

Qualidade da madeira de eucalipto para aplicação como mourão tratado

Quality of eucalyptus wood for application as treated fence posts

Pedro Augusto Fonseca Lima*, Jorge Demarchi, Macksuel Fernandes da Silva, Mariana Dianese Alves de Moraes, Diego José Caldas e Carlos Roberto Sette Júnior

Departamento de Engenharia Florestal. UFG – Universidade Federal de Goiás. Rodovia Goiânia – Nova Veneza, km 0 – Campus Samambaia – Caixa Postal 131 – 74690-900 – Goiânia, GO, Brasil

(*Email: pedrofons@gmail.com)

<https://doi.org/10.19084/rca.17179>

Recebido/recieved: 2018.08.24

Aceite/accepted: 2018.12.26

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar as características anatômicas e físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (*E. urograndis*) visando sua aplicação como mourão tratado. Foram selecionadas dez árvores de plantação florestal com 7 anos, cortadas e seccionados discos e toras de madeira em diferentes alturas fixas do tronco, da base até a altura total, a cada 3m, para a determinação das características físicas (densidade básica e porcentagem de rachaduras), dimensões das fibras (comprimento, espessura da parede, diâmetro do lume e largura total) e dos vasos (diâmetro tangencial, frequência e porcentagem de área ocupada), relação cerne/alburno e propriedades mecânicas na flexão estática (MOR e MOE). A madeira do *E. grandis* x *E. urophylla*, aos 7 anos, apresenta características anatômicas e físico-mecânicas que indicam a sua utilização em processos de tratamento preservativo para aplicações das peças como mourões.

Palavras-chave: Características anatômico-físico-mecânicas; *E. urograndis*, Tratamento preservativo da madeira.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the anatomical and physico-mechanical characteristics of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (*E. urograndis*) wood for its application as treated fence posts. Ten trees of forest plantation with seven-year-old were cut and sectioned wood discs and logs at different fixed heights of the trunk, every 3m, to determine the physical (wood basic density, percentage of cracks), fiber dimensions (length, wall thickness, lumen diameter and total width), vessels (tangential diameter, frequency and area), heartwood/sapwood ratio and mechanical properties (MOR and MOE). The wood of *E. grandis* x *E. urophylla*, at seven-year-old, presents anatomical and physico-mechanical characteristics that indicate its use in processes of preservative treatment for fence posts applications.

Keywords: Anatomical-physical-mechanical characteristics; *E. urograndis*; Wood preservative treatment.

INTRODUÇÃO

O *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* é o híbrido mais plantado no Brasil, desempenhando diferentes funções para o mercado energético e produção de papel/celulose, apresentando alguns clones como o AEC 0144, AEC 0224 e o GG100 (Santarosa *et al.*, 2014). No entanto, a madeira de alguns clones, como o GG100, desenvolvida para

aplicações energéticas podem e são utilizadas para outras finalizadas, como para mourões tratados (Freitas *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2018).

Os mourões podem ser definidos como peças de madeira geralmente do tronco das árvores, que devem ser de fácil manuseio e possuir resistência mecânica e a agentes degradadores (Bolin e Smith,

2011). No entanto, a baixa resistência natural que a madeira das espécies do gênero eucalipto e seus clones possuem em relação a outras espécies, principalmente nativas (Vidal *et al.*, 2015), aliado ao seu uso na forma de mourão em contato com solo, podem significar problemas no momento da utilização (Galvão *et al.*, 2004; Forest Products Laboratory, 2010; Vidal *et al.*, 2015).

Nesse sentido, o tratamento de mourões de eucalipto torna-se uma etapa fundamental para seu uso correto a fim de inibir a ação de agentes degradadores, conferindo maior resistência à madeira (Vidal *et al.*, 2015; González-Loredo *et al.*, 2015) e a sua caracterização, pela avaliação das características anatômicas e físico-mecânicas é fundamental para garantir a aptidão das espécies, híbridos e clones para o tratamento preservativo (Kiaei *et al.*, 2013; Brito *et al.*, 2016; Pereira *et al.*, 2016; Salvo *et al.*, 2017).

Alguns trabalhos científicos evidenciam a importância da análise anatômica de fibras e vasos em eucalipto, assim como da densidade, relação de cerne e alburno, presenças de fendas e rachaduras e do MOR e MOE pela flexão estática como parâmetros qualitativos para madeira de eucalipto visando o tratamento preservativo (Pereira *et al.*, 2013; Freitas *et al.*, 2015; Pereira *et al.*, 2016; Hsing *et al.*, 2016; Brito *et al.*, 2016; Costa *et al.*, 2017).

Nesse contexto, a caracterização da madeira do eucalipto torna-se essencial em vista do seu amplo uso no Brasil, permitindo a definição de usos específicos e adequados. O presente trabalho teve como objetivo avaliar as características anatômicas e físico-mecânicas da madeira de *E. grandis* x *E. urophylla*, clone GG 100, visando a sua aplicação como mourão tratado.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de estudo

A avaliação das características da madeira foi realizada em árvores de *E. grandis* x *E. urophylla*, clone GG 100 e popularmente conhecido como *E. urograndis* de plantação florestal com 7 anos, localizada no município de Nerópolis, estado de Goiás, Brasil (coordenadas geográficas 16°18'28.85"S e

49°13'3.80"W), com 852 m de altitude. O clima da região é do tipo Aw, segundo Köppen, com verão úmido e chuvoso (outubro a abril); e inverno seco (maio a setembro), com precipitação média anual de 1432 mm e temperatura média de 20,4°C e 24,4°C nos meses mais frios e mais quentes, respectivamente.

Corte das árvores, coleta e preparo das amostras

Foram selecionadas de forma aleatória dez árvores pertencentes a classe de diâmetro a altura do peito (DAP) média da plantação. As árvores de eucalipto foram cortadas e desramadas, sendo seccionados dois discos (5 cm de espessura cada) e uma tora (2,2 metros de comprimento) de madeira em diferentes alturas fixas do tronco da base até a altura total, a cada 3 m (base, 3, 6, 9, 12 e 15m), para determinação das características físicas (densidade básica e porcentagem de rachaduras/fendas), dimensões das fibras (comprimento, espessura da parede, diâmetro do lume e largura total), vasos (diâmetro tangencial, frequência e porcentagem de área ocupada), relação de cerne e alburno e propriedades mecânicas na flexão estática (MOR e MOE).

