

## Varição radial de propriedades anatômicas e físicas da madeira de eucalipto

*Daiana Souza de Jesus<sup>1</sup>*

*Jonas Santos Silva<sup>2</sup>*

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi apresentar os principais fatores que influenciam a variação radial da madeira de eucalipto e avaliar o quanto esta característica pode influenciar as propriedades desse material. A variabilidade encontrada dentro de uma árvore individual é acarretada pelas mudanças sofridas pelo câmbio, durante o envelhecimento, e as modificações impostas pelas condições ambientais. A heterogeneidade do material causa uma série de transtornos para a indústria de transformação e processamento. A descontinuidade física da madeira ocorre em razão de vários fatores, como as características intrínsecas à própria espécie, os tratamentos silviculturais e, principalmente, a constituição e organização anatômica da espécie.

**Termos para indexação:** *Eucalyptus*, qualidade da madeira, variabilidade da madeira.

### Radial variation of anatomical and physical properties of eucalyptus wood

### ABSTRACT

The objective of this work was to present the main factors that influence the radial variation of eucalyptus wood, and evaluate how much this characteristic can influence the properties of this material. The variability found within an individual tree is brought about by changes undergone by the exchange during aging, and modifications imposed by environmental conditions. The heterogeneity of the material causes a number of damages, hampering the wood transformation and processing industry. The physical discontinuity of wood occurs because of several factors, such as the intrinsic characteristics of the species itself, the silvicultural treatments, and, mainly because of the species constitution and anatomical organization.

**Index terms:** *Eucalyptus*, wood quality, wood variability.

## INTRODUÇÃO

A madeira tem origem num sistema biológico complexo e é um material de extrema variabilidade. Sua estrutura e composição química, bem como suas propriedades físicas e mecânicas variam

### Ideias centrais

- Influência da variabilidade da estrutura da madeira em propriedades.
- Alterações provocadas na madeira devido a heterogeneidade natural do material.
- Influência da variabilidade radial em problemas na amostragem e processamento da madeira.

Recebido em  
26/04/2019

Aprovado em  
18/11/2019

Publicado em  
20/03/2020



This article is published in Open Access under the Creative Commons Attribution licence, which allows use, distribution, and reproduction in any medium, without restrictions, as long as the original work is correctly cited.

<sup>1</sup> Engenheira Florestal, mestra em Ciências Florestais, doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. E-mail: daysouza9@hotmail.com.

<sup>2</sup> Engenheiro Florestal, mestrando do Programa de Pós-Graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA. E-mail: Jonas-santos3@hotmail.com.

significativamente entre espécies, entre indivíduos de uma mesma espécie e, mesmo, entre diferentes partes de uma mesma árvore (Oliveira & Silva, 2003).

O eucalipto possui uma grande capacidade de adaptação e apresenta rápido crescimento, elevada produtividade e uma grande diversidade de espécies. Tem grande importância na economia brasileira, pois pode ser utilizado em diversos processos e aplicado em diferentes finalidades, como a produção de carvão vegetal, celulose e papel, serraria e movelaria, postes, lâminas, compensados, aglomerados, além da produção de mel (apicultura) e óleos essenciais. Em razão de seu rápido crescimento e excelente capacidade de adaptação, as espécies do gênero *Eucalyptus* são as mais utilizadas para o estabelecimento de plantações em regiões tropicais e subtropicais (Dias et al., 2017).

A madeira é um tecido complexo, formado a partir do câmbio vascular, constituído por diferentes tipos de células lenhosas organizadas em diferentes proporções e arranjos. O comportamento das propriedades da madeira está intimamente relacionado à estrutura e à disposição de suas células. Portanto, a análise anatômica pode determinar porque algumas espécies são melhores para determinadas finalidades (Evangelista et al., 2010; Tung et al., 2010; Brisola & Demarco, 2011).

A variabilidade encontrada dentro de uma árvore individual deve-se provavelmente às mudanças sofridas pelo câmbio, durante o envelhecimento, e às modificações impostas pelas condições ambientais (Oliveira & Silva, 2003). Essa característica causa uma série de transtornos para a indústria de transformação e processamento. De acordo com Reis et al. (2012), a descontinuidade física da madeira ocorre em consequência de vários fatores, tais como: as características intrínsecas à própria espécie, os tratamentos silviculturais e, principalmente, a constituição e organização anatômica da espécie.

A utilização da madeira na indústria depende do conhecimento mais aprofundado de suas características. Suas propriedades apresentam variações tanto da medula para a casca quanto da base para o topo das árvores. O conhecimento dessas variações e de suas intensidades pode ser de grande relevância para se definir a melhor forma de processamento da madeira, minimizar seus defeitos e aumentar o rendimento do produto. Para a indústria moveleira, por exemplo, o conhecimento dos diversos tipos de madeira, existentes dentro de uma mesma tora, pode permitir a obtenção de lotes de peças mais homogêneas para atender a demandas mais específicas (Cruz et al., 2003).

O estudo do comportamento das variações radiais da madeira é essencial para sua utilização industrial, em seus mais diversos setores.

O objetivo deste trabalho foi apresentar o conhecimento dessa variação e do quanto ela pode influenciar as propriedades da madeira.

