar que Barnard et al. (2013), também, não encontraram relação significativa entre a movimentação de corantes marcadores e as células radiais na madeira de coníferas. Os autores concluíram que os raios podem não facilitar o transporte da água na direção radial desta madeira.

No entanto, a frequência dos raios apresentou associação significativa com a secagem dos blocos de madeira nas direções radial e tangencial, conforme ilustrado na Tabela 14.

Tabela 14 Ajustes da taxa de secagem em função da frequência de raios da madeira das direções ortotrópicas dos blocos dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

Fluxo	Modelo	Coeficientes		R ²	S _{xy} (g.cm ⁻² .h ⁻¹)
Direção radial do bloco	TXAL=β ₀ +β ₁ .FR + ε	β ₀	0,0103*	0,17	0,001128
		β ₁	-0,0004*		
	TXAA=β ₀ +β ₁ .FR + ε	β ₀	0,0008*	0,10	0,0001032
		β ₁	-0,2834*		
	TXAT=β ₀ +β ₁ .FR + ε	β ₀	0,0028*	0,14	0,0003479
		β ₁	-0,0001*		
Direção tangencial do bloco	TXAL=β ₀ +β ₁ .FR + ε	β ₀	0,0088*	0,22	0,001019
		β ₁	-0,0004*		
	TXAT=β ₀ +β ₁ .FR + ε	β ₀	0,0022*	0,12	0,0002833
		β ₁	-0,7152*		

R²: Coeficiente de determinação; S_{xy}: Desvio padrão residual; β₀: Coeficiente linear da equação; β₁: coeficiente angular da equação; ε: erro do modelo. TXAL: taxa de fluxo da água livre; TXAA: taxa de fluxo da água adsorvida; TXAT: taxa de fluxo da água total; FR: frequência de raios; e^{ns}: Não significativo a 0,95 de probabilidade; e*: Significativo a 0,95 de probabilidade.

Os ajustes ilustrados na Tabela 14 apresentaram relação inversamente proporcional entre a movimentação das águas e a frequência dos raios, assim como ocorreu com a associação entre a frequência dos poros e o fluxo da água na madeira dos blocos (Tabela 11). Além disso, o aumento da frequência dos raios da madeira dos blocos tende a diminuir as taxas de secagem (Tabela 14) enquanto o aumento das dimensões dos raios, principalmente, a sua altura (próximo tópico), tende a aumentar o fluxo das águas na madeira. Mesma tendência observada com as características dos elementos vasculares, quando a frequência dos poros (Tabela 11) apresentou comportamento oposto das dimensões dos elementos de vasos (Tabelas 12 e 13).

Em geral, os ajustes da Tabela 14 foram significativos, porém com baixos R^2 . As equações com maiores R^2 foram para a movimentação da água livre dos blocos, para as direções radial e tangencial e a tangencial apresentou o melhor ajuste (Figura 17).

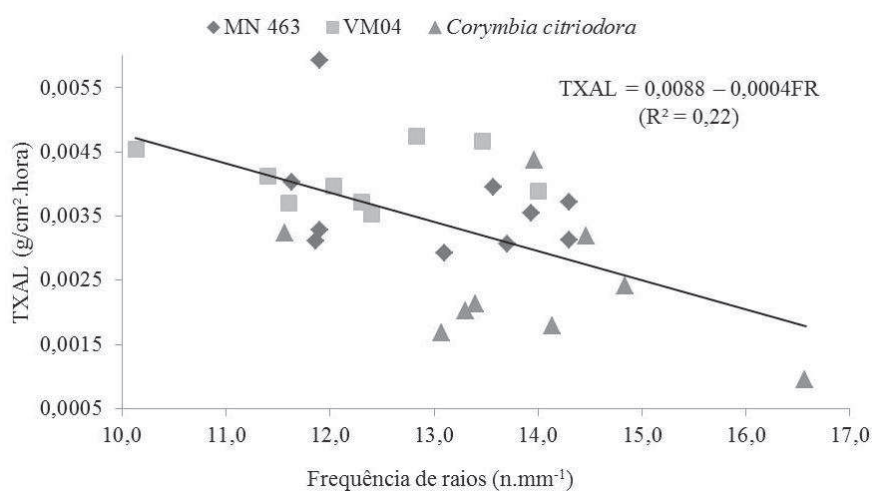


Figura 17 Relação entre a saída da água livre na direção tangencial e a frequência de raios da madeira dos blocos dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

4.5.6 Altura do raio

Na Tabela 15 estão apresentados os modelos de regressão com os três materiais genéticos juntos, cada um com características anatômicas distintas e suas taxas de secagem em função da altura dos raios da madeira.

Tabela 15 Ajustes da taxa de secagem em função da altura do raio da madeira dos toretes e das direções ortotrópicas dos blocos dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

Fluxo	Modelo	Coeficientes		R ²	S _{xy} ² (g.cm ⁻² .h ⁻¹)
Toretos	TXAT=β ₀ +β ₁ .AR+ ε	β ₀	0,0014*	0,46	0,0002988
		β ₁	1,1001*		
Direção axial do bloco	TXAT=β ₀ +β ₁ .AR+ ε	β ₀	0,0012*	0,15	0,000807
		β ₁	0,0882*		
Direção tangencial do bloco	TXAL=β ₀ +β ₁ .AR+ ε	β ₀	0,0016*	0,10	0,0011073
		β ₁	0,9097*		
	TXAT=β ₀ +β ₁ .AR+ ε	β ₀	0,0006*	0,15	0,000273
		β ₁	0,3127*		

R²: Coeficiente de determinação; S_{xy}: Desvio padrão residual; β₀: Coeficiente linear da equação; β₁: coeficiente angular da equação; ε: erro do modelo. TXAL: taxa de fluxo da água livre; TXAT: taxa de fluxo da água total; AR: altura do raio; e^{ns}: Não significativo a 0,95 de probabilidade; e*: Significativo a 0,95 de probabilidade.

Nos ajustes da Tabela 15 apresenta-se que a altura do raio da madeira dos toretes e dos blocos apresentou relação diretamente proporcional com a taxa de secagem total (TXAT). No entanto, a altura do raio não apresentou relação com o fluxo da água adsorvida na madeira e a movimentação da água livre apresentou relação com a altura do raio apenas para o fluxo na direção tangencial do bloco. Ahmed e Chun (2011), também, encontraram associação entre a altura do raio e o fluxo de solução de safranina na madeira de *Tectona grandis*, porém os autores não diferiram a movimentação da solução na umidade abaixo e acima do PSF. A TXAT tanto na madeira dos toretes quanto nos blocos, principalmente na direção axial e tangencial, apresentaram os maiores R², conforme ilustrado na Figura 18.

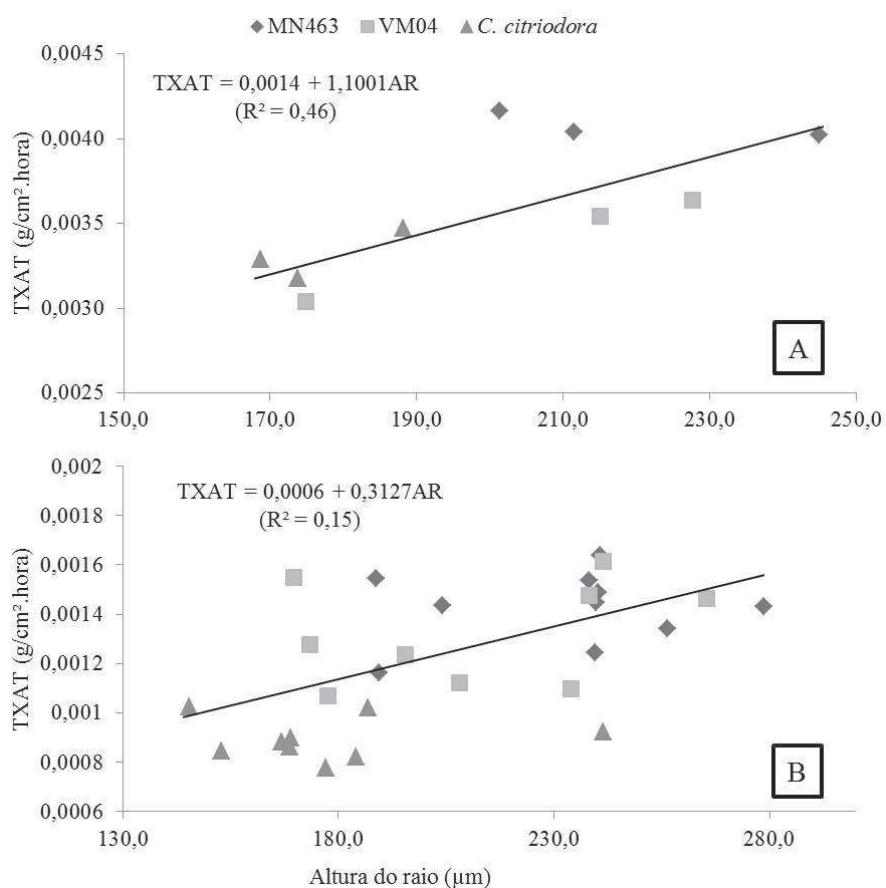


Figura 18 Relação entre a secagem total e a altura do raio da madeira dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*. A – secagem da madeira dos toretes; B – secagem da madeira dos blocos na direção tangencial

Os raios ou parênquima radial são conhecidos como elementos condutores ao longo da direção radial do tronco da árvore, comportamento que, também, ocorreu na madeira dos toretes e dos blocos, conforme apresentado na Tabela 15. Este resultado é importante para o setor de carvão vegetal que utiliza toras longas, quando o efeito dos raios fica mais evidenciado durante a secagem e o uso de materiais genéticos com maior altura dos raios terá associação direta

com a secagem mais rápida da madeira. Assim, a madeira dos clones MN463 e VM04 de *E. urophylla* apresentou as maiores alturas dos raios e tende a secar mais rápida (Tabela 7).

4.5.7 Largura do raio

Os modelos de regressão dos três materiais genéticos juntos, cada um com as características anatômicas distintas e suas taxas de secagem em função da largura dos raios dos toretes e da direção radial e tangencial dos blocos, não foram significativos, com base no test t student, 95% (ANEXO C e D). Por outro lado, a largura dos raios apresentou associação significativa com a dessorção da água dos blocos para a direção axial (Tabela 16).

Tabela 16 Ajustes da taxa de fluxo da água adsorvida na madeira em função da largura do raio para a direção axial dos blocos dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

Fluxo	Modelo	Coeficientes		R ²	S _{xy} (g.cm ⁻² .h ⁻¹)
Direção axial do bloco	TXAA=β ₀ +β ₁ .LR + ε	β ₀	0,0001*	0,14	0,0003726
		β ₁	6,1111*		

R²: Coeficiente de determinação; S_{xy}: Desvio padrão residual; β₀: Coeficiente linear da equação; β₁: coeficiente angular da equação; ε: erro do modelo; TXAA: taxa de fluxo da água adsorvida; LR: largura do raio; e*: Significativo a 0,95 de probabilidade.

Com base na Tabela 16, foi possível observar que o modelo de regressão da taxa de fluxo da água adsorvida na direção axial, em função da largura dos raios, mostrou que o ajuste foi diretamente proporcional, com baixo R², conforme observado na Figura 19. Um dos prováveis motivos para a falta de associação entre a largura dos raios e a movimentação das águas na madeira é a igualdade dos valores entre os três materiais genéticos, conforme observado na

Tabela 7. Além disso, conforme já discutido, Barnard et al. (2013) relatam que os raios podem não influenciar no fluxo da água na direção radial do tronco de coníferas.

