

## Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de eucalipto

Filipe Valadão do Prado Cacau<sup>1</sup>, Milena da Silva Duarte<sup>2</sup>, Edilson Urbano<sup>3</sup>, Karina dos Santos Falcão<sup>4</sup>, Raíssa Falcão da Silva<sup>5</sup>

**Resumo.** Este trabalho teve como objetivo caracterizar a variação da densidade básica da madeira (DBM) ao longo do fuste para clones de eucalipto. Aos 96 meses após o plantio, foram abatidas seis árvores para a determinação da densidade básica da madeira, sendo três árvores do clone I-144 (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*), e três do clone 1277 (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*). Para cada árvore foram coletados discos de 5 cm, em seis diferentes posições ao longo do fuste (0, dap, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial). A DBM foi determinada pelo método de imersão em água. Para garantir que a umidade das amostras estivesse acima do ponto de saturação das fibras, inicialmente as amostras foram imersas em recipientes com água. Para a obtenção da massa seca da madeira, as amostras foram acondicionadas em estufa de ventilação forçada aquecida a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  até peso constante. A DBM foi calculada pela relação entre a massa seca e volume saturado. As DBM's médias para os clones I-144 e 1277, foram de 0,47 e 0,48 g.cm<sup>-3</sup>, respectivamente. Apesar dos valores médios da DBM terem sido semelhantes, foram observadas tendências distintas de variação longitudinal da DBM entre os clones. O clone I-144, de forma geral, apresentou redução da densidade no sentido base-topo, enquanto para o clone 1277, foram observados valores semelhantes para a DBM na base e no topo.

**Palavras-chave:** Clones de Eucalipto. Densidade Básica da Madeira. Variação Longitudinal.

DOI:10.21472/bjbs.v10n23-001

Submitted on:  
11/02/2023

Accepted on:  
12/06/2023

Published on:  
12/22/2023



Open Access  
Full Text Article



### Longitudinal variation of basic wood density of eucalyptus clones

**Abstract.** This work aimed to characterize the variation in basic wood density (DBM) along the stem for eucalyptus clones. At 96 months after planting, six trees were felled to determine the basic wood density, three trees from clone I-144 (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*), and three from clone 1277 (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*). For each tree, 5 cm discs were collected in six

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mail: [filipecacau@gmail.com](mailto:filipecacau@gmail.com)  
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0580-8688>

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mail: [m9duarte@gmail.com](mailto:m9duarte@gmail.com)  
Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-4580-6021>

<sup>3</sup> Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mail: [edurbano2@gmail.com](mailto:edurbano2@gmail.com)  
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9351-5406>

<sup>4</sup> Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mail: [falcao\\_karina@hotmail.com](mailto:falcao_karina@hotmail.com)  
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6973-1723>

<sup>5</sup> Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mail: [raissafalcao9@gmail.com](mailto:raissafalcao9@gmail.com)  
Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-4654-9650>

different positions along the stem (0, dbh, 25, 50, 75 and 100% of the commercial height). DBM was determined by the water immersion method. To ensure that the moisture content of the samples was above the saturation point of the fibers, initially, the samples were immersed in containers with water. To obtain the dry mass of the wood, the samples were stored in a forced ventilation oven heated to  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  until constant weight. DBM was calculated by the relationship between dry mass and saturated volume. The average DBM's for clones I-144 and 1277 were 0.47 and 0.48  $\text{g.cm}^{-3}$ , respectively. Although the average DBM values were similar, distinct trends of longitudinal variation of DBM were observed between the clones. Clone I-144, in general, showed a reduction in density in the base-to-top direction, while for clone 1277, similar values for DBM at the base and top.

**Keywords:** Eucalyptus Clones. Basic Density of Wood. Longitudinal Variation.

### Variación longitudinal de la densidad básica de la madera de clones de eucalipto

**Resumen.** Este trabajo tuvo como objetivo caracterizar la variación en la densidad básica de la madera (DBM) a lo largo del tallo para clones de eucalipto. A los 96 meses después de la siembra, se talaron seis árboles para determinar la densidad básica de madera, tres árboles del clon I-144 (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) y tres del clon 1277 (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*). Para cada árbol se recolectaron discos de 5 cm en seis posiciones diferentes a lo largo del tallo (0, dap, 25, 50, 75 y 100% de la altura comercial). La DBM se determinó mediante el método de inmersión en agua. Para asegurar que el contenido de humedad de las muestras estuviera por encima del punto de saturación de las fibras, inicialmente las muestras se sumergieron en recipientes con agua. Para obtener la masa seca de la madera, las muestras se almacenaron en una estufa de ventilación forzada calentada a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  hasta peso constante. La DBM se calculó mediante la relación entre la masa seca y el volumen saturado. Los DBM promedio para los clones I-144 y 1277 fueron 0,47 y 0,48  $\text{g.cm}^{-3}$ , respectivamente. Aunque los valores medios de DBM fueron similares, se observaron distintas tendencias de variación longitudinal en DBM entre clones. El clon I-144, en general, mostró una reducción en la densidad en la dirección de base hacia arriba, mientras que para el clon 1277 se observaron valores similares para DBM en la base y la parte superior.