### **Variação anatômica**

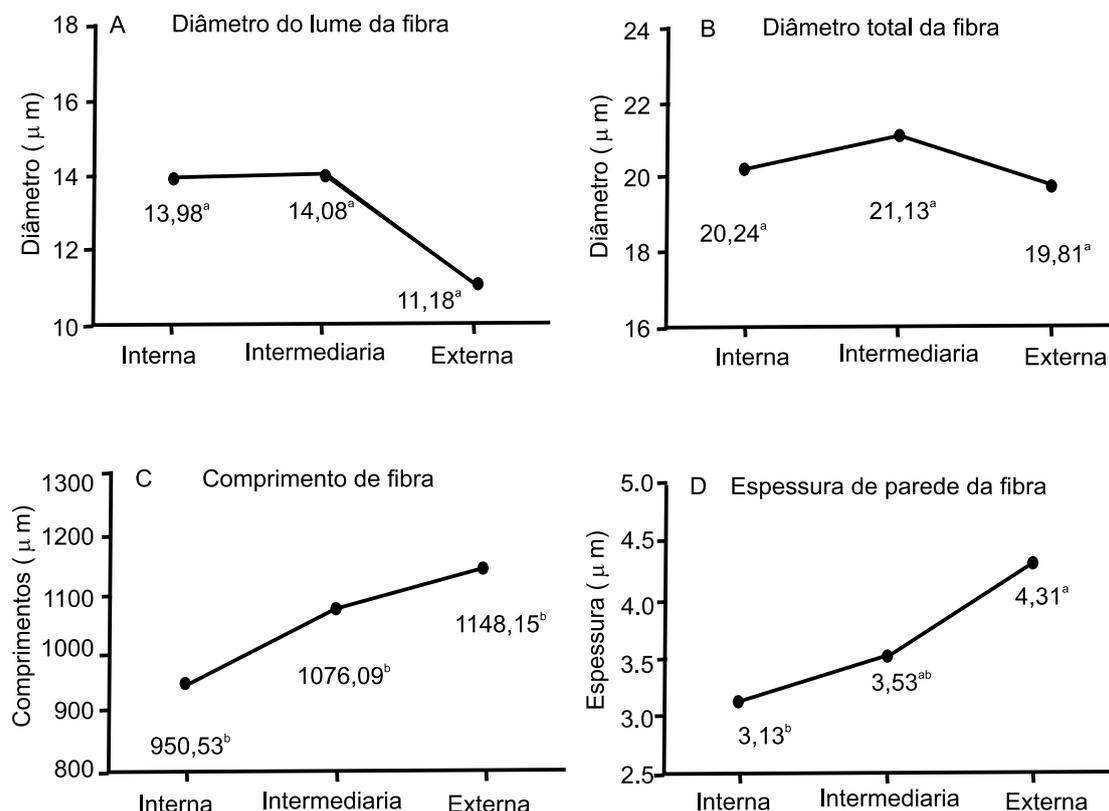
A madeira é um tecido complexo, formado a partir do câmbio vascular, constituído por diferentes tipos de células lenhosas organizadas em diferentes proporções e arranjos, o que determina suas propriedades tecnológicas (Evangelista et al., 2010).

Entre os tipos celulares que compõem a madeira de folhosas, como o eucalipto, as fibras são o principal componente; elas constituem geralmente a maior percentagem do lenho (20-80%) e desempenham a função de sustentação mecânica. A porção de fibras no volume total e a espessura de paredes influenciam, de maneira direta, a massa específica e o grau de alteração volumétrica, e, de maneira indireta, as propriedades mecânicas da madeira (Burger & Richter, 1991).

Fibras e vasos são as principais células que formam a madeira das angiospermas dicotiledôneas e são responsáveis pela resistência mecânica e pelo transporte de água e nutrientes, respectivamente. As dimensões dessas células são, em geral, influenciadas por diferenças de idade, material genético e local de crescimento (Moreira, 1999). Observam-se no eucalipto, algumas variações quanto à tendência de aumento das dimensões das fibras, bem como do diâmetro dos vasos da madeira, no sentido medula-casca e, na mesma direção, uma diminuição na frequência dos vasos. Os fatores responsáveis por tais variações, quanto à estrutura anatômica no sentido medula-casca são atribuídos,

principalmente, às mudanças de comprimento das fibras, ângulo microfibrilar, proporções dos tipos de células, diâmetro celular e espessura da parede celular (Calonego et al., 2005).

Em espécies de rápido crescimento do gênero *Eucalyptus*, observa-se um padrão de variação das dimensões das fibras no sentido radial do tronco. De acordo com Baldin et al. (2015), o comprimento das fibras aumenta na direção radial (medula-casca) e a espessura de parede das fibras também apresenta uma variação crescente da medula para a periferia do tronco. Essa mesma tendência foi observada por Ramos et al. (2011) ao estudar madeira de *Eucalyptus grandis* de 23 anos (Figura 1).



**Figura 1.** Variação do comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras no sentido medula-casca para *Eucalyptus grandis*.

Fonte: Ramos et al. (2011).

Para clones de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus urophylla* de 6, 8 e 10 anos, Evangelista et al. (2010) observaram que, considerando-se o fator distância medula-casca, existe nesse sentido uma tendência de aumento do comprimento e espessura de parede das fibras e diâmetro dos vasos, mas uma tendência de diminuição da frequência de vasos. Na pesquisa desses autores, a largura e diâmetro do lume das fibras não apresentaram padrão linear de variação nesse sentido igual ao dos parâmetros anteriores; e a largura das fibras apresentou aumento de 0 para 33%, tendo diminuído de 33% para 66% e aumentado novamente até 100% de distância medula-casca. O diâmetro do lume das fibras aumentou de 0 até 33% e diminuiu, a partir daí até 100% de distância medula-casca (Evangelista et al., 2010).

Essa mesma tendência foi observada por Silva et al. (2007), que concluíram também que há influência da idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill, pois estes autores verificaram efeitos significativos da idade e, principalmente, da variação radial no sentido medula-casca, no diâmetro tangencial dos vasos, e observaram um aumento do diâmetro tangencial dos vasos em razão da variação da idade e da posição radial, no sentido medula-casca.