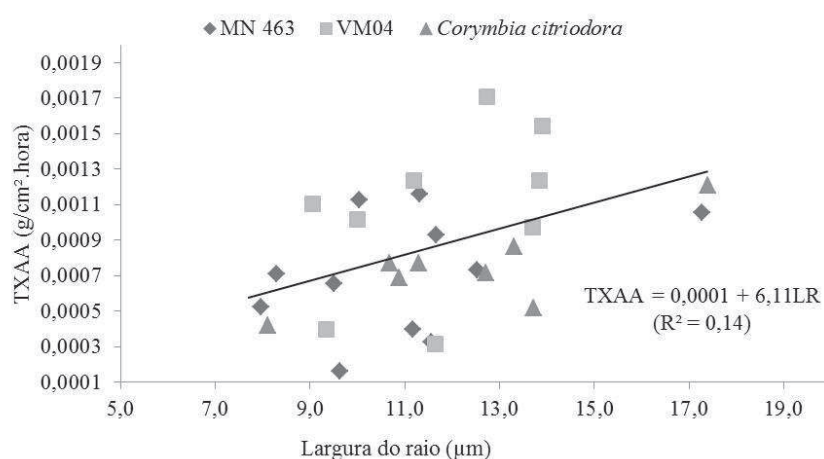


Figura 19 Relação entre a dessorção da água na direção axial e a largura do raio da madeira dos blocos dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

4.5.8 Comprimento da fibra

Na Tabela 17 estão apresentados os modelos de regressão com os três materiais genéticos juntos, cada um com as características anatômicas distintas e suas taxas de secagem em função do comprimento da fibra da madeira.

Tabela 17 Ajustes da taxa de secagem em função do comprimento da fibra da madeira dos toretes e das direções ortotrópicas dos blocos dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

Fluxo	Modelo	Coefficientes	R ²	S _{xy} (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	
Toretos	TXAL=β ₀ +β ₁ .CF+ ε	β ₀	-0,0037*	0,58	0,000842
		β ₁	1,2428*		
Direção axial do bloco	TXAL=β ₀ +β ₁ .CF+ ε	β ₀	0,0041*	0,17	0,001696
		β ₁	0,6526*		
	TXAA=β ₀ +β ₁ .CF+ ε	β ₀	-0,0005*	0,17	0,0003644
		β ₁	0,1425*		
TXAT=β ₀ +β ₁ .CF+ ε	β ₀	-0,0123*	0,18	0,0007899	
	β ₁	0,3286*			
Direção radial do bloco	TXAL=β ₀ +β ₁ .CF+ ε	β ₀	0,0012*	0,18	0,0011209
		β ₁	0,0460*		
	TXAA=β ₀ +β ₁ .CF+ ε	β ₀	-0,4201*	0,23	9,48E+01
		β ₁	0,0484*		
TXAT=β ₀ +β ₁ .CF+ ε	β ₀	-0,0002*	0,28	0,0003146	
	β ₁	0,1766*			
Direção tangencial do bloco	TXAT=β ₀ +β ₁ .CF+ ε	β ₀	1,1114*	0,30	0,0002547
		β ₁	0,1360*		

R²: Coeficiente de determinação; S_{xy}: Desvio padrão residual; β₀: Coeficiente linear da equação; β₁: coeficiente angular da equação; ε: erro do modelo. TXAL: taxa de fluxo da água livre; TXAA: taxa de fluxo da água adsorvida; TXAT: taxa de fluxo da água total; CF: comprimento da fibra; e^{ns}: Não significativo a 0,95 de probabilidade; e*: Significativo a 0,95 de probabilidade.

O comprimento da fibra apresentou relação diretamente proporcional com a movimentação da água livre na madeira dos toretes e dos blocos, exceto para a direção tangencial (Tabela 17). O aumento do comprimento da fibra tende a aumentar o fluxo da água total nas três direções ortotrópicas dos blocos e, também, tende a aumentar a movimentação da água adsorvida nas direções axial

e radial dos blocos. Os ajustes apresentaram a secagem rápida na madeira com maior comprimento das fibras. Assim, a madeira que tende a secar mais rapidamente será a do clone VM04, que apresentou o maior valor de comprimento das fibras, seguida pelo clone MN463 e com os menores comprimentos a do *C. citriodora* (Tabela 8).

O maior R^2 dos ajustes da movimentação da água, em função do comprimento das fibras, ocorreu para o fluxo da água livre na madeira dos toretes. Na madeira dos blocos, o R^2 superior foi para o fluxo da água total na direção tangencial, conforme tendências ilustradas na Figura 20.

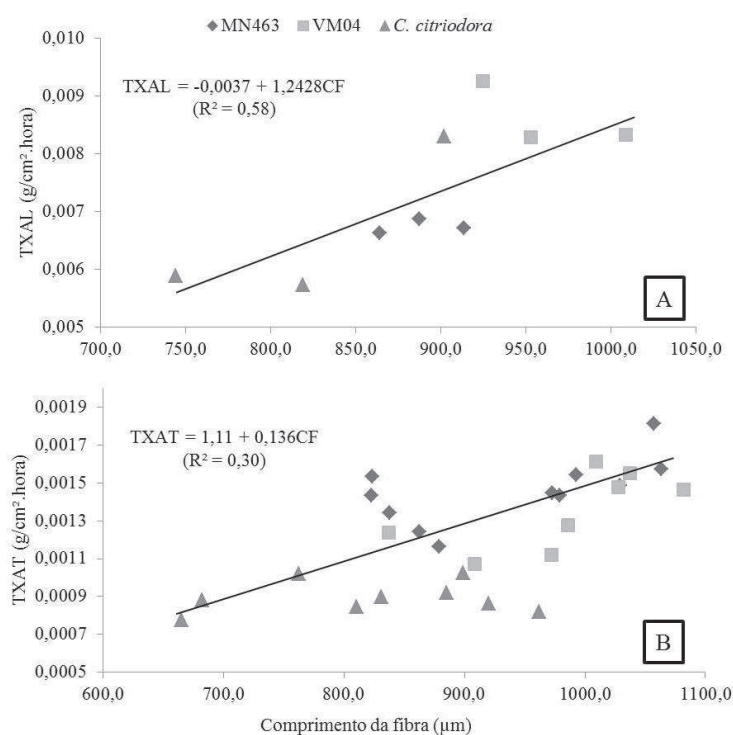


Figura 20 Relação entre a secagem e o comprimento da fibra da madeira dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*. A – saída da água livre da madeira dos toretes; B – secagem total da madeira dos blocos na direção tangencial

Importante notar que, entre os ajustes das características das fibras, como a largura, o diâmetro do lume, a espessura da parede, a fração de parede e a fração de parede total, o comprimento apresentou a melhor associação com a movimentação das águas na madeira das amostras. Siau (1971) relata que a movimentação dos fluidos por meio das fibras ocorre nos pares de pontuações e o efeito da fibra na permeabilidade da madeira de folhosas é insignificante quando comparado ao efeito dos elementos vasculares. Ahmed e Chun (2011) encontraram que o aumento do comprimento das fibras reduziu a movimentação da solução de safranina na madeira de *Tectona grandis*. Diferentemente, Baraúna (2010) encontrou relação direta e positiva entre o comprimento das fibras e a permeabilidade ao líquido da madeira de amapá e faveira.

4.5.9 Largura das fibras

Na Tabela 18 estão apresentados os modelos de regressão com os três materiais genéticos juntos, cada um com as características anatômicas distintas e suas taxas de secagem em função da largura da fibra da madeira.

Tabela 18 Ajustes da taxa de secagem em função da largura da fibra da madeira dos toretes e das direções ortotrópicas dos blocos dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

Fluxo	Modelo	Coeficientes		R ²	S _{xy} (g.cm ⁻² .h ⁻¹)
Toretos	TXAT=β ₀ +β ₁ .LF + ε	β ₀	0,00176*	0,55	0,000299
		β ₁	0,00012*		
Direção axial do bloco	TXAT=β ₀ +β ₁ .LF+ ε	β ₀	0,00117*	0,17	0,000798
		β ₁	0,00012*		
Direção radial do bloco	TXAL=β ₀ +β ₁ .LF+ ε	β ₀	0,00313*	0,13	0,001158
		β ₁	0,00014*		
Direção radial do bloco	TXAA=β ₀ +β ₁ .LF+ ε	β ₀	0,00019*	0,16	0,000101
		β ₁	1,36317*		
Direção tangencial do bloco	TXAT=β ₀ +β ₁ .LF+ ε	β ₀	0,00054*	0,23	0,000326
		β ₁	5,98815*		
Direção tangencial do bloco	TXAA=β ₀ +β ₁ .LF+ ε	β ₀	0,00021*	0,11	9,95E+01
		β ₁	1,15261*		
Direção tangencial do bloco	TXAT=β ₀ +β ₁ .LF+ ε	β ₀	0,00047*	0,27	0,000255
		β ₁	5,10169*		

R²: Coeficiente de determinação; S_{xy}: Desvio padrão residual; β₀: Coeficiente linear da equação; β₁: coeficiente angular da equação; ε: erro do modelo. TXAL: taxa de fluxo da água livre; TXAA: taxa de fluxo da água adsorvida; TXAT: taxa de fluxo da água total; LF: largura das fibras; e^{ns}: Não significativo a 0,95 de probabilidade; e*: Significativo a 0,95 de probabilidade.

Nos resultados da Tabela 18, a largura das fibras apresentou os ajustes com relação diretamente proporcional com a secagem total da madeira. A largura das fibras não apresentou ajustes para a movimentação da água livre (TXAL) e da água adsorvida (TXAA) na madeira dos toretes e dos blocos na direção axial. A TXAL apresentou relação com a largura das fibras apenas na direção radial dos blocos.

A maior quantidade de ajustes encontrados entre a largura das fibras e o fluxo da água na direção radial e tangencial dos blocos possivelmente estão relacionadas à forma como ocorre a movimentação da água nestas direções por meio da parede celular e das pontuações. Desta forma, quanto mais larga a fibra, maior será o seu volume e maior será a quantidade de água líquida, de vapor e adsorvida armazenada. Esta água irá fluir das zonas de alta umidade para as de baixa umidade da madeira. A movimentação da água líquida, gasosa e adsorvida na madeira é complexa (KOLLMANN; CÔTÉ JR., 1968; MOUCHOT et al., 2006), principalmente, pelas fibras. Uma mesma característica pode influenciar tanto positiva quanto negativamente no fluxo, como, Baraúna (2010) que encontrou relação direta e positiva entre a largura da fibra e a permeabilidade ao líquido na madeira de amapá e comportamento oposto para a madeira de faveira.

Assim como ocorreu nos ajustes da secagem, em função do comprimento das fibras (Figura 20), a largura da fibra, também, apresentou o maior R^2 na secagem dos toretes e o R^2 superior dos ajustes da secagem dos blocos, também, ocorreu na direção tangencial, conforme ilustrado na Figura 21. Com base nos modelos, a secagem tende a ocorrer mais rápida nos materiais com maiores valores de largura das fibras. Assim, o clone MN463 tende a secar mais rapidamente em função da maior largura das fibras da sua madeira (Tabela 8).