**Palabras clave:** Clones de Eucalipto. Densidad Básica de la Madera. Variación Longitudinal.

## INTRODUÇÃO

A qualidade da madeira é afetada pelo espaçamento, pelo genótipo e pelas condições locais (WARREN *et al.*, 2009), destacando-se o seu efeito sobre a forma de fuste (NOGUEIRA *et al.*, 2008), os componentes químicos da madeira (Moulin *et al.*, 2015; Rocha *et al.*, 2016) e a densidade da madeira (Rocha *et al.*, 2016).

A densidade básica é utilizada como indicador de qualidade da madeira, pois permite, por exemplo, avaliar o genótipo para a produção de uma ampla variedade de produtos florestais, como madeira sólida, carvão vegetal e polpa celulósica (Gomide *et al.*, 2010; Arantes *et al.*, 2016). Santos *et al.* (2016) utilizaram um índice composto de produção e densidade da madeira para a classificação de genótipos de eucalipto. Knapic *et al.* (2014) relataram densidade variando de 0,53 a 0,84 para 19 espécies

de eucalipto. Efeito significativo do genótipo sobre a densidade básica da madeira foi observado para *E. globulus* (Igartúa; Monteoliva, 2010).

De forma geral, menor densidade da madeira é considerada mais adequada para a produção de celulose, em razão da menor necessidade de utilização de cargas alcalinas (Fantuzzi Neto, 2012) e do maior rendimento de polpação (Mokfienski *et al.*, 2008). No entanto, densidade muito baixa resulta no aumento do consumo de madeira e menor peso de madeira no digestor, impactando negativamente a produtividade industrial (Queiroz *et al.*, 2004). Mokfienski *et al.* (2008) observaram menor consumo específico de madeira para genótipos de maior densidade básica.

A maioria das principais empresas de celulose do Brasil tem utilizado clones de híbridos naturais de *E. grandis* e *E. grandis* x *E. urophylla*, com densidade básica entre 465 e 510 kg m<sup>-3</sup> (Gomide *et al.*, 2005). Clones de *E. globulus*, apesar de apresentarem densidade da madeira de 460 a 580 kg m<sup>-3</sup> (Rosa, 2003), têm sido utilizados na indústria de celulose e papel (Gominho *et al.*, 2015) dadas as suas características químicas favoráveis ao processo de deslignificação.

A densidade da madeira apresenta variação espacial (sentido medula-casca e base-topo) (Labbé *et al.*, 2013; Knapic *et al.* 2014; Castro *et al.*, 2017) e, por ser um indicador de qualidade complexo, deve ser caracterizada para cada situação.

Existem vários padrões de variação da densidade da madeira no sentido longitudinal (base-topo) não podendo ser estabelecido um padrão para cada genótipo ou local. De forma geral, a densidade pode aumentar com a altura (Labbé *et al.*, 2013; Quilhó; Pereira 2001); reduzir-se da base até certa altura, seguido de aumento até o topo (Alzate *et al.*, 2005; Haselein *et al.*, 2004; Raymond; Muneri 2001); reduzir-se da base até certa altura, seguido de aumento, e posterior decréscimo até o topo (Sette JR. *et al.*, 2009) e, ainda, não apresentar tendência definida de variação (Sharma *et al.* 2015).

Modelos distintos de variação da densidade no sentido radial (medula-casca) foram observados por vários autores. Castro *et al.* (2017) relataram menor valor da densidade próximo à medula, aumento e estabilização na região intermediária e novo aumento na região do lenho, próximo à casca. Knapic *et al.* (2014) observaram tendência de redução da densidade média da medula até 20% do raio, seguida de aumento da densidade até 70% do raio e posterior redução até a casca. Tomazello Filho (1987) observou aumento da densidade até 50% do raio, seguido por redução até a casca, para *E. globulus*, para *E. pellita* e para *E. acmenoides*.

Diante do exposto, estudos que relacionem o genótipo e a densidade da madeira são de grande relevância para fornecer informações sobre a qualidade da madeira, uma vez que o mercado se torna cada vez mais exigente em termos de eficiência no processo produtivo e na qualidade da matéria prima obtida. O presente estudo teve como objetivo caracterizar a variação longitudinal da densidade básica da madeira para dois clones de eucalipto.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### Densidade da Madeira de Eucalipto

A madeira sofre alteração em seu volume em decorrência da absorção ou perda de água, sendo imprescindível determinar a sua densidade a um teor específico de umidade, obtendo-se o seu volume correspondente. Usualmente a densidade é obtida em uma condição de massa mínima e volume máximo, sendo definida como densidade básica. Desta forma, a densidade básica da madeira é a relação da massa seca em estufa ( $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) e o volume acima do ponto de saturação das fibras (ABNT NBR 11941, 2003). A densidade aparente é definida como a relação entre massa e volume a 12% de umidade relativa da madeira (ABNT NBR 7190, 1997).

A densidade é uma propriedade física utilizada para qualificar a madeira para uma grande variedade de usos (Gomide *et al.*, 2010; Arantes *et al.*, 2016), sendo influenciada pela espessura da parede celular, frequência de vasos, fibras e parênquima radial e axial, e pelo teor de lignina e holocelulose (Vale *et al.*, 2010).

Mokfienski *et al.* (2008) relatou que a densidade básica da madeira de eucalipto apresentou maior correlação com as características morfológicas das fibras e qualidade da polpa do que com sua composição química.