## Densidade básica

As propriedades físicas da madeira de várias espécies variam conforme o raio de crescimento. A porção da madeira correspondente aos primeiros anéis de crescimento formados apresenta menor massa específica e fibras mais curtas, entre outras características, o que mostra as diferenças entre um lenho juvenil e um lenho adulto (Latorraca & Albuquerque, 2000).

Estudos realizados para identificar os fatores que afetam a variação das propriedades físicas da madeira mostram que a maioria deles está relacionada às características da própria madeira, sua localização dentro do tronco e, em alguns casos, com o ambiente em que a árvore se desenvolve; esses fatores podem condicionar a utilização da madeira (Juízo et al., 2015).

As propriedades físicas da madeira são consideradas importantes por serem de simples determinação e um dos principais parâmetros de avaliação de qualidade da madeira, quando se visa sua utilização como matéria prima (Sousa et al., 2007).

A densidade básica é a propriedade física mais estudada, pois é considerada um forte indicador de qualidade da madeira; é uma característica complexa, resultante da combinação de diversos fatores; ela varia entre as espécies, dentro de uma mesma espécie e até dentro de uma mesma árvore, nos sentidos radial e axial e é diretamente influenciada por fatores internos (posição no tronco, proporção de madeira adulta e juvenil, proporção de cerne e alborno) e por fatores externos (local de crescimento, condições climáticas e métodos silviculturais) (Miranda et al., 2012). Madeiras de alta massa específica apresentam, proporcionalmente, paredes celulares mais espessas e menor volume de lúmen, além de aumento da proporção das fibras em relação à proporção de vasos (Peres et al., 2012).

Observa-se uma heterogeneidade da massa específica na direção radial, quando se comparam diferentes espécies florestais. Na madeira das espécies florestais, a massa específica tende a aumentar a partir da medula e a estabilizar-se a partir de certa região do lenho, à medida que se aproxima da casca (Vale et al., 2009).

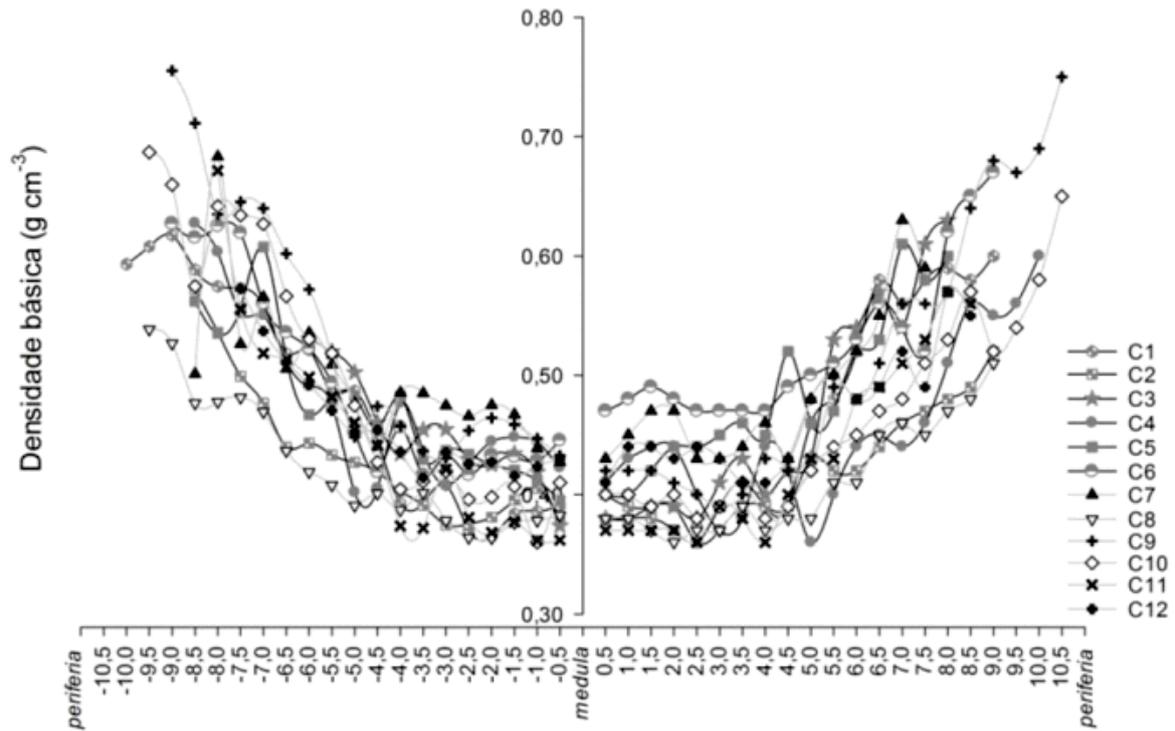
As variações da densidade dependem das mudanças, na proporção dos vasos, e das espessuras das paredes celulares das fibras. O aumento da densidade pode ser o resultado do aumento da espessura da parede celular das fibras ou de um aumento da proporção das fibras em relação, por exemplo, à proporção de vasos. De maneira inversa, um aumento da proporção de vasos, com ou sem decréscimo da espessura da parede celular, leva à redução da densidade (Oliveira & Silva, 2003).

As diferenças dos valores de densidade básica verificadas no sentido radial ocorrem em proporções mais elevadas do que as diferenças ao longo do tronco (Lima, 1999). A variação radial da densidade básica é maior na base das árvores do que em partes mais altas do tronco.

A variação da densidade no sentido medula-casca é dependente da espécie em estudo; não há uma regra de disposição da mesma, porém, para a maioria das espécies de *Eucalyptus*, há tendência de aumento da densidade nesse sentido (Latorraca & Albuquerque, 2000). A Figura 2 mostra a tendência de variação encontrada por Carneiro (2017), para clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos 6 anos de idade.