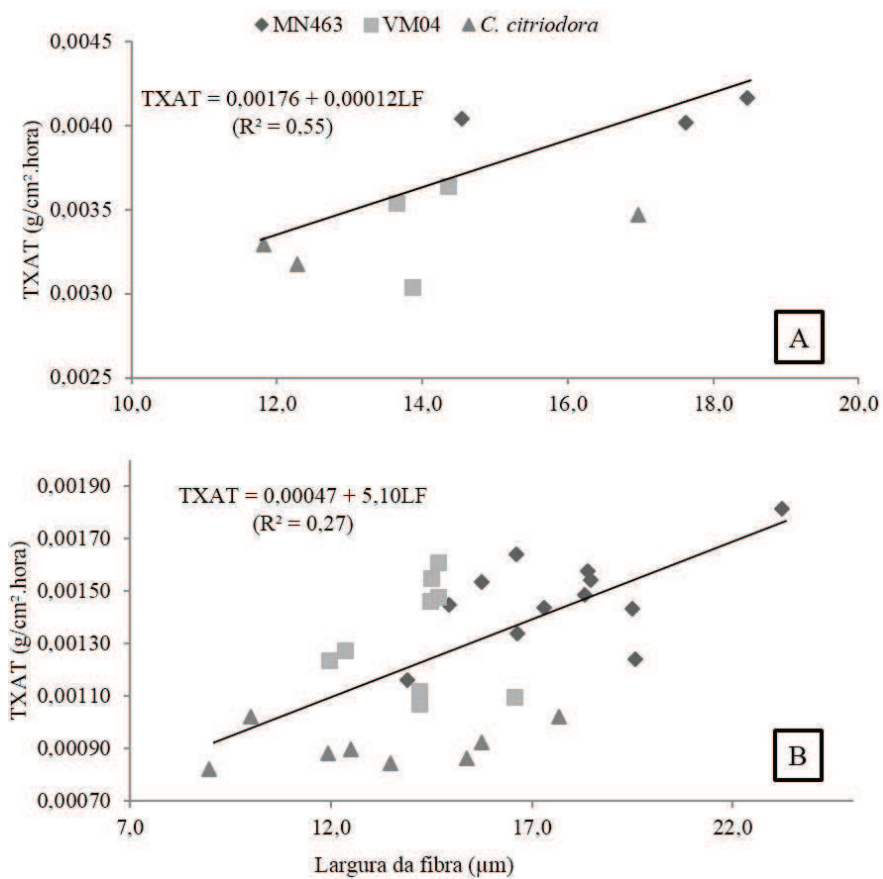


Figura 21 Relação entre a secagem total e a largura das fibras da madeira dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*. A – secagem da madeira dos toretes; B – secagem da madeira dos blocos na direção tangencial

4.5.10 Diâmetro do lume da fibra

Na Tabela 19 estão apresentados os modelos de regressão com os três materiais genéticos juntos, cada um com as características anatômicas distintas e suas taxas de secagem em função do diâmetro do lume da fibra da madeira.

Tabela 19 Ajustes da taxa de secagem em função do diâmetro do lume da fibra da madeira dos toretes e das direções ortotrópicas dos blocos dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

Fluxo	Modelo	Coeficientes		R ²	S _{xy} (g.cm ⁻² .h ⁻¹)
Toretos	TXAT=β ₀ +β ₁ .DLF+ ε	β ₀	0,00255*	0,55	0,000295
		β ₁	0,00013*		
Direção axial do bloco	TXAT=β ₀ +β ₁ .DLF+ ε	β ₀	0,00183*	0,18	0,0007909
		β ₁	0,00013*		
Direção radial do bloco	TXAL=β ₀ +β ₁ .DLF+ ε	β ₀	0,00376*	0,18	0,0011245
		β ₁	0,00018*		
Direção radial do bloco	TXAA=β ₀ +β ₁ .DLF+ ε	β ₀	0,00028*	0,13	0,0001026
		β ₁	1,39968*		
Direção tangencial do bloco	TXAT=β ₀ +β ₁ .DLF+ ε	β ₀	0,00086*	0,26	0,0003192
		β ₁	6,94282*		
Direção tangencial do bloco	TXAA=β ₀ +β ₁ .DLF+ ε	β ₀	0,00027*	0,1	9,90E+01
		β ₁	1,29591*		
Direção tangencial do bloco	TXAT=β ₀ +β ₁ .DLF+ ε	β ₀	0,00070*	0,36	0,000239
		β ₁	6,34784*		

R²: Coeficiente de determinação; S_{xy}: Desvio padrão residual; β₀: Coeficiente linear da equação; β₁: coeficiente angular da equação; ε: erro do modelo. TXAL: taxa de fluxo da água livre; TXAA: taxa de fluxo da água adsorvida; TXAT: taxa de fluxo da água total; DLF: diâmetro do lume da fibra; e^{ns}: Não significativo a 0,95 de probabilidade; e*: Significativo a 0,95 de probabilidade.

Pelos resultados da Tabela 19 infere-se que o diâmetro do lume das fibras foi diretamente proporcional com a secagem total (TXAT) da madeira. O diâmetro do lume das fibras não apresentou ajustes para a movimentação da água livre (TXAL) e da água adsorvida (TXAA) na madeira dos toretes e dos blocos na direção axial. A TXAL apresentou relação com o diâmetro do lume das fibras apenas na direção radial dos blocos. Os ajustes dos efeitos do diâmetro

do lume da fibra no fluxo da água na madeira dos toretes e dos blocos foram semelhantes aos apresentados para o efeito do comprimento e da largura das fibras na secagem. O efeito semelhante do diâmetro do lume com a largura da fibra deve-se às características serem muito correlacionadas.

O aumento do diâmetro do lume da fibra tende a aumentar as taxa de secagem da madeira. Este fato ocorre em virtude do diâmetro do lume da fibra ter relação com o volume para armazenar água no estado líquido e gasoso no interior da célula. Quanto maior o volume maior será o fluxo das águas pelos pares de pontuações das fibras (SIAU, 1971) e por difusão pela parede celular (KOLLMANN; CÔTÉ JR., 1968), justificando a maior quantidade de ajustes nas direções radial e tangencial (Tabela 19). Dentre os materiais genéticos avaliados, a madeira do clone MN463 apresentou os maiores valores do diâmetro do lume das fibras quando comparado aos outros materiais genéticos e tende a secar mais rápido (Tabela 8).

Assim como ocorreu nos ajustes da secagem, em função do comprimento das fibras (Figura 20) e da largura das fibras (Figura 21), o diâmetro do lume da fibra, também, apresentou o maior R^2 na secagem dos toretes e o R^2 superior dos ajustes da secagem dos blocos, também, ocorreu na direção tangencial, conforme ilustrado na Figura 22. Porém, o diâmetro do lume das fibras no ajuste da direção tangencial para a TXAT apresentou R^2 ligeiramente superior quando comparado ao mesmo ajuste obtido com a largura da fibra.

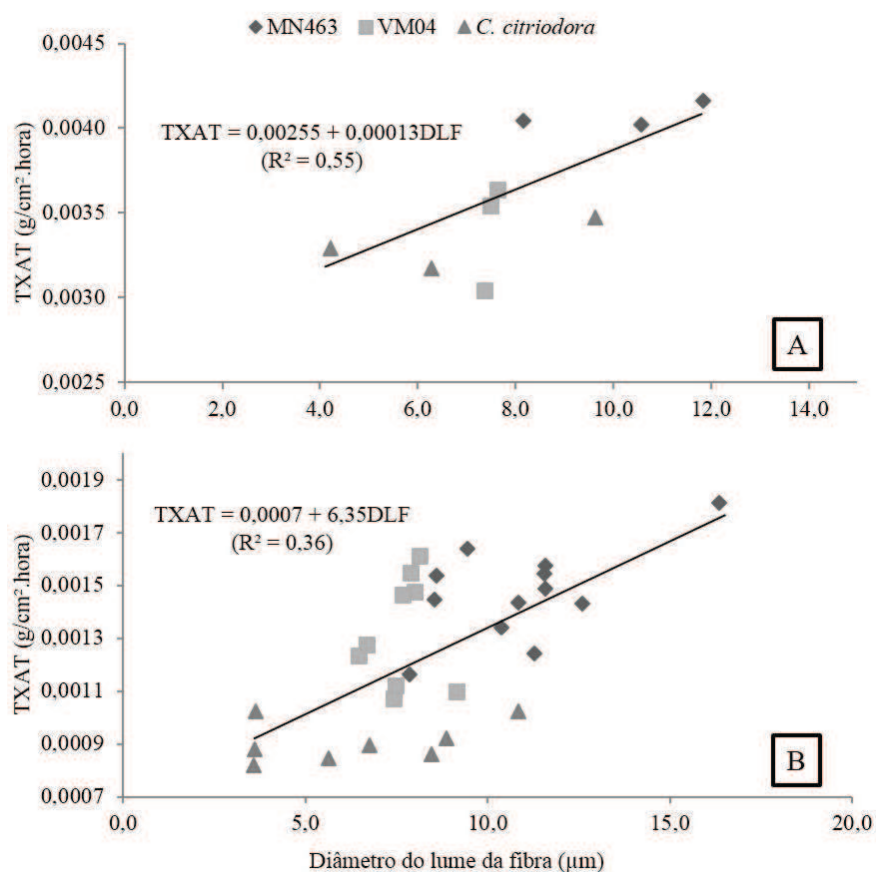


Figura 22 Relação entre a secagem total e o diâmetro do lume das fibras da madeira dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*. A – secagem da madeira dos toretes; B – secagem da madeira dos blocos na direção tangencial

4.5.11 Espessura da parede da fibra

Os modelos de regressão dos três materiais genéticos juntos, cada um com as características anatômicas distintas e suas taxas de secagem, em função da espessura da parede da fibra dos blocos de madeira, não foram significativos, com base no test t student, 95% (ANEXO D). Os valores muito próximos da

espessura da parede das fibras da madeira dos três materiais genéticos (Tabela 8) podem ser um dos motivos para a ausência de associação com a movimentação da água. Siau (1971), também, relata que o efeito das fibras na permeabilidade da madeira de folhosas é insignificante quando comparado ao efeito dos vasos. Diferentemente, Baraúna (2010) encontrou relação diretamente proporcional entre a espessura da parede da fibra e a permeabilidade ao líquido na madeira de amapá e faveira. Resultado oposto ao encontrado com a madeira dos toretes, quando a espessura da parede da fibra apresentou associação significativa com o fluxo da água livre (Tabela 20).

Tabela 20 Ajuste da taxa de movimentação da água em função da espessura da parede da fibra da madeira dos toretes dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

Fluxo	Modelo	Coeficientes		R ²	S _{xy} (g.cm ⁻² .h ⁻¹)
Toretos	TXAL=β ₀ +β ₁ .EPF+ ε	β ₀	0,01998*	0,64	0,000784
		β ₁	-0,00377*		

R²: Coeficiente de determinação; S_{xy}: Desvio padrão residual; β₀: Coeficiente linear da equação; β₁: coeficiente angular da equação; ε: erro do modelo. TXAL: taxa de fluxo da água livre; EPF: espessura da parede da fibra; e^{ns}: Não significativo a 0,95 de probabilidade; e*: Significativo a 0,95 de probabilidade.

Pelo ajuste da Tabela 20 verifica-se a tendência do fluxo da água livre ser maior nos materiais com menor espessura da parede das fibras. No caso dos materiais analisados, a madeira do *C. citriodora* apresentou os maiores valores de espessura da parede da fibra (Tabela 8), tendendo a apresentar a TXAL mais lenta. Por estes resultados reforça-se a importância do estudo da densidade básica aliada à característica anatômica da madeira para compreender a movimentação dos diferentes tipos de água. A espessura da parede da fibra apresenta alta relação com a densidade básica da madeira, podendo, assim, a densidade básica auxiliar no entendimento destas relações. A espessura da

parede da fibra apresentou relação inversamente proporcional com a TXAL da madeira do torete, conforme ilustrado na Figura 23.