Características físicas da madeira: densidade básica e porcentagem de rachaduras e fendas

Discos de madeira coletados nas diferentes posições longitudinais foram imersos em água até a saturação completa para posterior determinação dos pesos úmidos e imersos, colocados em estufa a 103°C e obtidos os pesos secos para determinação da densidade básica da madeira, pelo método da balança hidrostática – NBR 11941 (ABNT, 2003).

As toras de madeira coletadas das árvores ficaram secando ao ar livre até atingirem a umidade de equilíbrio higroscópico, sendo então medidos os comprimentos das rachaduras no topo e na base, as fendas no topo/base e ao longo das toras com auxílio de uma trena (cm) e das aberturas de cada rachadura ou fenda, através de um paquímetro com precisão de 0,01 mm, conforme classificação da NBR 9480 (ABNT, 2009). A porcentagem de rachadura e fendas foi determinada pela proporção que a abertura ou comprimento possui no total da tora, conforme sugerido por Brito *et al.* (2016).

Características anatômicas da madeira: dimensões das fibras, vasos e relação cerne/alburno

Nos discos seccionados nas diferentes posições longitudinais do tronco, foram demarcados e cortados corpos-de-prova em três posições radiais, na direção medula-casca (0, 50 e 100% do raio), para o corte de seções transversais em micrótomo de deslize e para obtenção de material maceado pelo método de Franklin (Johansen, 1940). Dos cortes histológicos e da suspensão de fibras foram preparadas lâminas histológicas temporárias, coletando-se imagens sob microscopia de luz em ampliações de 40 e 400x para a mensuração das dimensões das fibras e dos vasos através de programa de análise de imagem Image Pro-Plus, atendendo às normas da IAWA (IAWA Committee, 1989).

A relação de cerne/alburno foi obtida conforme metodologia proposta por Pereira *et al.* (2013): foram realizados os polimentos dos discos e em seguida delimitada a região limite de cerne e alburno com auxílio de um estereomicroscópio com 10-20x de ampliação. De uma extremidade a outra dos discos de madeira, foram traçadas duas retas perpendiculares, passando pelo centro (medula), sendo aferidos o diâmetro total do disco e do cerne, com auxílio de um paquímetro digital.

Propriedades mecânicas da madeira: módulo de elasticidade e de ruptura na flexão estática

Para a realização dos ensaios mecânicos na flexão estática, as toras de madeira foram desdobradas e preparados corpos de prova nas dimensões 2 x 2 x 30 cm (radial, tangencial e longitudinal), conforme preconizado pela Comissão Panamericana de Normas Técnicas – 30:1-006 (COPANT, 1971). Os corpos de prova foram acondicionados em câmara climática para atingirem 12% de teor de umidade e submetidos, na sequência, ao ensaio mecânico em máquina universal de ensaios com capacidade máxima de carga de 500 kgf, com velocidade de 1 mm.min⁻¹, conforme sugerido por Melo e Del Meneze (2016).

A determinação do módulo de elasticidade (MOE) foi a partir da Equação 1 (Zeidler *et al.*, 2018).

$$MOE = \frac{FLP \times L^3}{4 \times f \times b \times h^3} \quad (1)$$

Onde: MOE = módulo de elasticidade; FLP = carga limite proporcional (N); L = vão livre (mm); f = deformação (mm); b = largura radial (mm); eh = altura tangencial (mm).

A determinação do módulo de ruptura (MOR) à flexão estática foi determinada a partir da Equação 2 (Zeidler *et al.*, 2008):

$$MOR = \frac{3 \times F_{m\acute{a}x} \times L}{2 \times b \times h^2} \quad (2)$$

Onde: MOR = módulo de ruptura; F_{máx} = carga no limite proporcional (N); L = vão livre (mm); b = largura radial (mm); eh = altura tangencial (mm).

Análises estatísticas

Na análise estatística dos resultados foram excluídos os *outliers* e aferidos a distribuição dos dados e a heterogeneidade da variância. Foram determinadas a média aritmética e os valores mínimos e máximos observados para cada árvore amostrada, além do desvio padrão e do coeficiente de variação para a caracterização da espécie. A análise de variância (ANOVA) foi aplicada para aferir o efeito das posições radiais e longitudinais do tronco e sua interação. Também foram realizadas análises de regressão linear e polinomial para a definição dos modelos de variação longitudinal das variáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características físicas da madeira: densidade básica

A densidade básica média da madeira foi de 0,560 g.cm⁻³ (Quadro 1), estando dentro da faixa de valores encontrados na literatura para o *E. urograndis* (Santos *et al.*, 2011; Carneiro *et al.*, 2014) e para clones de *E. grandis* e *E. urophylla* (Trugilho *et al.*, 2001; Pereira *et al.*, 2016) com 7 anos de idade. O valor médio observado para a densidade básica da madeira do *E. urograndis*, com 7 anos, está dentro do recomendado pela NBR 9480 (ABNT,

2009) que estabelece densidade básica da madeira maior ou igual a 0,540 g.cm⁻³ para a utilização da madeira como mourão. Desta forma, a madeira do *E. urograndis* está apta, considerando a variável densidade básica, para aplicações como mourões de cerca.

Quadro 1 - Densidade básica da madeira do *E. urograndis*

| Parâmetros | Densidade básica (g.cm ⁻³) |
|--------------------------|--|
| Média | 0,560 |
| Máxima | 0,593 |
| Mínima | 0,508 |
| Desvio Padrão | 0,027 |
| Coefficiente de Variação | 4,791 |

Características físicas da madeira: porcentagem de rachaduras e fendas

Foram observadas rachaduras e fendas de base/topo em todas toras; e em apenas uma demonstrou fendas ao longo do corpo (Quadro 2). Os valores de rachaduras e fendas na base e ao longo da tora estão similares ao encontrado por outros trabalhos para o eucalipto, como os de Haselein *et al.* (2004) e Brito *et al.* (2016).