Em estudo realizado com árvores de *Eucalyptus benthamii* de 7 anos, verificou-se uma tendência de diminuição massa específica no sentido radial, que apresentou valores médios superiores na região próxima da medula (0,47 g cm<sup>-3</sup>), seguida de pequeno decréscimo até a região da casca (0,44 g cm<sup>-3</sup>) (Baldin et al., 2015).

Ao estudar madeira de *Eucalyptus*, Oliveira (1998) observou valores muito baixos de densidade básica na região medular, com tendência de crescimento nas posições mais externas do tronco, e constatou que, para esta propriedade, o valor médio somente foi ultrapassado nas duas posições mais periféricas do xilema secundário. A Tabela 1 apresenta a tendência de variação no sentido medula-casca, para algumas espécies de *Eucalyptus*.



**Figura 2.** Variação da densidade básica no sentido medula casca, em lenho dos clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos 6 anos de idade. Fonte: Carneiro (2017).

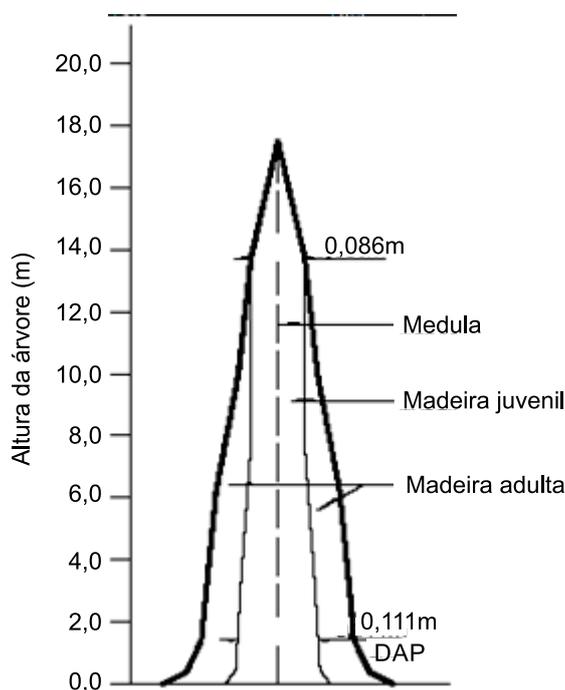
**Tabela 1.** Variação da densidade básica da madeira no sentido medula-casca, apresentada por algumas espécies de *Eucalyptus*.

Espécie	Referência	Idade	Tendência
<i>E. grandis</i>	Brasil & Ferreira (1972)	17	A densidade básica aumenta, no sentido radial, da medula para a casca.
	Hans et al. (1972)	7	
	Wilkins & Horne (1991)	9,5	
	Wilkins (1990)	1,3	
	Tomazello Filho (1985)	10	
	Bamber et al. (1982)	2,5	A densidade básica diminui, no sentido radial, da medula para a casca.
<i>E. saligna</i>	Oliveira & Silva (2003)	16	A densidade básica aumenta, no sentido radial, da medula para a casca.
	Tomazello Filho (1985)	10	
	Carpim & Barrichelo (1984)	5,8	
<i>E. nitens</i>	McKenzie et al. (2003)	15	A densidade básica aumenta, no sentido radial, da medula para a casca, após um decréscimo inicial.

## Madeira juvenil

No sentido radial, a madeira pode ser dividida entre lenho juvenil, próximo à medula, e lenho adulto, próximo à casca. Esse desenvolvimento caracteriza-se por mudanças progressivas no câmbio e, conseqüentemente, nas dimensões das células por este geradas, o que influencia as propriedades da madeira, como a massa específica básica (Panshin & De Zeeuw, 1980).

A madeira juvenil corresponde a uma região central na árvore, de forma cilíndrica, que se estende desde a base até o topo da árvore, com diâmetro mais ou menos uniforme (Figura 3), e que pode formar parte do albúrneo ou do cerne no tronco, se este último já estiver presente na árvore (Ballarin & Lara Palma, 2003). A proporção de madeira juvenil existente em uma tora é uma característica que depende fundamentalmente da idade da árvore, do ambiente de plantio e do manejo (Lara Palma et al., 2010).



**Figura 3.** Representação esquemática de uma árvore de 17 anos de idade, em que se evidencia a ocorrência de madeira juvenil e adulta. Fonte: Benjamim (2002).

A madeira juvenil, em geral, caracteriza-se por sua menor densidade, maior ângulo das microfibrilar na camada S2 da parede celular, traqueídes mais curtos, contração transversal menor, maior contração longitudinal, maior proporção de lenho de reação, menor percentagem de lenho tardio, paredes celulares mais finas, maior conteúdo de lignina, menor conteúdo de celulose e menor resistência em comparação à madeira adulta (Zobel, 1984; Lara Palma et al., 2010).

As camadas de crescimento produzidas próximo à medula (lenho juvenil) têm características muito diferentes daquelas localizadas perto do câmbio (lenho adulto), pois, aquelas camadas localizadas próximas à medula foram formadas durante o período de juvenilidade da árvore, quando o ritmo de crescimento é mais acentuado. As camadas localizadas próximas ao câmbio foram formadas durante o período de maturidade da árvore. Além das diferenças anatômicas entre os lenhos juvenil e adulto, outros fatores como a idade, o vigor, as características genéticas do indivíduo e os fatores climáticos podem influenciar a variação das dimensões dos elementos celulares (Zobel & Talbert, 1984).