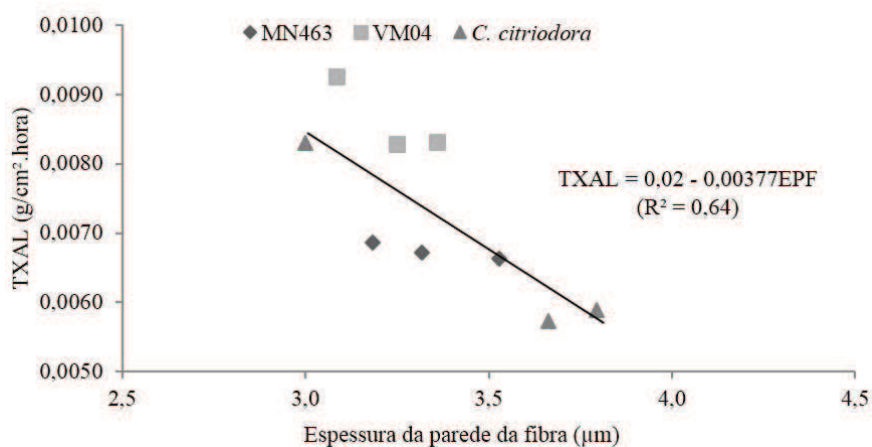


Figura 23 Relação entre a saída da água livre e a espessura da parede da fibra da madeira dos toretes dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

4.5.12 Fração parede da fibra

Na Tabela 21 estão apresentados os modelos de regressão com os três materiais genéticos juntos, cada um com as características anatômicas distintas e suas taxas de secagem em função da fração de parede da fibra da madeira.

Tabela 21 Ajustes da taxa de secagem em função da fração de parede da fibra da madeira dos toretes e das direções ortotrópicas dos blocos dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

Fluxo	Modelo	Coeficientes		R ²	S _{xy} (g.cm ⁻² .h ⁻¹)
Toretos	TXAT=β ₀ +β ₁ .FPF + ε	β ₀	0,00512*	0,41	0,0003284
		β ₁	-0,32854*		
Direção axial do bloco	TXAT=β ₀ +β ₁ .FPF + ε	β ₀	0,00461*	0,13	0,0008201
		β ₁	-0,35839*		
Direção radial do bloco	TXAL=β ₀ +β ₁ .FPF + ε	β ₀	0,00863*	0,25	0,0010725
		β ₁	-0,72266*		
	TXAT=β ₀ +β ₁ .FPF + ε	β ₀	0,00245*	0,25	0,0003244
		β ₁	-0,21824*		
Direção tangencial do bloco	TXAL=β ₀ +β ₁ .FPF + ε	β ₀	0,00549*	0,11	0,0010959
		β ₁	-0,44712*		
	TXAT=β ₀ +β ₁ .FPF + ε	β ₀	0,00224*	0,40	0,0002331
		β ₁	-0,21764*		

R²: Coeficiente de determinação; S_{xy}: Desvio padrão residual; β₀: Coeficiente linear da equação; β₁: coeficiente angular da equação; ε: erro do modelo. TXAL: taxa de fluxo da água livre; TXAT: taxa de fluxo da água total; FPF: fração de parede da fibra; e^{ns}: Não significativo a 0,95 de probabilidade; e*: Significativo a 0,95 de probabilidade.

Nos resultados da Tabela 21, a fração de parede da fibra apresentou os ajustes com relação inversamente proporcional com a secagem total da madeira. A fração de parede da fibra não apresentou ajustes para a movimentação da água adsorvida (TXAA) na madeira dos toretes e dos blocos. A TXAL apresentou relação com a fração de parede da fibra apenas na direção radial e tangencial dos blocos. Quanto maior o valor da fração de parede da fibra maior será o espaço preenchido com os constituintes químicos desta e menor será o espaço para as moléculas de água. Com isso, maior será a dificuldade para a passagem da água líquida e gasosa e, também, a difusão da água na parede celular.

Conforme ajustes da Tabela 21, quanto maior a fração de parede da fibra menor será a secagem da madeira. Assim, a madeira do clone MN463 apresentou a menor fração de parede da fibra e, conseqüentemente, tende a possuir maiores taxas de fluxo da água quando comparada à madeira dos demais materiais genéticos (Tabela 8). A relação entre a fração de parede da fibra e a movimentação da água total na madeira dos toretes apresentou o maior R^2 seguido com valor muito próximo da madeira do bloco para o fluxo na direção tangencial, conforme ilustrados na Figura 24. Comportamento que é coerente, uma vez que quanto maior a fração de parede das fibras maior será a dificuldade da água movimentar na madeira, principalmente, nos estados líquidos e de vapor em razão do formato e estrutura das fibras que não facilitam o fluxo da água, diferente dos elementos vasculares que possuem placas de perfuração e pontuações com maiores diâmetros.

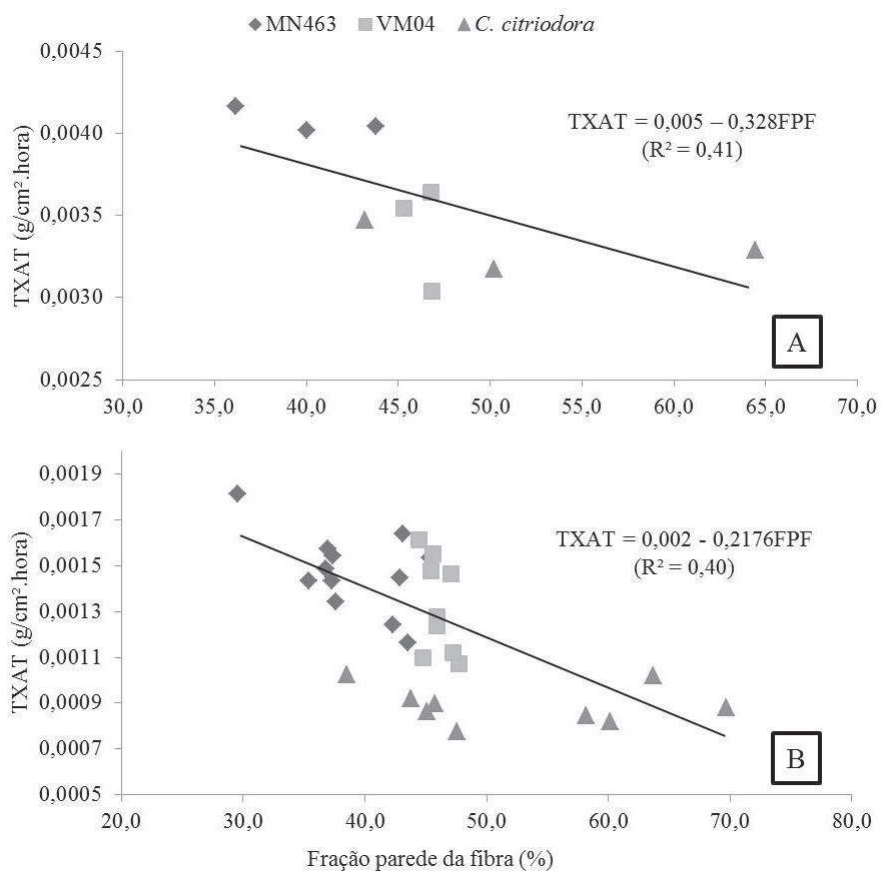


Figura 24 Relação entre a secagem total e a fração de parede da fibra da madeira dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*. A – secagem da madeira dos toretes; B – secagem da madeira dos blocos na direção tangencial

4.5.13 Fração de parede total

Na Tabela 22 estão apresentados os modelos de regressão com os três materiais genéticos juntos, cada um com as características anatômicas distintas e suas taxas de secagem em função da fração de parede total da madeira.

Tabela 22 Ajustes da taxa de secagem em função da fração de parede total da madeira dos toretes e das direções ortotrópicas dos blocos dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

Fluxo	Modelo	Coeficientes		R ²	S _{xy} (g.cm ⁻² .h ⁻¹)
Toretos	TXAT=β ₀ +β ₁ .FPT+ ε	β ₀	0,00503*	0,36	0,0003423
		β ₁	-0,35864*		
Direção Axial do Bloco	TXAT=β ₀ +β ₁ .FPT+ ε	β ₀	0,00490*	0,17	0,0007985
		β ₁	-0,49158*		
Direção Radial do Bloco	TXAL=β ₀ +β ₁ .FPT+ ε	β ₀	0,00853*	0,23	0,0010862
		β ₁	-0,81521*		
Direção Tangencial do Bloco	TXAA=β ₀ +β ₁ .FPT+ ε	β ₀	0,00059*	0,1	0,0001043
		β ₁	-0,04774*		
Direção Tangencial do Bloco	TXAT=β ₀ +β ₁ .FPT+ ε	β ₀	0,00255*	0,29	0,0003132
		β ₁	-0,28087*		
Direção Tangencial do Bloco	TXAT=β ₀ +β ₁ .FPT+ ε	β ₀	0,00228*	0,42	0,0002269
		β ₁	-0,02655*		

R²: Coeficiente de determinação; S_{xy}: Desvio padrão residual; β₀: Coeficiente linear da equação; β₁: coeficiente angular da equação; ε: erro do modelo. TXAL: taxa de fluxo da água livre; TXAT: taxa de fluxo da água total; FPT: fração de parede total; e^{ns}: Não significativo a 0,95 de probabilidade; e*: Significativo a 0,95 de probabilidade.

A fração de parede total, assim como ocorreu com a fração de parede da fibra, apresentou relação inversamente proporcional com a secagem total da madeira (Tabela 22). Resultado coerente com a literatura, uma vez que a fração de parede total está relacionada à porosidade da madeira, pois no seu cálculo considera a frequência dos poros, o diâmetro dos elementos de vasos e a fração de parede da fibra. A relação direta e positiva entre a porosidade da madeira e sua permeabilidade é relatada por Siau (1971). Assim, quanto maior a fração da parede total, menor será sua porosidade e, conseqüentemente, menor será a movimentação da água na madeira, coerente com o ajuste. Além disso, a

avaliação da fração de parede total é importante uma vez que contempla a distribuição dos poros e a dimensão dos elementos de vasos e em diversos trabalhos (SIAU, 1971; AHMED; CHUN, 2011; KEDROV, 2012; ENGELUND et al., 2013) são relatados que os elementos vasculares são a principal estrutura responsável pelo fluxo de líquidos nas folhosas.

Ainda, analisando a Tabela 22, da mesma forma que ocorreu nos ajustes da fração de parede da fibra, a fração de parede total, também, não apresentou ajustes com a movimentação da água adsorvida (TXAA) na madeira dos toretes e dos blocos e a TXAL apresentou relação apenas com a direção radial e tangencial dos blocos. A relação inversamente proporcional entre a fração de parede total e a movimentação da água total na madeira dos blocos para o fluxo na direção tangencial apresentou o maior R^2 seguido pela madeira dos toretes, conforme ilustrados na Figura 25. No caso dos materiais analisados, a madeira do clone MN463 apresentou a menor fração total (Tabela 8) e, conseqüentemente, tende a apresentar as maiores taxas de secagem total.