Para várias espécies de eucalipto foram encontradas as seguintes informações para a densidade básica da madeira: Sharma *et al.* (2015) ( $552 - 441 \text{ kg m}^{-3}$ , clones A e B, de *E. grandis*  $\times$  *E. urophylla*); Warren *et al.* (2009) ( $522 - 543 \text{ kg m}^{-3}$  para *E. cloeziana*); Quilhó *et al.* (2006) ( $491 \text{ kg m}^{-3}$  para *E. grandis*  $\times$  *E. urophylla*, aos 5,6 anos de idade); Tomazello Filho (2006) ( $0,51 \text{ g cm}^{-3}$  para *E. grandis*  $\times$  *E. urophylla*, aos sete anos de idade); Bassa (2002) ( $0,54 \text{ g cm}^{-3}$  para *E. grandis*  $\times$  *E. urophylla*, aos sete anos de idade); Tomazello Filho (1987) ( $0,51$  e  $0,53 \text{ g cm}^{-3}$ , para *E. pellita* e *E. acmenoides*, respectivamente). Valores de densidade aparente também foram observados para diversas espécies de eucalipto: Arantes *et al.* (2016) ( $0,52 - 0,59 \text{ g cm}^{-3}$  para *E. grandis*  $\times$  *E. urophylla*); Knapic *et al.* (2014) ( $0,59 \text{ g cm}^{-3}$  para *E. grandis*); Tomazello Filho (2006) ( $0,65 \text{ g cm}^{-3}$ , *E. grandis*  $\times$  *E. urophylla*, aos sete anos de idade) e Alzete (2004) ( $0,53 \text{ g cm}^{-3}$  para *E. grandis*  $\times$  *E. urophylla*).

### Variação Espacial (Sentido Base-Topo e Medula-Casca) da Densidade da Madeira de Eucalipto

Sette Junior *et al.* (2009) relataram decréscimo da densidade básica do lenho da base até 3 m de altura das árvores, seguido de aumento até 9 m, e decréscimo até o topo. Lopes *et al.* (2011) não observaram efeito significativo da posição de amostragem (base, 50% e 100% da altura comercial) sobre a densidade básica da madeira, para *E. grandis*, *E. dunnii* e *E. urophylla*, aos 18 anos de idade.

Alzate *et al.* (2005) observaram quatro modelos de variação longitudinal da densidade básica da madeira para clones de *E. grandis*, *E. saligna* e *E. grandis*  $\times$  *E. saligna*: decréscimo da base até 50% da

altura comercial seguido por aumento até o topo; pequeno aumento no sentido base-topo; pequeno decréscimo no sentido base-topo e aumento no sentido base-topo. Redução da densidade básica da madeira com a altura foi observado para *Araucaria angustifolia* e para *Pinus taeda*, neste estudo o *Pinus elliottii* apresentou aumento da densidade da posição da base para o dap (Mattos *et al.*, 2011). A densidade básica da madeira apresentou redução da base para o dap e 25% da altura comercial seguido de aumento até o topo, para árvores matrizes de *E. grandis*, aos 27 anos de idade (Haselein *et al.*, 2004).

Aumento da densidade ao longo do perfil longitudinal foi observada para clones de *E. globulus*, com diferenças significativas entre clones para as posições de 40, 80 e 100% da altura comercial, não sendo observadas diferenças significativas entre os clones para as posições do dap, 20 e 60% da altura comercial (Labbé *et al.*, 2013). Estes resultados indicam que genótipos que apresentem mesma densidade na posição do dap podem diferir nas demais posições ao longo do perfil longitudinal.

Ultimamente os métodos radiográficos têm sido utilizados para caracterizar a variação radial da densidade aparente do lenho para diversos genótipos. Castro *et al.* (2017) observaram aumento da densidade aparente do lenho no sentido medula-casca, para *E. grandis*, até a idade de 36 meses, em diferentes regimes de nutrição e disponibilidade hídrica. Neste estudo foram observados valores médios de densidade aparente próximo a região da medula de 0,35 - 0,50 g cm<sup>-3</sup>, e valores de 0,55 - 0,70 g cm<sup>-3</sup> próximo da casca. Mesma tendência foi observada para um híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*, aos 6 anos de idade (Arantes *et al.*, 2016). Estes autores relataram menores valores de densidade para as menores classes diamétricas. Aumento da densidade no sentido medula-casca também foi observado para *E. pellita* e *E. acmenioides*, aos 10 anos de idade. Contudo, foi observado aumento da densidade até 50% do raio, seguido por redução até casca para *E. globulus* (Tomazello Filho, 1987). O modelo de variação radial caracterizado pelo aumento da densidade no sentido medula-casca também foi observado para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, aos 17 anos de idade (Castro *et al.*, 2014).

Perfis radiais da densidade aparente do lenho evidenciaram menores valores na região interna do que para a região externa do lenho de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, aos 7 anos e 10 meses, por meio da imagem digital de raios X e pela densitometria de raios X (leitura direta) (Surdi *et al.*, 2014). A densidade básica da madeira decresceu no sentido medula-casca para *E. dunnii*, *E. urophylla*, *E. grandis*, aos 18 anos de idade (Lopes *et al.*, 2011).