A admissibilidade da presença de rachaduras e fendas para a utilização da madeira na forma de mourão foi estabelecida a partir da NBR 9480 (ABNT, 2009). De acordo com a norma é admitida a existência de fendas variando de 200 a 300 mm de comprimento e 5 mm de abertura na base/topo; e 500 mm de comprimento e 5 mm de abertura ao longo do corpo. As rachaduras devem possuir uma

abertura inferior a 10% de diâmetro quando limitadas por um ângulo de até 90° e 5% de diâmetro acima de 90°. Foi possível determinar que as toras do *E. urograndis* deste estudo, no que se refere ao índice de rachaduras, estão aptas para a utilização como mourão, estando abaixo do mínimo exigido pela NBR 9480 (ABNT, 2009).

Características anatômicas: dimensões das fibras

A madeira do *E. urograndis* apresentou dimensões médias de fibras (Quadro 3) dentro do esperado conforme verificado por Gonçalves *et al.* (2014) para clones de *E. urograndis* aos 7 anos de idade.

De acordo com Santini (1988), as fibras da madeira podem auxiliar os elementos de vaso na difusão do produto preservativo durante o tratamento das peças de madeira, sendo fundamental a sua caracterização.

Em relação ao comprimento das fibras, nas diferentes posições longitudinais, foi observada diferença significativa entre elas traduzidas por uma tendência de decréscimo do comprimento das fibras da base para o topo (Figura 1A). O menor valor encontrado para o diâmetro do lume foi de 6,67 µm na posição topo, sendo que as demais posições não apresentaram diferenças significativas (Figura 1B). A espessura da parede da fibra foi diferente nas posições longitudinais, apresentando maiores valores no topo (4,69 µm) e menores na posição de 6m (3,93 µm) (Figura 1C). A largura das fibras não apresentou diferença significativa entre as posições (Figura 1D).

Quadro 2 - Abertura e comprimento de rachaduras e de fendas na base/topo e no corpo das toras de *E. urograndis*

| Parâmetros | Dm | | Ab | | Cr | | Cf | | Af | | Cf | | Af | | | |
|--------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|--|--|--|
| | base /topo | | | | | | | | | | | | corpo | | | |
| | cm | mm | % | mm | % | mm | % | mm | % | mm | % | mm | % | | | |
| Média | 11,84 | 1,33 | 1,17 | 45,10 | 1,53 | 157,99 | 5,57 | 3,21 | 2,86 | 84,00 | 2,88 | 1,40 | 1,35 | | | |
| Máxima | 15,40 | 2,07 | 1,85 | 53,20 | 1,81 | 190,85 | 6,79 | 3,82 | 3,77 | - | - | - | - | | | |
| Mínima | 9,20 | 1,07 | 0,85 | 39,30 | 1,33 | 130,75 | 4,56 | 2,28 | 2,22 | - | - | - | - | | | |
| Desvio Padrão | 2,36 | 0,42 | 0,41 | 5,16 | 0,18 | 27,34 | 1,01 | 0,59 | 0,71 | - | - | - | - | | | |
| Coefficiente de Variação | 19,97 | 31,76 | 35,06 | 11,45 | 11,67 | 17,30 | 18,21 | 18,25 | 24,77 | - | - | - | - | | | |

Onde: Dm = diâmetro do mourão; Ab = abertura de rachadura; Cr = comprimento de rachadura; Cf = comprimento de fenda; Af = abertura de fenda;

Quadro 3 - Comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras

| Parâmetros | Comprimento (μm) | Largura (μm) | Diâmetro do Lume (μm) | Espessura (μm) |
|--------------------------|----------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| Média | 897,19 | 16,24 | 7,51 | 4,44 |
| Máxima | 922,85 | 16,55 | 8,12 | 4,78 |
| Mínima | 857,24 | 15,91 | 7,01 | 4,36 |
| Desvio Padrão | 30,28 | 0,28 | 0,54 | 0,36 |
| Coefficiente de Variação | 3,38 | 1,75 | 7,13 | 8,18 |

A tendência encontrada para o comprimento, espessura da parede, largura e diâmetro do lume das fibras, no sentido base-topo, estão similares ao encontrado por Gonzalez *et al.* (2014), para o *E. urograndis* aos 8 anos de idade e por Rocha *et al.* (2004) para o *E. grandis* aos 7 anos.

Com relação às variações das dimensões médias das fibras no sentido radial, foi possível verificar

efeito significativo para a largura, diâmetro do lume e espessura da parede. O comprimento e a espessura da parede das fibras aumentaram da medula em direção à casca (Figura 2 A e C). Para a largura, verificou-se que as fibras próximas a medula apresentaram menores valores (14,66 – 16,11 μm), seguida de aumento na região intermediária e queda na região próxima a casca (16,24 – 16,38 μm) (Figura 2B) e o diâmetro do lume apresentou decréscimo da medula à casca, de 7,92 – 8,87 μm para 4,79 – 6,69 μm (Figura 2D).

Menores comprimentos médios das fibras próximo a região da medula e maiores próxima a casca também foram encontrados por outros autores para o *E. grandis* (Rocha *et al.*, 2004) e para *E. dunnii* (Florsheim *et al.*, 2009) com sete anos. A espessura da parede demonstrou tendência similar na literatura para o *E. urograndis* aos 6,8 anos (Quilhó *et al.*, 2006).

Quanto à largura, a tendência encontrada de acréscimo da medula em direção a posição intermediária,