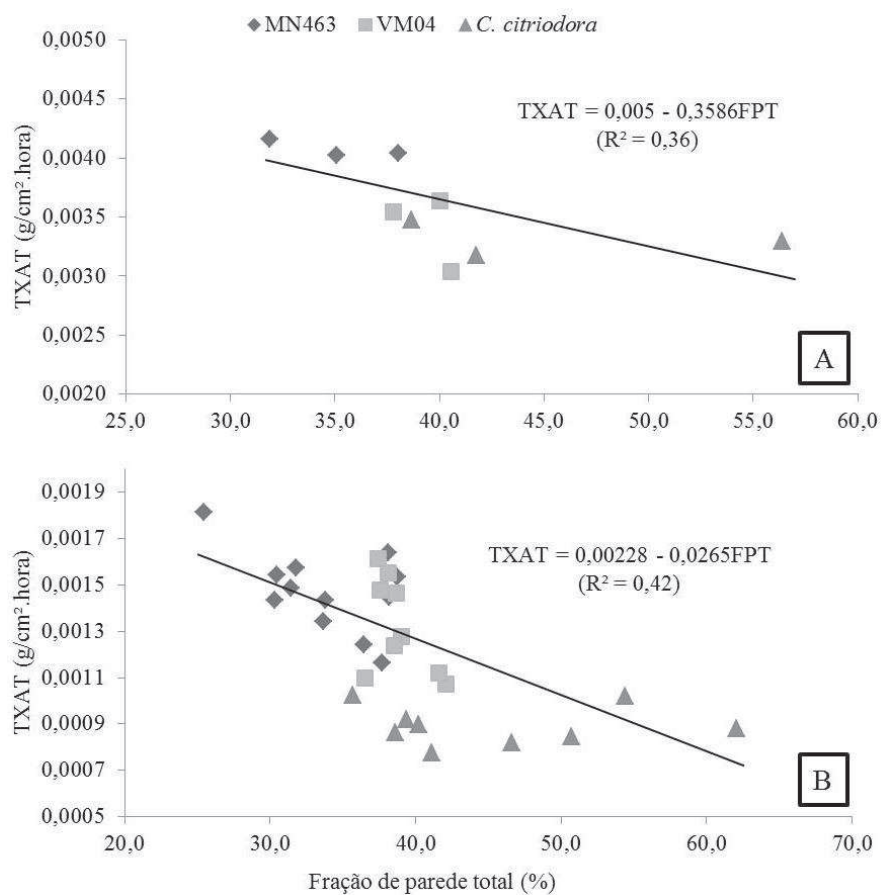


Figura 25 Relação entre a secagem total e a fração de parede total da madeira dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*. A – secagem da madeira dos toretes; B – secagem da madeira dos blocos na direção tangencial

4.5.14 Pontoação raio-vascular

Na Tabela 23 estão apresentados os modelos de regressão com os três materiais genéticos juntos, cada um com as características anatômicas distintas e suas taxas de secagem em função do diâmetro da pontoação raio-vascular da madeira.

Tabela 23 Ajustes da taxa de secagem em função do diâmetro da pontoação raio-vascular da madeira dos toretes e das direções ortotrópicas dos blocos dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

Fluxo	Modelo	Coeficientes		R ²	S _{xy} (g.cm ⁻² .h ⁻¹)
Toretos	TXAL=β ₀ +β ₁ .PRV+ ε	β ₀	0,00414*	0,46	0,0009746
		β ₁	0,00047*		
	TXAA=β ₀ +β ₁ .PRV+ ε	β ₀	0,00204*	0,35	0,0002235
		β ₁	-0,94011*		
Direção radial do bloco	TXAL=β ₀ +β ₁ .PRV+ ε	β ₀	0,00323*	0,22	0,0010271
		β ₁	0,00029*		
	TXAT=β ₀ +β ₁ .PRV+ ε	β ₀	0,00071*	0,31	0,0002774
		β ₁	0,00010*		
Direção tangencial do bloco	TXAL=β ₀ +β ₁ .PRV+ ε	β ₀	0,00159*	0,16	0,0011305
		β ₁	0,00027*		
	TXAT=β ₀ +β ₁ .PRV+ ε	β ₀	0,00052*	0,40	0,0002368
		β ₁	0,00010*		

R²: Coeficiente de determinação; S_{xy}: Desvio padrão residual; β₀: Coeficiente linear da equação; β₁: coeficiente angular da equação; ε: erro do modelo. TXAL: taxa de fluxo da água livre; TXAT: taxa de fluxo da água total; PRV: diâmetro da pontoação raio-vascular; ε^{ns}: Não significativo a 0,95 de probabilidade; ε*: Significativo a 0,95 de probabilidade.

Nos resultados da Tabela 23, o diâmetro da pontoação raio-vascular apresentou os ajustes com relação diretamente proporcional com o fluxo da água livre da madeira, exceto para a direção axial do bloco. Este fato ocorre em face da movimentação da água, principalmente, no estado líquido, por meio dos pares de pontoações raio-vasculares, pela diferença de gradiente de umidade e de tensão de capilaridade, conforme já discutido na relação entre o aumento do diâmetro do elemento de vaso e da altura do raio no aumento do fluxo da água. O diâmetro da pontoação raio-vascular apresentou relação inversamente

proporcional apenas com a dessorção da água (TXAA) na madeira dos toretes, mesmo comportamento que ocorreu nos ajustes entre o diâmetro e o comprimento do elemento vascular com a secagem dos toretes. Este ajuste, possivelmente, está relacionado à difusão da água na parede celular. As aberturas das pontoações servem como descontinuidade da parede celular, reduzindo a difusão da água e facilitando a passagem da água líquida e vapor, que movem, principalmente, na úmida acima do PSF.

Importante considerar que a pontoação raio-vascular ocorre entre uma célula de parênquima radial e outra de elemento de vaso. Porém, mesmo com os elementos vasculares como os principais responsáveis pela movimentação da água na direção axial (SIAU, 1971), não houve associação entre o diâmetro da pontoação raio-vascular da madeira dos blocos e o fluxo da água na direção axial (Tabela 23). Já, nas direções radial e tangencial, houve efeito significativo da TXAL e da TXAT com o diâmetro da pontoação raio-vascular, reforçando a importância destas pontoações nas células que realizam o transporte de água na direção transversal da madeira.

A importância das pontoações raio-vasculares na movimentação da água na madeira é relatada em diversos trabalhos (SIAU, 1971; KEDROV, 2012). Choat, Cobb e Jansen (2008), também, relatam que a condução dos fluidos na madeira sofre a influência da estrutura e do diâmetro das pontoações, no entanto, os autores não diferem os estados físicos da água.

O aumento do diâmetro das pontoações raio-vasculares tende a aumentar a movimentação da água livre e total. Assim, a madeira do clone VM04 apresentou os maiores valores para o diâmetro da pontoação raio-vascular e tende a secar mais rapidamente quando comparado aos demais materiais genéticos (Tabela 8). Os ajustes para o fluxo da água livre na madeira dos toretes apresentou o maior R^2 seguido do fluxo da água total da madeira do bloco para a direção tangencial, conforme ilustrado na Figura 26.

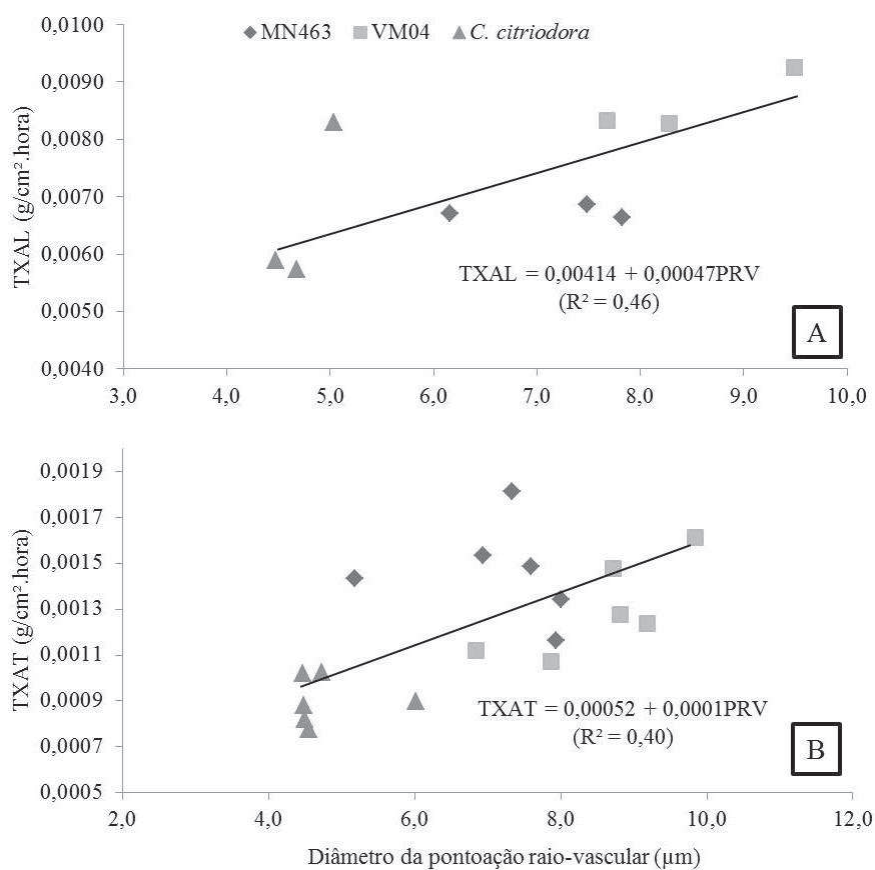


Figura 26 Relação entre a secagem e o diâmetro da pontoação raio-vascular da madeira dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*. A – saída da água livre da madeira dos toretes; B – secagem total da madeira dos blocos na direção tangencial

4.5.15 Pontoações intervasculares

Os modelos de regressão dos três materiais genéticos juntos, cada um com as características anatômicas distintas e suas taxas de secagem em função do diâmetro da pontoação intervascular dos blocos de madeira, não foram significativos, com base no test t student, 95% (ANEXO D). Por outro lado, o

diâmetro da pontoação intervascular apresentou associação significativa com a dessorção da água dos toretes (Tabela 24).

Tabela 24 Ajustes da taxa de secagem em função do diâmetro da pontoação intervascular da madeira dos toretes dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

Fluxo	Modelo	Coeficientes		R ²	S _{xy} (g.cm ⁻² .h ⁻¹)
Toretos	TXAA=β ₀ +β ₁ .PIV+ ε	β ₀	0,00166*	0,35	0,0002373
		β ₁	-0,00017*		

R²: Coeficiente de determinação; S_{xy}: Desvio padrão residual; β₀: Coeficiente linear da equação; β₁: coeficiente angular da equação; ε: erro do modelo. TXAA: taxa de fluxo da água adsorvida; PIV: diâmetro da pontoação intervascular; e^{ns}: Não significativo a 0,95 de probabilidade; e*: Significativo a 0,95 de probabilidade.

Nos resultados da Tabela 24, o aumento do diâmetro da pontoação intervascular tende a reduzir a movimentação da água adsorvida, possivelmente, em virtude da movimentação por difusão que ocorre nas paredes dos vasos, que, neste caso, quanto maior o diâmetro destas pontoações menor será a quantidade de parede celular e, conseqüentemente, menor será a difusão da água por meio dela. A relação inversamente proporcional entre o diâmetro da pontoação intervascular da madeira dos toretes e a movimentação da água adsorvida está ilustrada na Figura 27.