Maiores valores de densidade aparente do lenho foram observados na medula seguido de redução e estabilização até a casca, para *E. grandis* aos dois anos de idade. A maior densidade na região da medula foi associada a presença de amido nas células do parênquima axial (Sette Junior *et al.*, 2009). Resultados semelhantes foram observados para clones de *E. grandis* x *E. urophylla* e *E. grandis*, na mesma idade de avaliação (Zanuncio, 2016).

Redução da densidade aparente da madeira na região próxima a casca foi observada para *E. grandis* x *E. urophylla*, infectado por fungo da podridão branca. A menor densidade foi resultado da decomposição dos constituintes da parede celular (lignina, celulose e hemiceluloses) (Tomazello Filho *et al.*, 2008).

### **Efeito das Práticas Silviculturais e do Sítio sobre a Densidade da Madeira de Eucalipto**

Alguns autores relataram não ter tido influência do espaçamento sobre a densidade da madeira, a exemplo do observado por Warren *et al.* (2009) para *E. dunnii*, aos seis anos de idade, com densidade populacional de 714 a 3.333 plantas ha<sup>-1</sup>, e por Cassidy *et al.*, (2013) para *E. pilularis*, aos sete anos de idade, com densidade populacional de 833 a 1.667 plantas ha<sup>-1</sup>. Híbridos de *E. grandis* × *E. camaldulensis*, aos sete anos de idade, estabelecidos em espaçamento de 1,5 m<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup> apresentaram densidade da madeira significativamente menor quando comparados à madeira proveniente de espaçamentos entre 4,5 e 9,0 m<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup> (Rocha *et al.*, 2016).

Os tratos culturais - irrigação e adubação (Castro *et al.*, 2017; Tomazello Filho *et al.*, 2008; Sette Júnior *et al.*, 2009) e características de sítio (solo, altitude, precipitação anual, declividade do terreno e velocidade do vento) (Miranda *et al.*, 2001; Raymond; Muneri, 2001; Wimmer *et al.*, 2008; Downes *et al.*, 2014; Hein *et al.* 2016), também exercem influência sobre a densidade da madeira.

Castro *et al.* (2017) verificaram que a nutrição mineral afetou a densidade aparente da madeira de *E. grandis* aos 12, 24 e 36 meses de idade, enquanto a disponibilidade hídrica afetou a densidade aparente da madeira aos 12 e 36 meses de idade. Tomazello *et al.* (2008) observaram menor densidade da madeira para o tratamento controle quando comparado ao tratamento de fertirrigação para clones híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, aos 7,1 anos de idade. Para Sette Jr. *et al.* (2009) a aplicação de potássio e sódio não afetou a densidade aparente do lenho de *E. grandis* aos 24 meses de idade.

Maior densidade básica da madeira foi observada para locais com menor capacidade produtiva (Raymond; Muneri, 2001; Wimmer *et al.*, 2008; Downes *et al.*, 2014), em razão da reduzida taxa de crescimento das árvores nestas condições (Wimmer *et al.*, 2008; Downes *et al.*, 2014). Outras características do sítio podem também afetar a densidade da madeira. Em locais onde a velocidade do vento é maior e a temperatura média anual é menor foi verificada maior densidade de madeira (Hein *et al.*, 2016). Desta forma, para a obtenção de madeira de qualidade, deve-se levar em consideração a interação do genótipo x ambiente e as práticas silviculturais aplicadas aos plantios florestais.

## METODOLOGIA

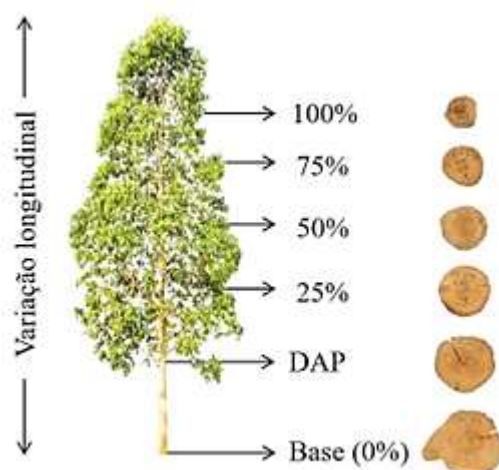
### Descrição da Área de Estudo

O estudo foi realizado no município de Aquidauana, MS, em área da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS). De acordo com a classificação de Koppén, o clima da região é classificado como “Aw”, apresentando uma estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro. A temperatura média anual é de 23,3°C e a precipitação pluviométrica de 1.323 mm. A topografia é de suave ondulada a plana com solo eutrófico, e pH de 6,2 até 40 cm de profundidade (Zaroni *et al.*, 2011).

### Instalação do Experimento, Coleta e Preparo das Amostras do Tronco

O presente estudo foi conduzido em um talhão de 0,9 hectares estabelecido com os clones I-144 (*E. grandis* x *E. urophylla*) e 1277 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*), plantados em agosto de 2013, no espaçamento 3,0 x 3,0 m (9 m<sup>2</sup> árvore<sup>-1</sup>). O delineamento foi o inteiramente casualizado (DIC) com 2 tratamentos (clones I-144 e 1277). No mês de agosto de 2023, quando as plantas tinham 10 anos de idade, foram abatidas 6 árvores, 3 de cada clone, de modo a representar as classes de diâmetro superior, média e inferior, do povoamento florestal. De cada árvore foi obtido um conjunto de discos de 5 cm retirados a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial, e a 1,3 m de altura (Figuras 1 e 2). Ao todo, foram retirados 36 discos do tronco, que foram acondicionados em sacos plásticos, e enviados ao Laboratório de Propriedades Industriais da Madeira (LAPIM) para preparo das amostras e análises.