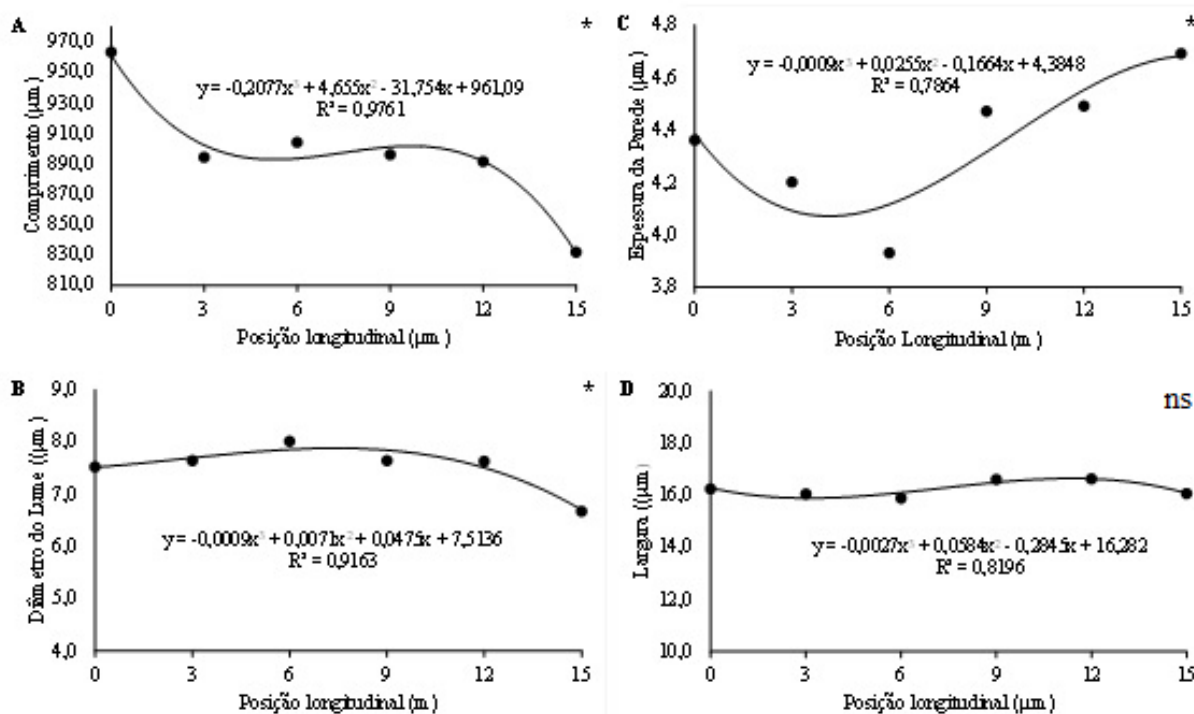


Figura 1 - Dimensões das fibras no sentido longitudinal do tronco. Comprimento (A), diâmetro do lume (B), espessura da parede (C) e largura (D). efeito *significativo e ^{ns} não significativo da posição longitudinal ($p < 0,05$).

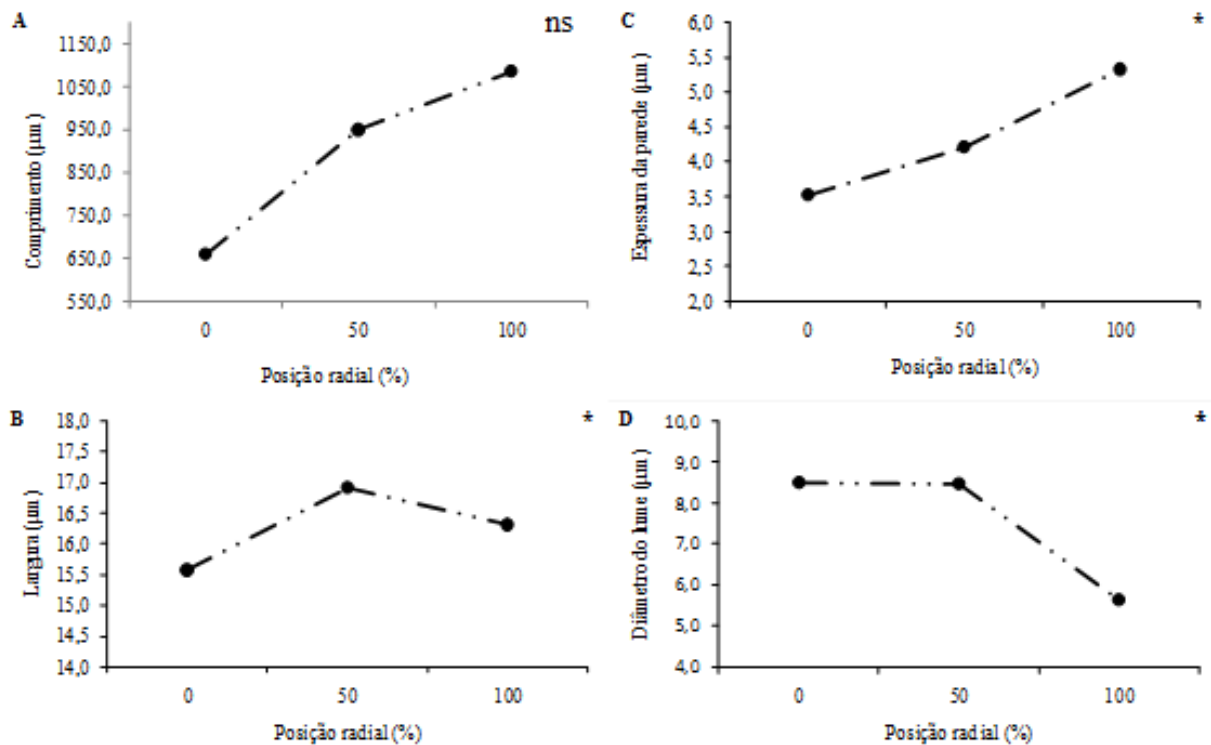


Figura 2 - Dimensões das fibras no sentido radial do tronco. Comprimento (A), largura (B), espessura da parede (C) e diâmetro do lume (D). *efeito significativo da posição radial ($p < 0,05$).

seguida de decréscimo, foram encontradas em algumas árvores de *E. urograndis* por Quilhó *et al.* (2006) aos 6,8 anos. Apesar de maiores valores de diâmetro do lume serem encontradas próxima a região da medula, outros estudos (Florsheim *et al.*, 2009) sugerem uma menor variação do lume no sentido medula-casca. A estabilização das dimensões das fibras, em inúmeras espécies de eucalipto, somente irá ocorrer quando as células do câmbio atingirem comprimento máximo, iniciando a formação da madeira adulta (Sette Jr. *et al.*, 2012).

Características anatômicas: dimensões e frequência dos vasos

As médias encontradas para a porcentagem de área ocupada, diâmetro tangencial e frequência dos vasos para o *E. urograndis* (Quadro 4) estão similares ao encontrado em outros estudos com *E. grandis* e *E. urophylla* aos 7,5 anos (Pereira *et al.*, 2016) e para diversos clones de *E. urograndis* aos sete anos (Zanuncio *et al.*, 2016).