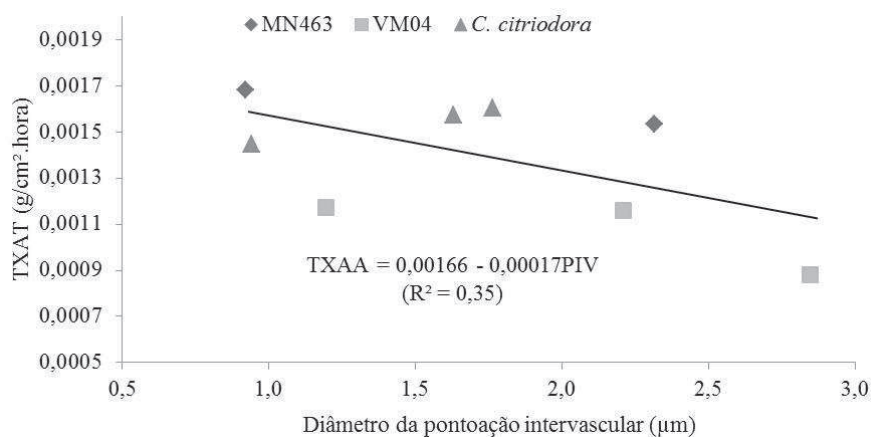


Figura 27 Relação entre a dessorção da água e o diâmetro da pontuação intervascular da madeira dos toretes dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

A madeira do *C. citriodora* apresentou os menores valores de diâmetro destas pontuações (Tabela 8) em comparação com a madeira dos clones de *E. urophylla*, tendendo a apresentar maior fluxo da água adsorvida. Este resultado possui relação com a maior permeabilidade aos gases e à passagem da água adsorvida na madeira. Assim, quando a madeira com baixo diâmetro da pontuação intervascular for exposta a condições de elevada temperatura e pressão, como, por exemplo, em um forno de carbonização, possivelmente, sua água fluirá com mais facilidade degradando menos sua madeira em decorrência das pressões geradas na saída desta água.

A importância das pontuações intervasculares da madeira no fluxo da água é relatada por Kedrov (2012) que apresenta como numerosas estas pontuações e que tendem a ficar achatadas nas suas áreas de contato para melhorar a penetração da água. O autor, também, relata que as paredes adjacentes das pontuações são claramente mais espessas do que em outros segmentos do elemento vascular, possivelmente, em razão do fato da água penetrar nas pontuações sob pressão.

4.6 Efeito do conjunto de características anatômicas e da densidade básica da madeira na movimentação da água

As características anatômicas e a densidade básica estão associadas ao fluxo da água livre e da água adsorvida na madeira. A densidade básica da madeira, provavelmente, é a característica utilizada com maior frequência nos programas de seleção de clones para melhoramento florestal, em consequência da facilidade em obter seu valor e sua alta correlação com as características anatômicas da madeira. Entretanto, existem questionamentos sobre o efeito do conjunto de características anatômicas sobre o fluxo da água nas direções ortotrópicas da madeira.

Na Tabela 25 estão apresentadas várias equações de regressão para a TXAL, TXAA e TXAT na direção axial em função das características anatômicas e densidade básica da madeira.

Tabela 25 Equações de regressão ajustadas para as taxas de fluxo da água na direção axial da madeira dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

Equações ajustadas	R ²	R ² _{ajust.}
1 TXAL = 5,794*** + 0,01436** CEV + ε	0,23	0,20
2 TXAA = -2,576** + 0,0071 ^{ns} DV + 0,0671* LR + 1,495* DB + 0,0012 ^{ns} CF + ε	0,50	0,42
3 TXAA = -0,290 ^{ns} + 0,062* LR + 0,728 ^{ns} DB + ε	0,16	0,10
4 TXAT = -2,26* + 0,019* DV + 0,125* DLF + 0,006 ^{ns} CR + 0,082 ^{ns} LR + ε	0,50	0,42
5 TXAT = -0,533 ^{ns} + 0,0221** DV + 0,1308** DLF + ε	0,40	0,35

CEV: comprimento do elemento de vaso; DV: diâmetro do elemento de vaso; LR: largura do raio; CR: altura do raio; CF: comprimento da fibra; DLF: diâmetro do lume da fibra; DB: densidade básica; ε: erro do modelo; *, **, ***: Significativos a 10%, 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t. ns: não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

A TXAL na direção axial, utilizando a técnica de “Seleção por Etapas”, foi influenciada, significativamente, pelo comprimento do elemento vascular, com R^2 ajustado igual a 0,20 (Tabela 25). Já na TXAA, a equação 2 foi significativa e apresentou R^2 ajustado igual a 0,42. No entanto, na equação 2, o diâmetro do elemento de vaso e o comprimento da fibra apresentaram relação significativa com a taxa de fluxo da água, mas não foram significativos na equação. Desta forma, uma nova equação foi ajustada (equação 3) retirando estas características e empregando apenas a largura do raio, que foi significativa com R^2 ajustado igual a 0,10, valor menor do que o ajustado da equação 2, permanecendo este ajuste como o melhor para a TXAA na direção axial. Neste modelo, tanto a largura do raio quanto a densidade básica apresentam relação direta e positiva com a movimentação da água adsorvida e foram significativas a 10%, no teste t.

Na TXAT, a equação 4 apresentou R^2 ajustado igual 0,42 com base no diâmetro do elemento de vaso, diâmetro do lume da fibra, comprimento e largura do raio (Tabela 25). Porém, tanto o comprimento quanto a largura do raio não foram significativos na equação. Retirando as características não significativas, a equação 5 foi ajustada e diferente do que ocorreu na TXAA, o R^2 ajustado foi próximo ao valor da equação 4, igual a 0,35 e tanto o diâmetro do elemento de vaso quanto o diâmetro do lume da fibra aumentaram sua contribuição na equação, sendo a equação 5 a que melhor representa a TXAT na direção axial. Estes resultados reforçam a contribuição de forma positiva do comprimento do elemento vascular, largura do raio, densidade básica, diâmetro do elemento de vaso e diâmetro do lume da fibra na saída da água na direção axial.

Da mesma forma, na Tabela 26 estão ajustadas as equações de regressão para as TXAL, TXAA e TXAT na direção radial em função das características anatômicas e densidade básica da madeira.

Tabela 26 Equações de regressão ajustadas para as taxas de fluxo da água na direção radial da madeira dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

Equações ajustadas	R ²	R ² ajustado
1 TXAL = 7,49*** - 0,042 ^{ns} FPF + 0,006 ^{ns} CEV - 3,50 ^{ns} DB + ε	0,40	0,33
2 TXAL = 5,65** + 0,0074* CEV - 4,61* DB + ε	0,33	0,28
3 TXAA = -0,5138** + 0,0014*** CEV + 0,0874* EPF + 0,3642* DB + ε	0,58	0,53
4 TXAT = 0,829* + 0,0033*** CEV - 1,421** DB + 0,027* LF + ε	0,68	0,64

CEV: comprimento do elemento de vaso; CF: comprimento da fibra; LF: largura da fibra; EPF: espessura da parede da fibra FPF: fração parede da fibra; DB: densidade básica; ε: erro do modelo; *, **, ***: Significativos a 10%, 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t. ns: Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

Os resultados da Tabela 26 apresentam para a TXAL, na direção do fluxo radial, utilizando a técnica de “Seleção por Etapas”, o ajuste da equação 1, em que foram utilizadas a fração de parede da fibra, o comprimento do elemento vascular e a densidade básica da madeira, sendo todas estas características na equação não significativas, porém com R² ajustado igual a 0,33. Após novo ajuste, a equação 2 foi obtida, com base no comprimento do elemento vascular e na densidade básica (efeito negativo), com R² ajustado igual a 0,28, com valor próximo ao da equação anterior e todas as características contribuindo de forma significativa na equação.

Na TXAA a equação 3apresentou contribuição significativa ao comprimento do elemento vascular, à espessura da parede da fibra e à densidade básica da madeira, sendo a primeira característica a que mais contribui no ajuste (Tabela 26). A equação ajustada para a TXAT na direção radial utilizou o comprimento do elemento vascular, a densidade básica e a largura da fibra com a significância na equação de 1%, 5% e 10%, pelo teste t, respectivamente. A equação 4 apresentou o maior R² ajustado na movimentação da água total da direção radial. Desta forma, para a movimentação da água na direção radial da madeira, o comprimento do elemento vascular, a espessura da parede das fibras

e a largura das fibras contribuíram de forma positiva e a densidade básica de forma negativa, exceto na TXAA.

Na Tabela 27 estão ajustadas várias equações de regressão para as TXAL, TXAA e TXAT para a direção tangencial em função das características anatômicas e densidade básica da madeira.

Tabela 27 Equações de regressão ajustadas para as taxas de fluxo da água na direção tangencial da madeira dos clones MN463 e VM04 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*

Equações ajustadas	R ²	R ² ajust.
1 TXAL = 12,77*** - 5,87** DB - 0,3412* FR - 0,0158 ^{ns} DV + ε	0,43	0,36
2 TXAL = 0,0099*** - 0,0053* DB - 0,0003* FR + ε	0,38	0,33
3 TXAA = - 0,399* + 0,0008* CEV + 0,018* LR + 0,011* LF + 0,340* DB + ε	0,40	0,30
4 TXAT = 1,93*** - 1,36*** DB - 0,0158** FPT + 0,0015* CEV + 0,0200 ^{ns} LR + ε	0,73	0,69
5 TXAT = 2,11*** - 1,45*** DB - 0,0135* FPT + 0,0015* CEV + ε	0,73	0,69

CEV: comprimento do elemento de vaso; DV: diâmetro do elemento de vaso; LR: largura do raio; FR: frequência de raio; LF: largura da fibra; FPT: fração parede total; DB: densidade básica; *, **, ***: Significativos a 10%, 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t. ns: Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

Na TXAL na direção do fluxo tangencial foi ajustada a equação 1, em que foram utilizadas a densidade básica, frequência de raios e diâmetro dos vasos, todas contribuindo de forma negativa na saída da água livre (Tabela 27). No ajuste, a densidade básica foi a característica que mais contribuiu na equação, seguida pela frequência dos raios e o diâmetro do elemento de vaso, este que não foi significativo na equação. Retirando o diâmetro do elemento de vaso, a equação 2 foi ajustada e apresentou R² ajustado próximo da equação 1, com valor igual a 0,33, sendo a equação indicada.

Na TXAA a equação 3 apresentou de forma significativa o comprimento do elemento vascular, a largura do raio, a largura da fibra e a densidade básica, todas com mesmo grau de contribuição na equação e R² ajustado igual a 0,30

(Tabela 27). No ajuste para a TXAT, na direção do fluxo tangencial, o modelo 4, com R^2 ajustado igual a 0,69 e a densidade básica, a fração de parede total, o comprimento do elemento vascular e a largura do raio, tendo a significância na equação igual a 1%, 5%, 10% e não significativo, respectivamente (Tabela 27). A equação 5 foi ajustada retirando a largura do raio e o R^2 ajustado permaneceu com o mesmo valor, sendo esta equação o melhor ajuste entre todas as amostras. A densidade básica apresentou a maior contribuição na equação, seguido pela fração de parede total e comprimento do elemento vascular com mesmo grau de contribuição na equação. A densidade básica e a fração de parede total afetaram negativamente na TXAT. Por conseguinte, a frequência dos raios, a fração de parede total e a densidade básica (exceto para TXAA) afetaram negativamente as taxas de fluxo das águas. Efeito oposto apresentaram o comprimento do elemento vascular, a largura do raio, a largura da fibra e a densidade básica (somente para a TXAA) no fluxo das águas.