Figura 1. Esquema da amostragem de discos ao longo do tronco de clones de eucalipto para a determinação da densidade básica e aparente da madeira



Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

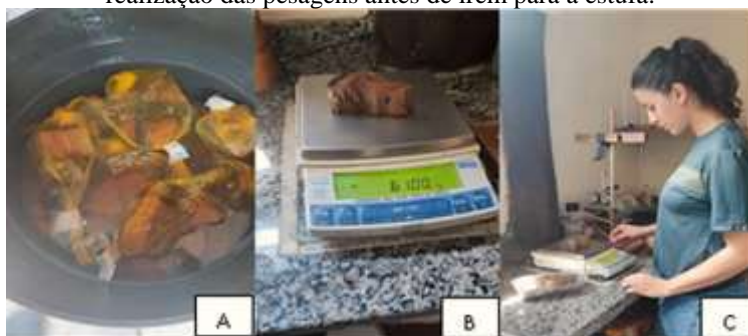
Figura 2. (A): corte dos discos com auxílio da motosserra; (B): discos retirados nas posições 0, dap



Fonte: Autor, 2023

Para cada disco foram preparadas três amostras em forma de cunha para a determinação da densidade básica da madeira (DBM). A DBM foi determinada pelo método de imersão em água (ABNT NBR 11941, 2003), e para garantir que a umidade das amostras estivesse acima do ponto de saturação das fibras, inicialmente as amostras foram imersas em recipientes com água durante 26 dias até não flutuarem mais. Em seguida, as amostras saturadas foram submergidas em um becker com água sobre uma balança de precisão, e o valor registrado para a amostra totalmente imersa em água foi considerado o volume da amostra, admitindo-se a densidade da água igual a  $1,0 \text{ g.cm}^{-3}$ . Para a obtenção da massa seca da madeira as amostras foram acondicionadas em estufa de ventilação forçada aquecida a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  até peso constante (Figuras 3 e 4).

Figura 3. (A): amostras submersas em água para obtenção do volume saturado; (B): peso da amostra estabilizada; (C): realização das pesagens antes de ir para a estufa.



Fonte: Autor, 2023



Figura 4. (A): amostra identificadas e seccionadas em cunhas; (B): amostras colocadas na estufa



Fonte: Autor, 2023

A DBM foi calculada pela relação entre a massa seca e volume saturado, conforme fórmula abaixo:

$$DBM = \frac{PSM}{PUM - PIM} \quad (1)$$

Em que:

DBM = Densidade básica da madeira;

PSM = peso seco da amostra;

PUM = peso úmido da amostra;

PIM = peso imerso da amostra.

A DBM a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial, e a 1,3 m de altura, foram analisadas por meio do teste t a 5% de probabilidade para avaliar os efeitos dos clones.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade básica da madeira (DBM) para os clones I-144 e 1277 variou entre 0,39 e 0,58 g.cm<sup>-3</sup>. As DBMs médias para os clones I-144 e 1277, foram de 0,47 e 0,48 g.cm<sup>-3</sup>, respectivamente (Tabela 1). O clone I-144 apresentou maior variabilidade da densidade básica com coeficiente de variação igual a 12,5%, e a amplitude de 0,19 g.cm<sup>-3</sup>, enquanto que para o clone 1277, o coeficiente de variação foi igual a 4,9% e a amplitude de 0,10 g.cm<sup>-3</sup>.

O clone 1277 não apresentou variação ( $p > 0,05$ ) significativa da DBM ao longo do perfil longitudinal, já o clone I-144 apresentou redução ( $p \leq 0,05$ ) da DBM aos 75 e 100% da altura comercial. Entre os clones, só foi observada diferença na DBM nas posições de 75 e 100% da altura comercial, com o clone 1277 apresentando maiores valores para esta característica (Tabela 1).

Tabela 1 - Densidade básica da madeira (DBM) ao longo do perfil longitudinal de árvores dos clones I-144 e 1277 de eucalipto aos 96 meses de idade.

Posição	DBM (g.cm <sup>3</sup> )					
	I-144			1277		
0%	0,54	a	A	0,49	a	A
dap	0,49	a	A	0,48	a	A
25%	0,48	a	A	0,47	a	A
50%	0,47	a	A	0,48	a	A
75%	0,43	b	B	0,48	a	A
100%	0,41	b	B	0,49	a	A

Médias com mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste t pareado ( $p>0,05$ ). Médias com mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste t para grupos independentes ( $p>0,05$ ).

Fonte: Elaborada pelos autores

Os valores de densidade observados no presente estudo são semelhantes aos relatados em vários outro estudos: Sharma *et al.* (2015) (552 – 441 kg m<sup>-3</sup>, clones A e B, de *E. grandis* × *E. urophylla*); Quilhó *et al.* (2006) (491 kg m<sup>-3</sup> para *E. grandis* × *E. urophylla*, aos 5,6 anos de idade); Tomazello Filho (2006) (0,51 g cm<sup>-3</sup> para *E. grandis* × *E. urophylla*, aos sete anos de idade) e Bassa (2002) (0,54g cm<sup>-3</sup> para *E. grandis* × *E. urophylla*, aos sete anos de idade).