As dimensões dos vasos nas posições longitudinais do tronco das árvores de eucalipto (Figura 3) apresentaram variações e diferenças significativas. O modelo de variação longitudinal foi crescente da base para o topo para o diâmetro tangencial e decrescente para a frequência dos vasos. Este modelo também já foi relatado por outros estudos para espécies de eucalipto como os de Rocha *et al.* (2004) para o *E. grandis* e Florsheim *et al.* (2009) para *E. dunnii*, ambos aos sete anos.

Quadro 4 - Área ocupada, diâmetro e frequência de vasos

| Parâmetros | Área ocupada | Diâmetro | Frequência |
|--------------------------|--------------|----------|------------|
| | (%) | (µm) | (nº/mm²) |
| Média | 52,83 | 126,73 | 14,91 |
| Máxima | 53,36 | 129,03 | 15,54 |
| Mínima | 52,35 | 123,63 | 13,86 |
| Desvio Padrão | 0,47 | 2,52 | 0,77 |
| Coefficiente de Variação | 0,90 | 1,99 | 5,14 |

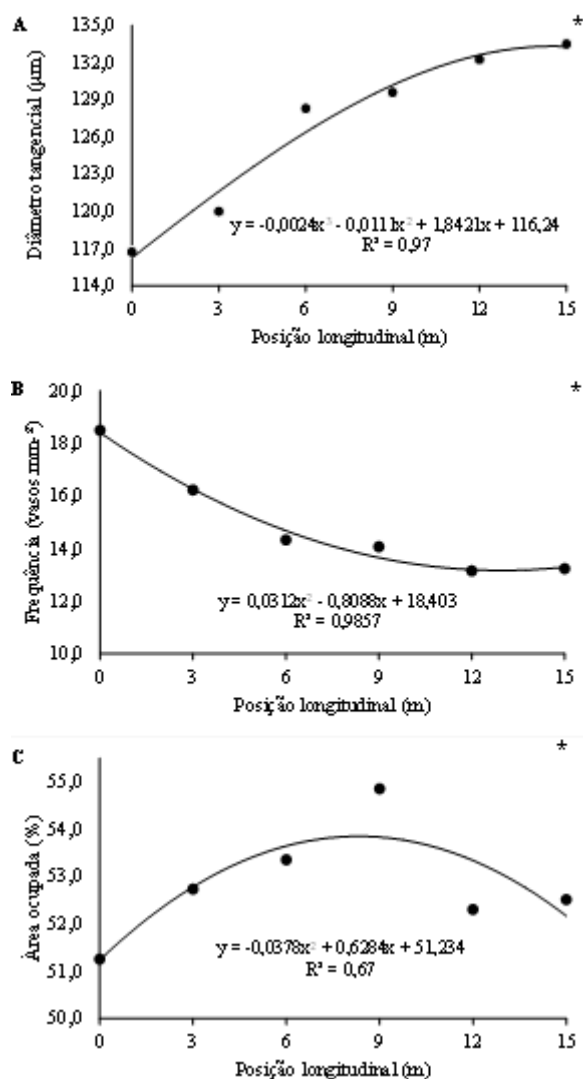


Figura 3 - Dimensões dos vasos no sentido longitudinal do tronco. Diâmetro tangencial (A), Frequência (B), % de área ocupada (C). * efeito significativo da posição longitudinal ($p < 0,05$).

Nota-se que maior diâmetro tangencial encontra-se no topo do tronco das árvores e está comumente relacionado à menor frequência na mesma posição. Neste caso, pode-se afirmar que as dimensões dos elementos celulares tendem à estabilização na madeira adulta (Tomazello Filho *et al.*, 1985), mostrando a presença de madeira juvenil nas árvores do *E. urograndis* do presente estudo, com 7 anos, principalmente nas regiões intermediárias do tronco e em direção ao topo das árvores.

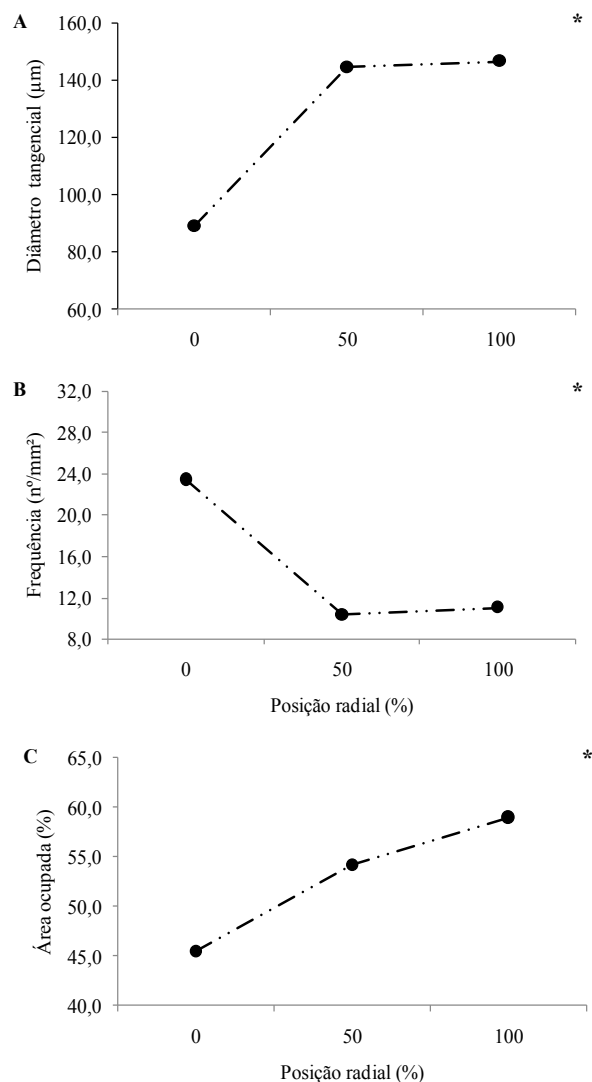


Figura 4 - Dimensões dos vasos no sentido radial do tronco. Diâmetro tangencial (A), frequência (B) e % de área ocupada (C). *efeito significativo da posição radial ($p < 0,05$).