5 CONCLUSÕES

Para a madeira do clone VM04 e MN463 de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora* pôde-se concluir que:

i) Fluxo de água na madeira dos toretes: de forma geral, foi observado que as taxas de fluxo da água livre (TXAL) foram superiores às taxas de fluxo da água total (TXAT) que, por sua vez, foram maiores do que as taxas de fluxo da água adsorvida (TXAA). A madeira do clone VM04 apresentou valor superior para a TXAL e inferior para a TXAA quando comparado aos demais materiais. Por outro lado, a madeira do clone MN463 apresentou a TXAT maior do que os demais materiais.

ii) Fluxo de água na madeira dos blocos: as taxas de fluxo da água foram superiores na direção axial, seguidas pela radial e, por último, pela tangencial. Conforme observado nas direções para a TXAL e TXAT, a madeira do *C. citriodora* diferiu da madeira dos clones MN463 e VM04 de *E. urophylla*, comportamento que não ocorreu com a TXAA. Estes resultados demonstram que a metodologia adotada para os estudos de fluxo da água foi satisfatória.

iii) Características anatômicas: de uma forma geral, os valores encontrados para as características anatômicas foram coerentes para as espécies analisadas. A dimensão dos elementos de vasos e dos raios apresentou tendências opostas com os valores das suas respectivas frequências.

iv) Efeito das características anatômicas e densidade básica da madeira na movimentação da água: a avaliação global dos resultados das taxas de fluxo da água na madeira dos toretes permite concluir que as características anatômicas que favoreceram a TXAL foram o diâmetro do elemento de vaso e o comprimento do elemento vascular, o comprimento da fibra e o diâmetro da pontuação raio-vascular. Por sua vez, a espessura da parede da fibra afetou negativamente o fluxo. A TXAA foi diretamente proporcional com a frequência

dos poros e inversamente proporcional com o diâmetro do elemento de vaso, comprimento do elemento vascular e diâmetro das pontoações. A TXAT diretamente proporcional com a altura do raio, diâmetro do lume e largura da fibra, sendo afetada negativamente pela fração de parede da fibra, fração de parede total e densidade básica. Alguns destes resultados apresentam aplicação industrial direta, principalmente, como indicadores na seleção de materiais genéticos, em função da permeabilidade acima e abaixo do PSF, como, por exemplo, para a secagem mais rápida no campo ou no interior do forno de carbonização e, também, para a facilidade no tratamento com preservantes e reagentes químicos na madeira.

v) Influência da direção ortotrópica da madeira no fluxo da água: o fluxo de água na direção axial foi diretamente proporcional ao diâmetro do elemento de vaso, comprimento do elemento vascular e comprimento da fibra. A largura do raio favoreceu a TXAA, enquanto a altura do raio, diâmetro do lume da fibra e largura da fibra favoreceram a TXAT. A movimentação da água total inversamente proporcional à fração de parede da fibra, fração de parede total, densidade básica e frequência dos vasos, esta última característica que, também, afetou a TXAA na direção axial. Por sua vez, a direção radial do fluxo da água foi favorecida pelo comprimento do elemento vascular, comprimento da fibra, diâmetro do lume da fibra e largura da fibra. O diâmetro do elemento de vaso beneficiou a TXAA e TXAT e o diâmetro da pontoação raio-vascular a TXAL e a TXAT. Por outro lado, a frequência de raios e a fração de parede total interferiram no fluxo da água. A frequência de poros, a fração parede da fibra e a densidade básica reduziram apenas a TXAL e TXAT na direção radial.

A direção tangencial do bloco teve a TXAL diretamente proporcional à altura do raio e o diâmetro da pontoação raio-vascular. O aumento da TXAA foi proporcional ao aumento do comprimento do elemento vascular, diâmetro do lume e largura da fibra e o aumento da TXAT com o aumento do diâmetro e

comprimento do elemento vascular, altura do raio, comprimento da fibra, diâmetro do lume da fibra, largura da fibra e diâmetro da pontoação raio-vascular. De forma inversamente proporcional, a frequência dos raios, a fração de parede da fibra e a densidade básica afetaram a TXAL e a TXAT. O aumento das características frequência de poros e fração de parede total reduziu a TXAT. Exceção para esta conclusão foi a espessura da parede da fibra e o diâmetro da pontoação intervascular que não apresentaram associação com o fluxo da água em nenhuma direção.

Uma conclusão geral para o efeito da anatomia da madeira no fluxo da água foi que o aumento das dimensões dos elementos de vasos, raios, fibras e pontoações raio-vasculares tendem a aumentar a movimentação da água enquanto o aumento da frequência dos poros e raios e, também, das características inerentes à parede celular tendem a diminuir a movimentação da água.

vi) Efeito do conjunto das características anatômicas e da densidade básica da madeira na movimentação da água: o método da “seleção por etapas” permitiu concluir que para o fluxo na direção axial da madeira, as características que contribuíram de forma positiva com as taxas foram, em ordem de importância, o comprimento do elemento vascular, o diâmetro do elemento de vaso, o diâmetro do lume da fibra e a largura do raio. Por sua vez, para a direção radial de fluxo, as características que mais influenciaram positivamente foram o comprimento do elemento vascular, a espessura da parede e a largura da fibra. A densidade básica foi direta e inversamente proporcional, de acordo com o tipo de água, se livre, adsorvida ou total. Para a direção tangencial de fluxo, as características que mais contribuíram com o aumento do fluxo da água foram o comprimento do elemento vascular, largura do raio e da fibra. Por outro lado, a densidade básica e a fração de parede total afetaram negativamente a movimentação da água.

Nas relações entre a movimentação da água e as características anatômicas e a densidade básica e, também, no método de “seleção por etapas”, o comprimento do elemento vascular foi diretamente proporcional com o fluxo da água livre, da água adsorvida e da água total da madeira. Dessa forma, o comprimento do elemento vascular merece destaque nos programas de melhoramento genético para a seleção de materiais com elevada movimentação da água.

REFERÊNCIAS

ADAMOPOULOS, S. et al. Mathematical approach for defining juvenile-mature wood transition zone in black locust and chestnut. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 43, n. 4, p. 1-7, Jan. 2011.

AHMED, S. A.; CHUN, S. K. Permeability of *Tectona grandis* L. as affected by wood structure. **Wood Science and Technology**, New York, v. 45, n. 3, p. 487-500, Aug. 2011.

ALENCAR, G. S. B.; BARRICHELO, L. E. G.; SILVA JÚNIOR, F. G. Qualidade da madeira de híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* e seleção precoce. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 35., 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2012. Brasília, 2013. 148 p.

AUMANN, C. A.; FORD, E. D. Simulation of effects of wood microstructure on water transport. **Tree Physiology**, Oxford, v. 26, n. 3, p. 285–301, Mar. 2006.

BADEL, E.; PERRÉ, P. Using a digital X-ray imaging device to measure the swelling coefficients of a group of wood cells. **NDT&E International**, v. 34, n. 5, p. 345-353, July 2001.

BARAÚNA, E. E. P. **Permeabilidade das madeiras de Amapá (*Brosimum parinarioides* Ducke) e Faveira (*Parkia gigantocarpa* Ducke)**. 2010. 69 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

BARBOSA, C. G. et al. Elaboração de programa de secagem para madeiras de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Revista Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 40-48, jan./jun. 2005.

BARNARD, D. M. et al. Do ray cells provide a pathway for radial water movement in the stems of conifer trees? **American Journal of Botany**, v. 100, n. 2, p. 322–331, Feb. 2013.

BELINI, U. L. et al. Caracterização da estrutura anatômica, densidade básica e morfologia de cavacos da madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de painéis mdf. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p.707-713, jul./ago. 2008.

BERLYN, G. P.; MIKSCHE, J. P. **Botanical microtechnique and cytochemistry**. Ames: The Iowa State University, 1976.

BRAMHALL, G. The validity of Darcy's law in the axial penetration of wood. **Wood Science and Technology**, New York, v. 5, n. 2, p. 121-134, June 1971.

BRAND, M. A. Storage as a tool to improve wood fuel quality. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, n. 7, p. 2581-2588, 2011.

CHOAT, B.; COBB, A. R.; JANSEN, S. Structure and function of bordered pits: new discoveries and impacts on whole-plant hydraulic function. **New Phytologist**, v. 177, n. 3, p. 608-626, Dec. 2008.

CINIGLIO, G. **Avaliação da Secagem de Madeira Serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. 1998. 73 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1998.

CRUZ, C. R.; LIMA, J. T.; MUNIZ, G. I. B. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 33-47, dez. 2003.

ENGELUND, E. T. et al. A critical discussion of the physics of wood-water interactions. **Wood Science and Technology**, New York, v. 47, p. 141-161, 2013.

ENGLAND, J.; ATTIWILL, P. M. Changes in sapwood permeability and anatomy with tree age and height in the broad-leaved evergreen species *Eucalyptus regnans*. **Tree Physiology**, Oxford, v. 27, n. 8, p. 1113-1124, Aug. 2007.

ESTEBAN, L. G. et al. **La madera y su anatomía**. Coedición, Fundación Conde del Valle de Salazar/Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 2003.

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, jun. 2010.

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

GALVÃO, A. P. M. Estimativas da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil. **IPEF**, Piracicaba, n. 11, p. 53-65, 1975.

GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A. J. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 339-344, mar./abr.2010.

HASELEIN, C. R. et al. Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12% de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da adubação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 147-152, 2002.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS COMMITTEE. List of microscope features for hardwood identification. **IAWA Bulletin New Serie**, Leiden, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.

JANKOWSKY, I. P.; SANTOS, G. R. V. Drying behavior and permeability of *Eucalyptus grandis* lumber. **Maderas, Ciencia y Tecnologia**, Concepción, v. 7, n. 1, p. 17-21, 2005.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw-Hill, 1940. 523 p.

KEDROV, G. B. Functioning wood. **Wulfenia**, Klagenfurt, v. 19, p. 57–95, 2012. KLITZKE, R. J.; BATISTA, D. C. Ensaio de taxa de secagem e escore de defeitos para a predição da qualidade de secagem convencional da madeira de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 85, p. 97-105, mar. 2010.

KOLLMANN, F. P.; CÔTÉ JR., W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1968. v. 1, 592 p.

KOLLMANN, F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1975. v. 2, 703 p.

LEMOS, A. L. F. et al. Madeira de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson sob aspectos físicos e anatômicos como fatores qualitativos. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 1, p. 1-8, jan./mar. 2012.

LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Estimativa da umidade de equilíbrio para madeiras em trinta e duas cidades do Estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 19, n. 2, p. 272-276, mar./abr. 1995.

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 Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

MELLADO, E. C. E. R. **Modelo de transferência de calor e massa na secagem de madeira serrada de *Pinus***. 2007. 155 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

MELO, L. E. L. **Influência da estrutura anatômica no consumo de energia específica de corte da madeira de *Eucalyptus* e *Corymbia***. 2013. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

MILOTA, M. R. et al. Gas permeability of plantation Loblolly pine. **Wood and Fiber Science**, Madison, v.27, n. 1, p.34-40, 1995.

MOUCHOT, N. et al. Characterization of diffusionnal transfers of bound water and water vapor in beech and spruce. **Maderas, Ciencia y Tecnología**, Concepción, v. 8, n. 3, p. 139-147, 2006.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B.; KLOCK, U. Caracterização anatômica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 67-76, 1998.

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

PERRÉ, P.; MAY, B. The existence of a first drying stage for potato proved by two independent methods. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, n. 4, p. 1134-1140, Feb. 2007.

PERTUZZATTI, A. et al. Influência do diâmetro das toras na secagem ao ar livre de *Eucalyptus globulus* Labill. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 04, n. 02, p. 191-201, nov. 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.

RAYIRATH, P.; AVRAMIDIS, S. Some aspects of western hemlock air permeability. **Maderas, Ciencia y Tecnología**, Concepción, v. 10, n. 3, p. 185-193, 2008.

REZENDE, R. N. et al. Secagem ao ar livre de toras de *Eucalyptus grandis* em Lavras, MG. **Cerne**, Lavras, v. 16, p. 33-40, jul. 2010.

ROCHA, F. T.; FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z. do. 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, jun. 2004.