Madeira juvenil é definida como sendo o xilema secundário, formado durante a fase jovem do câmbio vascular da árvore, nos estágios iniciais de vida da árvore. Esse período varia conforme a espécie e pode ser afetado pelas condições ambientais. Caracteriza-se ainda, anatomicamente, por um progressivo acréscimo nas dimensões das células e por correspondentes alterações em sua forma, estrutura e disposição em sucessivos anéis de crescimento, que se refletem nas propriedades da madeira. A variação radial que aparece ao longo do tronco pode ser explicada, além das mudanças nas dimensões dos traqueídes, em último caso, pelo crescimento e pela produção hormonal. A proporção de madeira juvenil está entre os principais indicadores de qualidade da madeira. Determinar o comportamento dessas propriedades, principalmente no sentido medula-casca, é imperativo para que se tenha o correto emprego da madeira de cada espécie florestal, o que resulta na contenção de custos de produção e desperdícios que ocorreriam com a reposição de peças inapropriadas (Ramay & Briggs, 1986).

O eucalipto se destaca mundialmente por apresentar espécies com madeiras de elevado potencial tecnológico, usadas para suprir as necessidades do mercado de madeira sólida. Muitos estudos têm sido realizados acerca das propriedades da madeira juvenil de eucalipto, em razão de seu rápido crescimento e curto ciclo de corte. No entanto, a escassez de informações acerca das propriedades físicas, químicas, mecânicas e anatômicas da madeira adulta de eucalipto restringe sua utilização (Vidaurre et al., 2011). Nos reflorestamentos, a proporção de madeira juvenil é maior, especialmente naquelas árvores de fuste pequeno, provenientes dos primeiros desbastes, ou de plantações cortadas mais cedo (Zobel & Van Buijtenen, 1989).

A variação radial da massa específica é condicionada à proporção de madeira juvenil (Nogueira & Vale, 1997). As propriedades físicas respectivas à estabilidade dimensional mostram-se melhores no lenho adulto do que no lenho juvenil, o que indica a melhor qualidade do lenho adulto (Delucis et al., 2013).

Em um estudo realizado com madeira de *Eucalyptus grandis* (23 anos), visando à identificação da zona de transição entre o lenho juvenil e adulto, Ramos et al. (2011) observaram que, de todos os caracteres anatômicos estudados, o comprimento das fibras e o ângulo microfibrilar foram aqueles que melhor indicaram a presença da zona de transição entre os lenhos juvenil e adulto, em virtude das suas variações radiais significativas, e ajustes dos dados por meio de regressão. Os autores observaram que as fibras apresentaram um aumento linear acentuado do comprimento até aproximadamente 6 cm do raio, a partir da medula. Após este ponto foi possível distinguir duas zonas distintas. A primeira, apresentando ainda um crescimento linear, porém menos acentuado, caracterizando a zona de transição entre o lenho adulto e juvenil. Essa região de crescimento ocorreu entre 6 e 11,5 cm de raio. A partir desse ponto, nota-se um crescimento mais constante, que caracteriza a zona de lenho adulto. A distância radial de 6 a 11,5 cm de raio correspondeu ao intervalo entre o 5.º e o 11.º anel de crescimento, estabelecido pela análise radial da densidade por densitometria de raios-X. Assim, a transição do lenho juvenil e adulto ocorreu entre o 5.º e o 11.º ano (Ramos et al., 2011).

Caracterizar a transição entre o lenho juvenil e adulto permite conhecer as diferenças entre as propriedades físicas, químicas, biológicas e morfológicas que esses lenhos apresentam. Isso nos possibilita programar a época de colheita da madeira que melhor atenda às necessidades do produto, de acordo com o seu uso final (Ramos et al., 2011).

A idade da madeira influencia a variação radial de sua retratabilidade, e esta varia de acordo com a posição da madeira na árvore. Normalmente, as contrações transversais são menores próximo à medula (madeira juvenil), crescendo rapidamente desta para a casca; essa mudança está relacionada à rápida redução do ângulo microfibrilar na parede celular, com o aumento do comprimento da célula e do teor de celulose (Panshin & Zeeuw, 1980). Em estudo com várias espécies de eucalipto, observou-se um aumento da retratabilidade volumétrica total, com o aumento radial a partir da medula (Oliveira, 1998).

Em *Eucalyptus saligna*, os valores de contração volumétrica são crescentes no sentido medula-casca, à exceção da região correspondente ao cerne periférico, conforme Oliveira & Silva (2003).

Comportamento semelhante foi também observado quanto às contrações lineares nas direções tangencial e radial das mesmas amostras. Constatou-se uma diferença relativamente acentuada entre a contração volumétrica apresentada e o somatório das respectivas contrações lineares. Em várias espécies de eucalipto, verificou-se um padrão crescente de retratibilidade na direção medula-casca (Oliveira, 1998).

Com relação ao fator anisotrópico, observou-se que, nas duas posições iniciais a partir da medula, este índice foi superior ao valor médio para essa madeira, igual a 1,99. Nas posições mais periféricas do fuste, observaram-se valores inferiores ao valor médio; a região periférica se destacou por apresentar o menor índice e, conseqüentemente, uma madeira de maior estabilidade dimensional, em razão da menor variabilidade entre as contrações tangencial e radial (Tabela 2) (Oliveira & Silva, 2003).