Para outras espécies de eucalipto foram encontradas as seguintes informações para a densidade básica da madeira: *E. globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*, aos 10 anos de idade 0,48, 0,51 e 0,53 g cm<sup>-3</sup> respectivamente (Tomazello Filho, 1987). Carrilo *et al.* (2017) avaliando a qualidade da madeira de *E. globulus*, aos 6 anos de idade, observaram densidade básica da madeira variando entre 408 e 540 Kg m<sup>-3</sup>, com média de 477 Kg m<sup>-3</sup>.

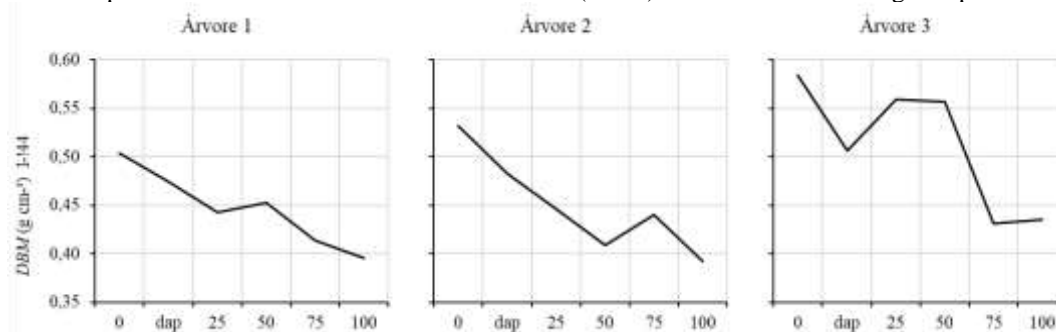
Igartúa e Monteoliva (2010) avaliando a densidade básica da madeira de *E. globulus*, em diferentes posições ao longo do tronco (0, dap, 30, 50, 75 % da altura total), relataram densidade básica média de 517,7 kg m<sup>-3</sup> com valores entre 608,4 e 423,6 kg m<sup>-3</sup>. Neste estudo foi verificado efeito significativo da procedência e posição longitudinal sobre a densidade básica da madeira.

Estudo realizado no Chile avaliando diferentes metodologias para a determinação da densidade básica da madeira, dos clones 36 e 110 de *Eucalyptus globulus*, em diferentes posições do tronco (dap, 20%, 40%, 60%, 80% e 100 % da altura comercial), relatou densidade básica média para o clone 36, ao nível do dap, de 507,1 kg/m<sup>3</sup>, e 499,0 kg/m<sup>3</sup> para o clone 110, pelo método do deslocamento de água. (LABBÉ *et al.*, 2013).

O clone I-144 apresentou redução da DBM no sentido base (0%) topo (100%) para as três árvores avaliadas. Contudo, a árvore 3 apresentou comportamento diferenciado com aumento da DBM da posição do dap para 25% da altura comercial (Figura 1). Em contraste, Labbé *et al.* (2013) observaram aumento da densidade básica da madeira no sentido longitudinal para os clones 36 e 110 de *Eucalyptus globulus*.

Sette Jr. *et al.* (2009) avaliaram o efeito da aplicação do potássio e sódio ( $140\text{kg ha}^{-1}$  e  $174\text{kg ha}^{-1}$ ) sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis*, aos 24 meses de idade ao longo do perfil longitudinal e observaram redução da densidade básica de 0,0 – 3,0 m de altura, seguido de aumento até os 9,0 m e decréscimo até o topo.

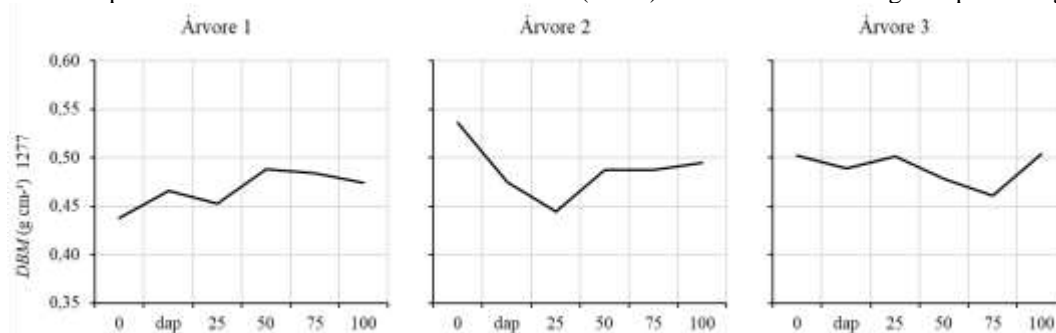
Figura 1. Comportamento da densidade básica da madeira (DBM) do clone I-144 ao longo do perfil longitudinal.



Fonte: Elaborada pelos autores

O clone 1277 apresentou diferentes tendências de comportamento da DBM em função da árvore avaliada. A árvore 1 apresentou aumento da DBM no sentido base-topo, a árvore 2 redução, e a árvore 3 praticamente manteve os valores de DBM entre a base e o topo (Figura 2).