ROUSSET, P. et al. Pressure effect on the quality of eucalyptus wood charcoal for the steel industry: A statistical analysis approach. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v. 92, n. 10, p. 1890-1897, Oct. 2011.

SANTOS, C. M. et al. A densidade básica e características anatômicas variam radialmente da madeira de *Astronium graveolens* Jacq. (Anacardiaceae). **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 191-201, dez. 2011.

SIAU, J. F. **Flow in wood**. Syracuse: Syracuse University, 1971. 131 p.

SILVA, J. C. et al. Influência da idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.31, n.6, p.1081-1090, nov./dez. 2007.

SILVA, M. R. **Determinação da permeabilidade em madeiras brasileiras de florestas plantadas**. 2007. 120 p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SILVA, M. R. et al. Permeability measurements of Brazilian *Eucalyptus*. **Materials Research**, São Carlos, v. 13, p. 281-286, 2010.

SILVA, M. R.; MACHADO, G. O.; CALIL JUNIOR, C. Permeability measurements of Brazilian *Pinus elliottii*. **Wood Research**, Bratislava, v. 53, n. 3, p.47-56, 2008.

SKAAR, C. **Water in wood**. Syracuse: Syracuse University, 1972. 218 p.

SPERRY, J. S.; HACKE, U. G.; PITTERMANN, J. Size and function in conifer tracheids and angiosperm vessels. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 93, n. 10, p. 1490-1500, 2006.

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

VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M.; VALENTE, O. F. Estimativa do teor de umidade de lenha para carvão em função do tempo de secagem. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.9, n.1, p.10-27, 1985.

ZANUNCIO, A. J. V. et al. Drying biomass for energy use of *Eucalyptus urophylla* and *Corymbia citriodora* logs. **Bioresources**, Raleigh, v. 8, n. 4, p. 5159-5168, 2013a.

ZANUNCIO, A. J. V. et al. Relação entre densidade e secagem de toras de *Eucalyptus*. In: XIV ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 14., 2014, Natal. **Anais...** Natal: UFRN, 2014. 14 CD-ROM.

ZANUNCIO, A. J. V. et al. Secagem de toras de *Eucalyptus* e *Corymbia* para uso energético. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 99, p. 353-360, set. 2013b.

ZOBEL, B. J.; JETT, J. B. **Genetics of wood production**. New York: Springer/Verlag, 1995. 337 p.

ANEXOS

ANEXO A - Resumo da análise de variância da taxa de fluxo de água livre (TXAL), taxa de fluxo de água adsorvida (TXAA) e taxa de fluxo de água total (TXT) nas direções de secagem axial, radial e tangencial da madeira das amostras em função do material genético, da posição radial de amostragem e para as suas interações

		Quadrado Médio								
Fonte de Variação	GL	Direção Axial			Direção Radial			Direção Tangencial		
		TXAL (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	TXAA (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	TXAT (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	TXAL (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	TXAA (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	TXAT (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	TXAL (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	TXAA (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	TXAT (g.cm ⁻² .h ⁻¹)
Material (M)	2	0,000008 **	4,1E+01 **	0,000004 **	0,000011 **	3,55E-01 ns	0,000001 **	0,000007 **	1,60E+00 **	8,87E+01 **
Pos. radial (P)	1	0,000003 **	8,3E+01 **	0,000005 **	2,07E+01 ns	1,52E+01 **	4,60E+01 **	0,000002 **	1,16E+01 **	1,43E+01 **
M x P	2	7,28E+01 ns	2,2E+01 **	1,69E+01 ns	2,25E+01 ns	1,02E-01 ns	8,03E+00 **	0,000002 **	6,53E-02 ns	2,32E+00 **
Erro	24	0,000002	9,9E+00	3,45E+01	8,87E+01	7,43E-01	5,49E+00	7,10E+01	6,80E-01	2,27E+00
Cve (%)		14,23	38,44	19,65	17,56	21,54	16,02	24,30	21,43	12,02

** significativo a 5% de significância pelo Teste de *Scott-Knott*; ns: não significativo a 5% de significância pelo Teste de *Scott-Knott*; Cve: coeficiente de variação experimental.

ANEXO B - Resumo da análise de variância para frequência de poros (FP), diâmetro dos vasos (Dv), comprimento dos elementos de vaso (CEV), frequência de raios (Fr), comprimento dos raios (Cr), largura dos raios (Lr), comprimento das fibras (CF), largura das fibras (LF), diâmetro do lume das fibras (DLF), espessura da parede das fibras (EPF), fração parede das fibras (FPF) e fração parede total(FPT) da madeira das amostras em função do material genético, da posição radial de amostragem e para as suas interações

Quadro Médio

FV	GL	Elementos de vaso				Raios				Fibras e parede celular					
		FP n°.mm ²	Dv (µm)	CEV (µm)	Fr n°.mm ⁻¹	Cr (µm)	Lr (µm)	CF (µm)	LF (µm)	DLF (µm)	EPF (µm)	FPF (%)	FPT (%)		
M	2	57,62	** 2065,0 0	** 13836, 50	6,36	** 5841,4 3	** 0,85	ns	61636,31	** 52,25	** 54,06	** 0,11	** 527,12	** 380,24	
P	1	33,51	** 2309,7 3	** 35967, 18	2,11	** 52,52	ns	** 5,70	128780,3 8	** 5,27	** 3,22	** 0,06	ns 2,06	ns 21,59	
M x P	2	0,52	ns 124,35	** 2539,8 9	2,09	** 893,54	** 3,02	ns	1894,11	ns 7,37	** 3,43	** 0,31	** 10,27	ns 15,69	
Erro	26	9,11	108,69	1652,6 4	1,29	1164,0 6	5,97		4821,12	5,93	4,74	0,13	44,56	31,05	
Cve (%)		19,41	9,67	13,87	8,72	16,52	20,98	7,62	15,71	24,80	10,72	14,95	14,51		

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; ** significativo a 5% de significância pelo Teste de *Scott-Knott*; ns: não significativo a 5% de significância pelo Teste de *Scott-Knott*; Cve: coeficiente de variação experimental.

ANEXO C - Correlações lineares de Pearson entre as variáveis taxas de fluxo das águas dos toretes com as características anatómicas e significância das correlações

Característica	TXAL (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	TXAA (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	TXAT (g.cm ⁻² .h ⁻¹)
% Cerne	0,38ns	-0,39ns	0,42ns
DB (g.cm ⁻³)	-0,32ns	0,21ns	-0,63*
FP (n°.mm ⁻²)	-0,43ns	0,77*	0,05ns
Dv (µm)	0,86*	-0,72*	-0,25ns
CEV (µm)	0,58*	-0,68*	0,07ns
Fr (n°.mm ⁻¹)	-0,28ns	0,48ns	-0,24ns
Cr (µm)	0,12ns	0,06ns	0,68*
Lr (µm)	-0,1ns	0,04ns	0,11ns
CF (µm)	0,76*	-0,44ns	0,03ns
LF (µm)	-0,41ns	0,42ns	0,74*
DLF (µm)	-0,23ns	0,40ns	0,74*
EPF (µm)	-0,80*	0,12ns	0,06ns
FPF (%)	-0,08ns	-0,25ns	-0,64*
FPT (%)	-0,2ns	-0,22ns	-0,6*
PIV (µm)	0,31ns	-0,59*	-0,48ns
PRV (µm)	0,68*	-0,59*	0,13ns

TXAL: taxa de fluxo da água livre; TXAA: taxa de fluxo da água adsorvida; TXAT: taxa de fluxo da água total; DB: densidade básica; FP: frequência de poros; DV: diâmetro do elemento de vaso; CEV: comprimento do elemento vascular; FR: frequência de raios; CR: altura do raio; LR: largura do raio; CF: comprimento da fibra; LF: largura da fibra; DLF: diâmetro do lume da fibra; EPF: espessura da parede da fibra; FPF: fração parede da fibra; FPT: fração parede total; PIV: diâmetro da pontuação intervacular; PRV: diâmetro da pontuação raio-vascular. *: influência significativa, com base no test t student, 95%; ns: não existiu influência significativa, com base no test t student, 95%.

ANEXO D - Correlações lineares de Pearson entre as variáveis taxas de fluxo das águas nas direções ortotrópicas da madeira dos blocos e as características anatômicas com a significância das correlações

Característica	Direção axial do fluxo da água			Direção radial do fluxo da água			Direção tangencial do fluxo da água		
	TXAL (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	TXAA (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	TXAT (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	TXAL (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	TXAA (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	TXAT (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	TXAL (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	TXAA (g.cm ⁻² .h ⁻¹)	TXAT (g.cm ⁻² .h ⁻¹)
DB (g.cm ⁻³)	-0,27ns	0,14ns	-0,53*	-0,45*	0,11ns	-0,59*	-0,60*	0,03ns	-0,66*
FP(n°.mm ⁻²)	-0,26ns	-0,35*	-0,35*	-0,41*	-0,3ns	-0,45*	-0,27ns	-0,13ns	-0,44*
DV (µm)	0,46*	0,49*	0,47*	0,23ns	0,48*	0,51*	0,04ns	0,2ns	0,42*
CEV (µm)	0,48*	0,36*	0,46*	0,47*	0,64*	0,71*	0,17ns	0,41*	0,59*
FR (N°.MM ⁻¹)	-0,04ns	-0,12ns	-0,19ns	-0,41*	-0,32*	-0,38*	-0,47*	-0,11ns	-0,34*
AR (µM)	0,15ns	0,03ns	0,39*	0,27ns	0,06ns	0,23ns	0,31*	0,01ns	0,39*
LR (µM)	-0,16ns	0,37*	0,17ns	-0,18ns	-0,07ns	-0,07ns	-0,1ns	0,28ns	0,04ns
CF (µM)	0,41*	0,41*	0,43*	0,43*	0,48*	0,53*	0,14ns	0,22ns	0,55*
LF (µM)	0,15ns	0ns	0,41*	0,36*	0,4*	0,48*	0,23ns	0,33*	0,52*
DLF (µM)	0,19ns	-0,01ns	0,43*	0,42*	0,36*	0,51*	0,27ns	0,32*	0,6*
EPF (µM)	-0,13ns	0,01ns	0,06ns	-0,16ns	0,24ns	0,01ns	-0,06ns	0,14ns	-0,14ns
FPF (%)	-0,21ns	0,03ns	-0,36*	-0,5*	-0,24ns	-0,5*	-0,33*	-0,15ns	-0,63*
FPT (%)	-0,29ns	-0,03ns	-0,41*	-0,48*	-0,31*	-0,54*	-0,29ns	-0,19ns	-0,65*
PIV (µM)	0,41ns	-0,01ns	0,15ns	0,46ns	-0,33ns	0,29ns	0,44ns	-0,19ns	0,36ns
PRV (µM)	0,29ns	0,05ns	0,27ns	0,47*	0ns	0,56*	0,4*	-0,03ns	0,63*

TXAL: taxa de fluxo da água livre; TXAA: taxa de fluxo da água adsorvida; TXAT: taxa de fluxo da água total; FP: frequência de poros; DV: diâmetro do elemento de vaso; CEV: comprimento do elemento vascular; FR: frequência de raios; AR: altura do raio; LR: largura do raio; CF: comprimento da fibra; LF: largura da fibra; DLF: diâmetro do lume da fibra; EPF: espessura da parede da fibra; FPF: fração parede da fibra; FPT: fração parede total; PIV: diâmetro da pontuação intervacular; PRV: diâmetro da pontuação raio-vascular. *: influência significativa, com base no test t student, 95%; ns: não existiu influência significativa, com base no test t student, 95%.