**Tabela 2.** Variação radial das contrações e densidade básica para *Eucalyptus saligna* de 16 anos.

Posição Medula-Casca	N*	Contrações (%)			Relação T/R	Densidade Básica (g cm <sup>-3</sup> )
		Volumétrica	Tangencial	Radial		
1	74	21,281 (25,7) (5,47)	10,89 (19,3) (2,10)	4,99 (19,5) (0,97)	2,22 (19,2) (0,43)	0,39 (9,6) (0,04)
2	83	27,18 (24,5) (6,65)	15,20 (18,5) (2,81)	7,06 (19,5) (1,37)	2,18 (14,9) (0,32)	0,43 (11,5) (0,05)
3	93	26,57 (20,6) (5,48)	15,67 (18,5) (2,90)	8,59 (19,8) (1,70)	1,84 (13,4) (0,25)	0,50 (6,5) (0,03)
4	90	28,69 (26,2) (7,52)	16,88 (25,6) (4,32)	9,47 (23,9) (2,26)	1,79 (12,0) (0,21)	0,55 (7,8) (0,04)
Média Geral	340	26,00 (26,5) (6,9)	14,83 (25,9) (3,85)	7,67 (30,7) (2,35)	1,99 (18,1) (0,36)	0,47 (15,6) (0,07)

N\*, número de repetições. Os valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação (superior) e ao desvio-padrão (inferior). Fonte: Oliveira & Silva (2003).

### Relação cerne/alburno

Um importante parâmetro de avaliação da qualidade da madeira é a quantificação das percentagens de cerne e alburno, pois, um maior percentual de um em relação ao outro influenciará as propriedades da madeira (Oliveira, 1998). De acordo com Silva (2002), a quantificação da relação cerne/alburno (C/A) passa a ser mais importante do que somente a espessura do alburno.

O alburno é formado por células funcionais, que são responsáveis pela condução ascendente de água e dos solutos nela dissolvidos e que têm coloração, geralmente, mais clara. Quando se tornam inativas para o transporte de água, as células do alburno passam a constituir o cerne, em um processo chamado de cernificação, que pode conter óleos, resinas, gomas e compostos fenólicos, substâncias que são frequentemente responsáveis pela sua coloração mais escura e que, geralmente, proporcionam maior durabilidade natural (Costa et al., 2003).

Silva & Trugilho (2003) ressaltam que o processo de cernificação é caracterizado não só pela morte das células do parênquima radial, mas também pelo consumo de amido e pelo aumento do conteúdo de extrativos e tilos, em determinados gêneros, como o *Eucalyptus*. Assim, há diferença de

umidade entre os dois, o que pode dificultar a secagem da madeira, uma vez que o cerne é bastante impermeável, principalmente em consequência da obstrução dos vasos por tilos, o que dificulta o transporte de água da parte mais interna da madeira para a mais externa (Galvão & Jankowsky, 1985).

O cerne apresenta diferenças marcantes em relação ao alburno, as quais podem ser interessantes ou não de acordo com a utilização da madeira. Esta distinção pode ser observada nitidamente a olho nu, para algumas espécies, ou realçadas com a aplicação de reagentes (Figura 4).



**Figura 4.** Distinção de cerne e alburno em *Eucalyptus* realçado com dimetil amarelo.

Foto: Daiana Souza de Jesus

Algumas das diferenças mais importantes são: a) o cerne contém mais compostos fenólicos e ácidos e menos amido do que o alburno; b) a lignina do cerne apresenta peso molecular mais elevado e é mais condensada; c) o cerne de coníferas contém mais extrativos e menos lignina e celulose, enquanto em folhosas essas diferenças não são consistentes (Browning, 1963); d) o cerne apresenta menor teor de umidade em consequência da redução da atividade fisiológica; e) o cerne é menos permeável, apresenta tecido mais compacto e, geralmente, menos denso do que o alburno (Burger & Richter, 1991). Além disso, as diferenças na composição química, física e morfológica da madeira são variáveis entre e dentro das espécies, o que leva à geração de produtos distintos.

Em razão dessa distinção nas características, conhecer a proporção de cerne e alburno no tronco é importante para a adequada utilização da madeira. Com esse intuito, Gominho et al. (2001) quantificaram a proporção de cerne e alburno a diferentes alturas, em um clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* de 6 anos de idade (Tabela 3).

**Tabela 3.** Áreas médias de seção transversal do cerne e alburno, percentagem de cerne da área total e relação cerne/alburno (C/A), em clone de *E. grandis* x *E. urophylla*, com base em 5 árvores.

Altura (%)	Área de alburno (cm <sup>2</sup> )	Área de cerne (cm <sup>2</sup> )	Cerne (%)	C/A
5	51,11	53,79	51,1	1,062
25	42,79	34,12	44,3	0,799
35	40,80	26,57	39,3	0,649
55	33,93	15,72	31,6	0,462
65	32,50	7,40	18,3	0,226
90	18,53	—	—	—

Fonte: Gominho et al. (2001).

A quantidade de cerne aumenta conforme a idade, ou seja, árvores mais velhas apresentam maior quantidade de cerne. A madeira com maior quantidade de cerne é desejável para a produção de móveis e para suas aplicações na construção civil, pois, por sua coloração e propriedades específicas, apresenta maior valor tecnológico para usos em serraria e, por isso, tem sido o alvo de interesse dos usuários de madeira (Silva, 2002).

## Variabilidade x amostragem

A seleção de uma amostra representativa da população é um dos grandes problemas na pesquisa tecnológica e é fundamental para garantir qualidade nas decisões. O tamanho da amostra depende da variabilidade da propriedade avaliada, do número de repetições com que se analisa essa propriedade, do nível de significância e da precisão que se escolheu.

A qualidade da madeira precisa ser avaliada, tanto para seu uso para os mais diversos fins, como para a seleção de materiais genéticos superiores para produção de madeira. Assim, é necessário que a madeira seja amostrada, para a avaliação das relações existentes entre uma proporção representativa do tronco e uma população ou lote, para viabilizar o estudo das propriedades em larga escala. É nessa etapa que diversos erros são cometidos, muitos deles relacionados à variação dos procedimentos metodológicos, o que compromete a confiabilidade e a comparabilidade dos resultados obtidos (Pádua, 2009).