Os resultados das dimensões dos vasos nas posições radiais (0, 50 e 100%) do *E. urograndis* (Figura 4) demonstraram aumento do diâmetro tangencial (83,83 – 93,52 µm para 142,93 – 150,36 µm) e da área ocupada (43,58 – 49,47 µm para 56,31 – 61,01 µm) e redução da frequência dos vasos, no sentido medula-casca, de 20,63 – 24,81 vasos. mm⁻² para 10,86 – 11,70 vasos.mm⁻². As alterações e variações observadas na madeira do *E. urograndis* podem ser interpretadas pela necessidade das plantas de aumentarem sua capacidade

de transporte de água e sais minerais à medida que se processam o seu crescimento e o conseqüente aumento de suas dimensões, conforme a necessidade (Tomazello Filho, 1987) e indicam, da mesma forma, a formação de madeira juvenil no tronco das árvores até a presente idade.

A tendência de variação radial do diâmetro, frequência e área ocupada dos vasos na madeira das árvores de eucalipto podem ser consideradas como padrão para o *E. urograndis* aos sete anos de idade (Zanuncio *et al.*, 2016). Deve ser salientado a importância dos vasos na madeira das árvores de eucalipto, pois de acordo com Boschetti *et al.* (2015), os vasos influenciam diretamente nos processos de transporte de seiva mineral, além de poder afetar nas propriedades de utilização da madeira (Sette Jr. *et al.*, 2012), bem como na penetração e homogeneidade de soluções preservativas para o tratamento da madeira. De acordo com Hunt e Garratt (1967), a efetividade da penetração do preservativo na madeira depende de dimensões favoráveis, das suas disposições e ocorrências. Os dados das dimensões dos vasos observados neste estudo indicam a aptidão da madeira do *E. urograndis*, aos 7 anos, para o tratamento preservativo.

Características anatômicas: relação cerne e alburno

A média de alburno encontrada na madeira de *E. urograndis* foi de 51,39%, enquanto o cerne foi de 48,61%, com relação cerne e alburno (C/A) de 0,95 (Quadro 5).

Quadro 5 - Porcentagem de cerne, de alburno e relação de C/A

| Parâmetros | Alburno (%) | Cerne (%) | C/A |
|--------------------------|-------------|-----------|-------|
| Média | 51,39 | 48,61 | 0,95 |
| Máxima | 54,16 | 51,10 | 1,04 |
| Mínima | 48,90 | 45,83 | 0,85 |
| Desvio Padrão | 2,56 | 2,56 | 0,10 |
| Coefficiente de Variação | 4,98 | 5,27 | 10,07 |

C/A= relação de cerne e alburno

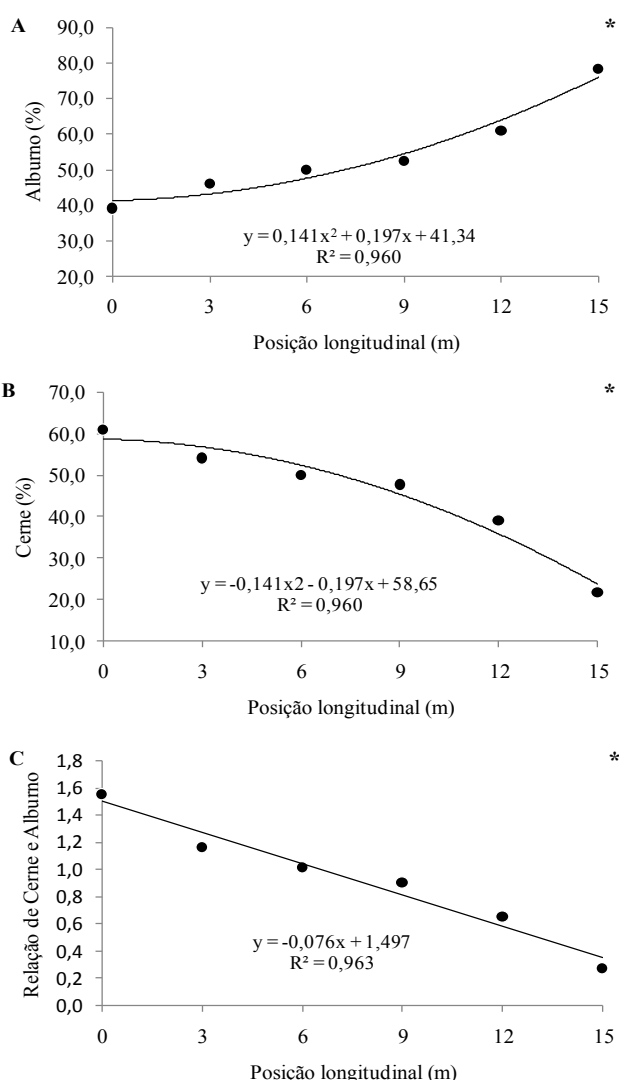


Figura 5 - Porcentagem de alburno (A), cerne (B) e relação de cerne e alburno (C) no sentido longitudinal do tronco. * efeito significativo da posição longitudinal ($p < 0,05$).

A relação encontrada entre C/A está dentro da faixa de valores encontrados por Pereira *et al.* (2013) para três híbridos de eucalipto, variando de 0,49 a 1,01, aos 7,5 anos de idade. Ao avaliar a relação entre C/A nas diferentes posições longitudinais do tronco das árvores e a porcentagem de cerne e alburno na madeira do *E. urograndis* (Figura 5), foi possível observar crescimento significativo da base ao topo para o alburno e decréscimo do cerne e da relação entre C/A nesse mesmo sentido.

A tendência de aumento do alburno e decréscimo do cerne no sentido base-topo também foram encontradas por Haselein *et al.* (2004) para *E. grandis* e por Costa *et al.* (2017) para o *E. camaldulensis* com diferentes idades: a maior quantidade de alburno na parte superior do tronco está relacionado a característica da madeira recém formada no topo da árvore, diferentemente do observado na base do tronco, com a presença de cerne (em função do envelhecimento da árvore) em maior quantidade (Santos *et al.*, 2004).

Do ponto de vista tecnológico, o maior ou menor percentual de cerne ou alburno na madeira auxilia na definição do uso nos produtos finais. Por exemplo, madeiras com maior quantidade de cerne são desejáveis para produção de móveis e para a construção civil. Ao mesmo tempo, a maior quantidade de alburno (mais permeável), resultará em melhor capacidade de impregnação por produtos preservativos na indústria de madeira tratada (Haselein *et al.*, 2004; Pereira *et al.*, 2013).