Figura 2. Comportamento da densidade básica da madeira (DBM) do clone 1277 ao longo do perfil longitudinal.



Fonte: Elaborada pelos autores

Alzate *et al.* (2005) observaram diferentes padrões para a variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de eucalipto: decréscimo da base até 50% da altura comercial seguido por aumento até o topo; pequeno aumento no sentido base-topo; pequeno decréscimo no sentido base-topo e aumento no sentido base-topo. Os três últimos modelos apresentados por esses autores representam as tendências de variação observados para as árvores 1, 2 e 3 do clone 1277. Sharma *et al.* (2015) relataram que também é possível não ser observado uma tendência ou padrão para a variação da DBM ao longo do perfil longitudinal.

## CONCLUSÃO

As posições do dap, 25 e 50% da altura comercial foram representativas da DBM média ao longo do fuste, para as dois clones. Para a posição de 50% da altura commercial o valor da DBM foi o mesmo da DBM média.

O clone 1277 apresentou-se como um genótipo mais homogêneo no que se refere à variação longitudinal da DBM.

Os clones I-144 e 1277 apresentaram DBM dentro de limites adequados aos diversos usos da madeira, execto àqueles que exigem elevada DBM.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Norma NBR 11941**: Madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003, 6p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Norma NBR 7190**: Projetos de estrutura da madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997, 107p.
- ALZATE, S. B.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* e *E. grandis* x *urophylla*. **Scientia Forestalis**, n. 68, p. 87-95, 2005.
- ARANTES, M. D. C.; TRUGILHO, P. F.; TOMAZELLO FILHO, M.; LIMA, J. T., VIDAURRE, G. B. Densitometria de raios X na madeira e carvão de clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden X *Eucalyptus urophylla* ST Blake. **Revista Árvore**, v.40, n.1, p.155-162, 2016.
- BASSA, A. **Processos de polpação kraft convencional e modificado com madeiras de *E. grandis* e híbrido (*E. grandis* x *E. urophylla*)**. 2002. 103 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais – Tecnologia de Produtos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2002.
- CARRILO, I.; VALENZUELA, S; ELISSETCHE, J. P. Avaliação comparativa da qualidade da madeira e fibra de *Eucalyptus globulus* e *E. nitens*. **Revista IAWA**, v. 1, p. 105-116, 2017.
- CASSIDY, M.; PALMER, G.; SMITH, R. G. B. The effect of wide initial spacing on wood properties in plantation grown *Eucalyptus pilularis*. **New Forests**, v. 44, n. 6, p. 919–936, 2013.
- CASTRO, V. R.; SURDI, P. G.; JUNIOR, C. R. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; CHAIX, G.; LACLAU, J. P. Efeito da aplicação do potássio, do sódio e da disponibilidade hídrica na densidade aparente a 12% de umidade do lenho juvenil de árvores de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 1017-1027, 2017.
- CASTRO, V. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; SURDI, P. G. Avaliação do perfil radial do lenho de árvores de Pinus (*Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf.) por densitometria de raios X. **Scientia Forestalis**, v.42, n.103, p.353-360, 2014.
- DOWNES, G.; HARWOOD, C.; WASHUSEN, R.; EBDON, N.; EVANS, R.; WHITE, D.; DUMBRELL, I. Wood properties of *Eucalyptus globulus* at three sites in Western Australia: effects of fertilizer and plantation stocking. **Australian Forestry**, v. 77, n. 3-4, p. 179-188, 2014.
- FANTUZZI NETO, H. **Qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft**. 2012. 105f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

- GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C. D.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, v.29, n.1, p.129-137, 2005.
- 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**, v.34, n.2, p.339-344, 2010.
- GOMINHO J.; LOURENÇO A.; NEIVA, D.; FERNANDES L.; AMARAL M. E.; DUARTE A. P.; SIMÕES R.; PEREIRA H. Variation of wood pulping and bleached pulp properties along stem in mature *Eucalyptus globulus* trees. **Bioresources**, v.10, n.4, p.7808–7816, 2015.
- HASELEIN, C. R.; LOPES, M. C.; SANTINI, E. J.; LONGHI, S. J.; ROSSO, S.; FERNANDES D. L. G.; MENEZES, L. F. Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 145–155, 2004.
- HEIN, P. R. G.; CHAIX, G.; CLAIR, B.; BRANCHERIAU, L.; GRIL, J. Spatial variation of wood density, stiffness and microfibril angle along *Eucalyptus* trunks grown under contrasting growth conditions. **Trees**, v. 30, n. 3, p. 871-882, 2016.
- IGARTÚA, D.; MONTEOLIVA, S. Densidad básica, longitud de fibras y crecimiento en dos procedencias de *Eucalyptus globulus* en Argentina. **Bosque**, v. 31, n. 2, p. 150-156, 2010.
- KNAPIC, S.; PIRRALHO, M.; LOUZADA, J. L.; PEREIRA, H. Early assessment of density features for 19 *Eucalyptus* species using X-ray microdensitometry in a perspective of potential biomass production. **Wood Science and Technology**, v. 48, n. 1, p. 37-49, 2014.
- LABBÉ, R.; DROPELMANN, F.; BALOCCHI, C. Variación de la densidad de la madera y rendimiento pulpería en clones de *Eucalyptus globulus* evaluado con espectroscopía de infrarrojo cercano. **Bosque (Valdivia)**, v. 34, n. 3, p. 3–4, 2013.
- LOPES, C. S. D.; NOLASCO, A. M.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. S.; PANSINI, A. Estudo da massa específica básica e da variação dimensional da madeira de três espécies de eucalipto para a indústria moveleira. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p.315-322, 2011.
- MATTOS, B. D.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, L.; MELO, R. R.; SANTINI, E. J. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.1, p.121-126, 2011.
- MIRANDA, I.; ALMEIDA, M. H.; PEREIRA, H. Influence of provenance, subspecies, and site on wood density in *Eucalyptus globulus* Labill. **Wood and Fiber Science**, v. 33, n.1., p. 9-15, 2001.
- MOKFIENSKI, A.; COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; CARVALHO, A. M. M. L. A importância relativa da densidade da madeira e do teor de carboidratos no rendimento de polpa e na qualidade do produto. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 3, p. 407-419, 2008.
- MOULIN, J. C.; ARANTES, M. D. C.; OLIVEIRA, J. G. L., CAMPINHOS, E.; GOMES, F.; VIDAURRE, G. B. Efeito do espaçamento, idade e irrigação no volume e densidade básica do eucalipto. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1–10, 2017.
- NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; REIS, G. G.; MOREIRA, A. M. Influência do espaçamento inicial sobre a forma do fuste de árvores de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, v.32, n.5, p.855-860, 2008.
- QUEIROZ, S. C. S.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L. Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa Kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* ST Blake. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, 2004.
- QUILHÓ, T.; PEREIRA, H. Within and between- tree variation of bark content and wood density of *Eucalyptus globulus* in commercial plantations. **IAWA Journal**, v. 22, n. 3, p. 255–265, 2001.

- RAYMOND, C. A.; MUNERI, A. Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* for wood properties. I. Basic density. **Wood Science and Technology**, v.35, n. 1, p. 27-39, 2001.
- ROCHA, M. F. V.; VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; CARDOSO, M. T.; HEIN, P. R.G. Effects of plant spacing on the physical, chemical and energy properties of *Eucalyptus* wood and bark. **Journal of Tropical Forest Science**, v.28, n.3, p. 243-248, 2016.
- ROSA, C. A. B. **Influência do teor de lignina da madeira de *Eucalyptus globulus* na produção e na qualidade da celulose Kraft**. 2003. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.
- SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. M.; CASTRO, R. V. O.; BIANCHE, J. J.; SOUZA, M. M.; CARDOSO, M. T. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v.39, n.90, p.221-230, 2011.
- SETTE JÚNIOR, C. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. S.; CHAGAS, M. P.; LACLAU, J. P. Efeito da aplicação de potássio e sódio nas características do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill, aos 24 meses de idade. **Floresta**, v. 39, n. 3, p. 535-546, 2009.
- SHARMA, S. K.; SHUKLA, S. R.; SHASHIKALA, S.; SRI POORNIMA, V. Axial variations in anatomical properties and basic density of *Eucalypt urograndis* hybrid (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*) clones. **Journal of Forestry Research**, v. 26, n. 3, p. 739–744, 2015.
- SURDI, P. G. et al. Perfil de densidade do lenho utilizando métodos radiográficos. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 229–236, 2014.
- TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita*, *E. acmenoides*. **Revista IPEF**, n. 36, p. 35–42, 1987.
- TOMAZELLO FILHO, M. **Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* x *urophylla***. 2006. 146 f. Tese (Livre Docência em Ciência e Tecnologia de Madeira) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- TOMAZELLO, M.; BRAZOLIN, S.; CHAGAS, M. P.; OLIVEIRA, J. T.; BALLARIN, A. W.; BENJAMIN, C. A. Application of X-ray technique in nondestructive evaluation of eucalypt wood. **Maderas, Ciencia y Tecnología**, v. 10, n. 2, p. 139-149, 2008.
- WARREN, E.; SMITH, R. G. B.; APIOLAZA, L. A.; WALKER, J. C. Effect of stocking on juvenile wood stiffness for three *Eucalyptus* species. **New Forests**, v.37, n.3, p.241-250, 2009.
- WIMMER, R.; DOWNES, G.; EVANS, R.; FRENCH, J. Effects of site on fibre, kraft pulp and handsheet properties of *Eucalyptus globulus*. **Annals of Forest Science**, v. 65, n. 6, p. 1-7, 2008.
- ZANUNCIO, A. J. V. **Avaliação de clones de eucalipto sujeitos a danos pelos ventos e utilização de sua madeira na indústria florestal**. 2016. 67f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.
- ZARONI, M. J.; AMARAL, F. C. S.; SILVA, E. F.; COELHO, M. R.; JÚNIOR, W. C.; BEHRING, S. B.; CHAGAS, C. S.; PEREIRA, N. R.; GONÇALVES, A. O.; DART, R. O.; AGILIO, M.; L.; D.; LOPES, C. H. L.; TAKAGI, J. S.; EARP, C. G. S. **Zoneamento Agroecológico do município de Aquidauana – MS**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. EMBRAPA. Rio de Janeiro-RJ, 2011. 63 p. (Documento 185).