A forma de amostragem é uma das maiores dificuldades para se obter resultados significativos que representem toda a árvore, em razão da grande variabilidade das características anatômicas, físicas, químicas e mecânicas da madeira, que são verificadas entre árvores e dentro da própria árvore, entre idades e sítios distintos (Zobel & Van Buijtenen, 1989).

A variação da propriedade dentro da árvore e entre árvores e o modo como a característica é controlada geneticamente exercem grande influência no número de amostras para se estimar a média da característica estudada na árvore (Downes et al., 1997), ou seja, a variabilidade da característica se reflete na média geral. O ideal seria retirar amostras múltiplas, a diferentes alturas da árvore e em posições radiais. O número de amostras depende do nível desejado de acurácia, e isso nem sempre é possível, pois a amostragem é mais difícil e demanda tempo.

De todas as propriedades da madeira, a densidade básica é uma das mais estudadas, e os métodos de amostragem são comumente abordados nesses estudos. Há várias metodologias para a determinação da densidade básica da madeira, por meio de discos, toretes, cavacos e baguetas. Benjamin & Ballarin (2004) pesquisaram critérios de amostragem para a avaliação da densidade básica em populações florestais e concluíram que, como era esperado, quanto maior o tamanho da amostra, melhor é a precisão. No entanto, essa melhoria, muitas vezes, não é significativa para justificar um aumento muito grande do tamanho da amostra. Os autores sugerem que a precisão desejada e a disponibilidade de tempo e de árvores para efetuar o estudo, entre outros fatores, devem ser consideradas. Segundo os mesmos autores, amostras entre seis e oito indivíduos resultaram em precisões satisfatórias e estimaram bem a densidade básica da madeira da população de *Eucalyptus*.

É importante conhecer o padrão de variação das propriedades no tronco, nos sentidos longitudinal e radial e, logo após delinear uma adequada estratégia de amostragem que seja representativa da propriedade no tronco, se faz necessária a análise do material coletado (Figura 5).



**Figura 5.** Esquema de um tipo de amostragem que representa a variabilidade do tronco da árvore.

## CONCLUSÕES

As variações quanto à estrutura anatômica no sentido medula-casca devem ser atribuídas, principalmente, às mudanças de comprimento das fibras, ângulo microfibrilar, proporções dos tipos de células, diâmetro celular e espessura da parede celular da madeira. O comprimento das fibras aumenta na direção radial (medula-casca). A espessura de parede das fibras também apresenta variação crescente da medula para a periferia do tronco. Com relação à variação do diâmetro tangencial dos vasos, existe uma tendência de aumento no sentido medula-casca.

A massa específica (densidade básica) é uma das propriedades que mais fornece informações sobre as características da madeira, por estar relacionada com sua resistência e rigidez. Para a densidade básica, há tendência de ocorrerem valores muito baixos na região medular e de crescimento nas posições mais externas do tronco. Essas variações da densidade dependem das mudanças na proporção dos vasos e das espessuras das paredes celulares das fibras.

Um dos principais fatores que influenciam a variação radial das características da madeira está relacionado à ocorrência de lenho juvenil e adulto. Ao se comparar a madeira juvenil com a madeira adulta, é consenso entre os pesquisadores que os ângulos microfibrilares da camada S2, o diâmetro do lúmen, o conteúdo de lignina, o lenho de reação e a contração longitudinal são maiores na madeira juvenil. No entanto, a densidade, o comprimento de fibras, a espessura da parede celular, o conteúdo de celulose, a resistência e a rigidez são maiores na madeira adulta.

A quantificação de cerne/alburno (C/A) é importante para a avaliação da qualidade, em razão das diferenças químicas, físicas e anatômicas que ocorrem nesses dois parâmetros, pois são fatores de variação radial da madeira, cuja caracterização ainda necessita de mais estudos.

## REFERÊNCIAS

- BALDIN, T.; SOUZA, J.T. de; MENEZES, W.M. de; HASELEIN, C.R.; FERREIRA JUNIOR, G. Variação radial das propriedades físicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Enciclopédia Biosfera**, v.11 p.1914-1922, 2015.
- BALLARIN, A.W.; LARA PALMA, H.A. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, v.27, p.371-380, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000300014>.
- BAMBER, R.K.; HORNE, R.; GRAHAM-HIGGS, A. Effect of fast growth on the wood properties of *Eucalyptus grandis*. **Australian Forestry Research**, v.12, p.163-167, 1982.
- BENJAMIN, C.A. **Comparação entre três critérios de amostragem para a avaliação da densidade básica da madeira de florestas implantadas de eucaliptos**. 2002. 131p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, Botucatu.
- BENJAMIN, C.A.; BALLARIN, A.W. Avaliação do comportamento de critérios de amostragem de árvores para a determinação da densidade básica da madeira de populações florestais. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9., 2004, Cuiabá. **Anais**. Cuiabá: Ed. da UFMT, 2004.
- BRASIL, M.A.M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica e das características das fibras em *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden ao nível do dap. **IPEF**, n.5, p.81-90, 1972.
- BRISOLA, S.H. DEMARCO, D. Análise anatômica do caule de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. grandis x urophylla*: desenvolvimento da madeira e sua importância para a indústria. **Scientia Forestalis**, v.39, p.317-330, 2011.
- BROWNING, B.L. (Ed.). **The chemistry of wood**. New York: Interscience, 1963. 689p.
- BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154p.
- CALONEGO, F.W.; SEVERO, E.T.D.; ASSI, P.P. Mensuração do comprimento das fibras para a determinação da madeira juvenil em *Eucalyptus citriodora*. **Scientia Forestalis**, n.68, p.113-121, 2005.
- CARNEIRO, M.F. **Qualidade da madeira de clones de eucalipto utilizados na produção de celulose**. 2017. 74p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro.
- CARPIM, M.A.; BARRICHELO, L.E.G. Influência da procedência e classe de diâmetro sobre as características da madeira de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 17., 1984, São Paulo. **Anais**. São Paulo: ABCP, 1984. p.411-422.