Propriedades mecânicas: módulo de elasticidade e de ruptura na flexão estática

Os valores médios para o módulo de ruptura (MOR) e de elasticidade (MOE) na flexão estática da madeira são apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6 - Módulo de ruptura (MOR) e de elasticidade (MOE) na flexão estática

| Parâmetros | MOR (MPa) | MOE (MPa) |
|--------------------------|-----------|-----------|
| Média | 99,53 | 10326,47 |
| Máxima | 109,15 | 10492,24 |
| Mínima | 90,41 | 9634,15 |
| Desvio Padrão | 5,64 | 238,63 |
| Coefficiente de Variação | 5,60 | 2,33 |

Foi encontrado uma média de 99,53 MPa de MOR e 10326,47 MPa de MOE na madeira do *E. urograndis*. Alguns trabalhos encontraram valores similares para MOR e MOE na flexão estática: Evangelista *et al.* (2010) avaliando as propriedades mecânicas à flexão estática em madeiras de *E. urophylla* aos 6,3 anos de idade, encontraram MOR de 77,0 MPa e MOE de 9869,0 Mpa; Gonçalves *et al.* (2009) avaliando a madeira de *E. urograndis* encontraram MOR de 82,95 MPa e MOE de 9798,0MPa aos 5,8 anos.

Os valores encontrados para o módulo de elasticidade e ruptura podem não oferecer respostas completas quanto o comportamento da madeira do *E. urograndis*, porém, seu elevado valor pode indicar alta resistência e baixa capacidade de deformação. A NBR 9480 (ABNT, 2009), que preconiza a resistência a flexão estática mínima requerida para toras de madeira quando em uso na forma de mourões, estipula resistência mínima de 52 Mpa com 12% de umidade. Desta forma, a resistência à flexão da madeira do *E. urograndis* está acima do mínimo exigido pela norma, viabilizando sua utilização como mourão.

CONCLUSÕES

A densidade básica média de 0,560 g.cm⁻³, a porcentagem de cerne e alburno e a pequena incidência de rachaduras e fendas indicam a aptidão da madeira do *E. urograndis* para o tratamento preservativo.

As dimensões das fibras e vasos e sua variação no sentido longitudinal e radial do tronco indicam, da mesma forma, a possibilidade do uso da madeira do *E. urograndis* em tratamento preservativo.

Conclui-se que a madeira do *E. grandis* x *E. urophylla*, clone GG 100, aos 7 anos apresenta características anatômicas e físico-mecânicas que indicam a sua utilização em processos de tratamento preservativo para aplicações das peças como mourões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2003) – *Madeira – Determinação da densidade básica*. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, NBR 11941.
- ABNT (2009) – *Peças roliças preservadas de eucalipto para construções rurais – Requisitos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, NBR 9480.
- Bolin, C.A. & Smith, S.T. (2011) – Life cycle assessment of pentachlorophenol-treated wooden utility poles with comparisons to steel and concrete utility poles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, n. 5, p. 2475-2486. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.019>
- Boschetti, W.T.N.; Paes, J.B.; Oliveira, J.T.S. & Dudecki, L. (2015) – Características anatômicas para produção de celulose do lenho de reação de árvores inclinadas de eucalipto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 50, n. 6, p. 459-467. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015000600004>
- Brito, A.F.; Severo, E.T. & Calonego, F.W. (2016) – Caracterização das rachaduras em mourões de oito espécies de eucalipto. *Revista Energia na Agricultura*, vol. 31, n. 1, p. 59-63. <http://dx.doi.org/10.17224/EnergAgric.2016v31n1p59-63>
- Carneiro, A.C.O.; Castro, A.F.N.M.; Castro, R.V.O.; Dos Santos, R.C.; Ferreira, L.P.; Damásio, R.A.P & Vital, B.R.P (2014) – Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. *Revista Árvore*, vol. 38, n. 2, p. 375-381. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622014000200019>
- COPANT (1971) – *Ensaio para madeira. Flexão estática*. Comissão Panamericana de Normas Técnicas – COPANT, 30:1-006.
- Costa, A.C.S.; Leal, C.S.; Santos, L.C.; Carvalho, A.M.M.L.; Oliveira, A.C. & Pereira, B.L.C. (2017) – Propriedades da madeira de cerne e alborno de *Eucalyptus camaldulensis*. *Ciência da Madeira*, vol. 8, n. 1, p. 10-20. <http://dx.doi.org/10.15210/cmadv8i1.8926>
- Evangelista, W.V.; Silva, J.C.; Lucia, R.M.D.; Lobo, L.M. & Souza, M.O.A. (2010) – Propriedades Físico-Mecânicas da Madeira de *Eucalyptus urophylla* S.t. Blake no sentido radial e longitudinal. *Ciência da Madeira*, vol. 1, n. 2, p. 1-19. <http://dx.doi.org/10.15210/cmadv1i2.4022>
- Florsheim, S.M.B.; Couto, H.T.Z.; Lima, I.L. & Longui, E.L. (2009) – Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade. *Revista Instituto Florestal*, vol. 21, n. 1, p. 79-91.
- Forest Products Laboratory (2010) – *Wood handbook – Wood as an engineering material*. Centennial Edition. Madison, Department of Agriculture, 508 p.
- Freitas, P.C.; Sette Jr., C.R.; Castro, V.R.; Chaix, G.; Laclau, J.P. & Tomazello Filho, M. (2015) – Efeito da disponibilidade hídrica e da aplicação de potássio e sódio nas características anatômicas do lenho juvenil de *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, vol. 39, n. 2, p. 405-416. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000200020>
- Freitas, P.C.; Silva, M.F.; Silva, R.T.; Coneglian, A. & Sette Jr., C.R. (2016) – Evaluation of briquettes from bamboo species produced under different temperatures. *International Journal of Current Research*, vol. 8, n. 9, p. 39260-39265.
- Galvão, A.P.M.; Magalhães, W.L.E. & Mattos, P.P. (2004) – *Processos Práticos para preservar a Madeira*. 1ª ed. Colombo, Editora Embrapa (Série Documentos, 96), 49 p.
- Gonçalves, F.G.; Oliveira, J.T.S.; Lucia, R.M.D. & Santório, R.C. (2009) – Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, vol. 33, p. 501-509. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622009000300012>
- Gonçalvez, J.C.; Santos, G.L.; Silva Jr., F.G.; Martins, I.S. & Costa, J.A. (2014) – Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*. *Scientia Forestalis*, vol. 42, n. 101, p. 81-89.
- González-Loredo, R.F.; Rosales-Castro, M.; Rocha-Guzmán, N.E.; Gallegos-Infante, J.A.; Moreno-Jiménez, M.R. & Karchesy, J.J. (2015) – Wood preservation using natural products. *Madera y Bosques*, vol. 21, n. 63-76, p. 63-76.
- Haselein, C.R.; Lopes, M.C.; Santini, E.J.; Longhi, S.J.; Rosso, S.; Fernandes, D.L.G. & Menezes, L.F. (2004) – Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. *Ciência Florestal*, vol. 14, n. 2, p. 145-155. <http://dx.doi.org/10.5902/198050981814>
- Hsing, T.Y.; Paula, N.F. & Paula, R.C. (2016) – Características dendrométricas, químicas e densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. *Ciência Florestal*, vol. 26, n. 1, p. 273-283. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509821119>

- Hunt, G.M. & Garratt, G.A. (1967) – *Wood preservation*. 3^a ed. New York, Mc Graw-Hill, 433p.
- IAWA Committee (1989) – IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin*, vol. 10, n. 3, p. 219-332.
- Johansen, D.A. (1940) – *Plant microtechnique*. 1^a ed. New York, MacGraw-Hill, 533 p.
- Kiaei, M.; Sadegh, A.N. & Moya, R. (2013) – Site variation of tracheid features and static bending properties in *Pinuseldarica* wood. *Cellulose Chemistry and Technology*, vol. 47, n. 1-2, p. 49-59.
- Melo, R.R. & Del Meneze, C.H.S. (2016) – Estimativas das propriedades físico-mecânicas de compostos LVL confeccionados com Paricá por meio de ultrassom. *Ciência Florestal*, vol. 26, n.1, p. 263-272. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509821118>
- Pereira, B.L.C.; Carvalho, A.M.M.L.; Oliveira, A.C.; Santos, L.C.; Carneiro, A.C.O. & Magalhães, M.A. (2016) – Efeito da carbonização da madeira na estrutura anatômica e densidade do carvão vegetal de *Eucalyptus*. *Ciência Florestal*, vol. 26, n. 2, p. 545-557. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509822755>
- Pereira, B.L.C.; Oliveira, A.C.; Carvalho, A.M.M.L.; Carneiro, A.C.O.; Vital, B.R. & Santos, L.C. (2013) – Correlações entre a relação Cerne/Alburno da madeira de eucalipto, rendimento e propriedades do carvão vegetal. *Scientia Forestalis*, vol. 41, n. 98, p. 217-225.
- Quilhó, T.; Miranda, I. & Pereira, H. (2006) – Within-tree variation in wood fibre biometry and basic density of the urograndis eucalypt hybrid (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*). *IAWA Journal*, vol. 27, n. 3, p. 243-254. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000152>
- Rocha, F.T.; Florsheim, S.M.B. & Couto, H.T.Z. (2004) – Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos sete anos. *Revista Instituto Florestal*, vol. 16, n. 1, p. 43-45.
- Salvo, L.; Leandro, L.; Contreras, H.; Cloutier, A.; Elustondo, D.M. & Ananías, R.A. (2017) – Radial variation of density and anatomical features of *Eucalyptus Nitens* trees. *Wood and Fiber Science*, vol. 49, n. 3, p. 1-11.
- Santarosa, E.; Penteadó Jr., J.F. & Goulart, I.C.G.R. (2014) – *Cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda*. 1^a ed. Brasília, Editora Embrapa, 138p.
- Santini, E.J. (1988) – *Biodeterioração e preservação da madeira*. 1^a ed. Santa Maria, CEPEF/FATEC, 125 p.
- Santos, P.E.T.; Garcia, J.N. & Geraldi, I.O. (2004) – Posição da tora na árvore e sua relação com a qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis*. *Scientia Forestalis*, vol. 66, p. 142-151.
- Santos, R.C.; Carneiro, A.C.O.; Castro, A.F.M.; Castro, R.V.O.; Bianche, J.J.; Souza, M.M. & Cardoso, M.T. (2011) - Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. *Scientia Forestalis*, vol. 39, n. 90, p. 221-230.
- Sette Jr., C.R.; Rosada, I.; Tomazello Filho, M.; Yamaji, F.M. & Laclau, J.P. (2012) – Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, vol. 36, n. 6, p. 1183-1190. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622012000600019>
- Silva, M.F.; Fortes, M.M. & Sette Jr., C.R. (2018) – Characteristics of wood and charcoal from eucalyptus clones. *Floresta e Ambiente*, vol. 25, n. 3, art. e20160350. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.035016>
- Tomazello Filho, M. (1987) – Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*. *Revista IPEF*, vol. 36, p. 35-42.
- Tomazello Filho, M.; Barrichelo, L.E.C. & Costa, J.C. (1985) – Análise da madeira de compressão em *Pinus oocarpa* e *Pinus strobus* var. *chiapensis*. Composição química. *Revista IPEF*, vol. 31, s/n., p. 69-73.
- Trugilho, P.F.; Lima, J.T.; Mori, F.A. & Lino A.L. (2001) - Avaliação de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. *Cerne*, vol. 7, n. 2, p. 104-114.
- Vidal, J.M.; Evangelista, W.V.; Silva, J.C. & Jankowsky, I.P. (2015) – Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências. *Ciência Florestal*, vol. 25, n. 1, p. 257-271. <http://dx.doi.org/10.1590/1980-509820152505257>
- Zanuncio, A.J.V.; Carvalho, A.G.; Damásio, R.A.P.; Oliveira, B.S.; Carneiro, A.C.O. & Colodette, J.L. (2016) – Relationship between the anatomy and drying in *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* wood. *Revista Árvore*, vol. 40, n. 4, p. 723-729. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000400016>
- Zeidler, A.; Boruvka, V. & Schönfelder, O. (2018) – Comparison of wood quality of Douglas Fir and Spruce from afforested agricultural land and permanent forest land in the Czech Republic. *Forests*, vol. 9, n. 1, art. 13. <http://dx.doi.org/10.3390/f9010013>