- COSTA, C.G.; CALLADO, C.H.; CORADIN, V.T.R.; CARMELLO-GUERREIRO, S.M. Xilema. In: APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S.M. (Ed.). **Anatomia Vegetal**. Viçosa: Ed. da UFV, 2003. Cap. 5, p.129-154.
- CRUZ, C.R. da; LIMA, J.T.; MUNIZ, G.I.B. de. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, n.64, p.33-47, 2003.
- DELUCIS, R. de A.; GATTO, D.A.; STANGERLIN, D.M.; CADEMARTORI, P.H.G. de; WEINERT, L.C.; VEGA, R. de A. Segregação e variação radial de propriedades físicas da madeira juvenil e adulta de cedro (*Cedrela fissilis* Vellozo). **Scientia Forestalis**, v.41, p.549-556, 2013.
- DIAS, D.C.; COLODETTE, J.L.; THIERSCH, C.R.; LEITE, H.G.; GOMIDE, J.L. Uso da técnica de resistografia e de variáveis dendrométricas na modelagem da densidade básica de povoamentos clonais de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, v.27, p.609-619, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509827746>.
- DOWNES, G.M.; HUDSON, I.L.; RAYMOND, C.A.; DEAN, G.H.; MICHELL, A.J.; SCHIMLECK, L.R.; EVANS, R.; MUNERI, A. **Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties**. Melbourne: CSIRO, 1997. 126p. DOI: <https://doi.org/10.1071/9780643105287>.
- EVANGELISTA, W.V.; SILVA, J. de C.; VALLE, M.L.A.; XAVIER, B.A. Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Scientia Forestalis**, v.38, p.273-284, 2010.
- GALVÃO, A.P.M.; JANKOWSKY, I.P. **Secagem Racional da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. v.1, 112p.
- GOMINHO, J.; FIGUEIRA, J.; RODRIGUES, J.C.; PEREIRA, H. Within-tree variation of heartwood, extractives and wood density in the eucalypt hybrid *urograndis* (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*). **Wood and Fiber Science**, v.33, p.3-8, 2001.
- HANS, A.S.; BURLEY, J.; WILLIAMSON, P. Wood quality in *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden, Grown in Zambia. **Holzforchung**, v.26, p.138-141, 1972.
- JUIZO, C.G.F.; LOIOLA, P.F.; ZEN, L.R.; MARCHESIN, R.; CARVALHO, D.E.; BILA, N.F.; EGAS, A.F.; ROCHA, M.P. da; KLITZKE, R.J. Variação radial das propriedades físicas da madeira de *Pinus patula* plantados em Moçambique. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.35, p.285-292, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.83.771>.
- LARA PALMA, H.A.; LEONELLO, E.C.; BALLARIN, A.W. Demarcação da madeira juvenil e adulta de *Corymbia citriodora*. **Cerne**, v.16, p.114-148, 2010. Suplemento.
- LATORRACA, J.V. de F.; ALBUQUERQUE, C.E.C. de. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v.7, p.279-291, 2000.
- LIMA, J.T. **Clonal variation in the solid wood properties of Eucalyptus**. 1999. 276p. Tese (Doutorado) - University of Wales, Bangor.
- MCKENZIE, H.M.; SHELBOURNE, C.J.A.; KIMBERLEY, M.O.; MCKINLEY, R.B.; BRITTON, A.J. Processing young plantation-grown *Eucalyptus nitens* for solid-wood products: 2. Predicting product quality from tree, increment core, disc, and 1-m billet properties. **New Zealand Journal Forestry Science**, v.33, p.79-113, 2003.
- MIRANDA, M.C. de; CASTELO, P.A.R.; MIRANDA, D.L.C. de; RONDON, E.V. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Parkia gigantocarpa* Ducke. **Ciência da Madeira**, v.3, p.55-65, 2012.
- MOREIRA, W. da S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira**. 1999. 107p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- NOGUEIRA, M.V.P.; VALE, A.T. do. Densidade básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* proveniente de cerrado: relação com a densidade básica média e variação radial e axial. **Revista Árvore**, v.21, p.547-554, 1997.
- OLIVEIRA, J.T. da S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1998. 429p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- OLIVEIRA, J.T.S.; SILVA, J.C. Variação Radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, v.27, p.381-385, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000300015>.
- PÁDUA, F.A. de. **Amostragem para avaliação da densidade básica da madeira de um híbrido de Eucalyptus grandis W.Hill ex Maiden x Eucalyptus urophylla S. T. Blake**. 2009. 87p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology: structure, identification, properties, and uses of the commercial woods of the United States and Canada**. 4<sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill, 1980.
- PERES, M.L. de ; GATTO, D.A. ; STANGERLIN, D.M. ; CALEGARI, L. ; BELTRAME, R. ; HASELEINC.R. SANTINI, E.J. Idade de segregação do lenho juvenil e adulto pela variação da massa específica de açoita-cavalo. **Ciência Rural**, v.42, p.1596-1602, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012000900013>.
- RAMAY, W.; BRIGGS, D. Juvenile wood: has it come of age. In: A TECHNICAL WORKSHOP: JUVENILE WOOD: WHAT DOES MEAN TO FOREST MANAGEMENT AND FOREST PRODUCTS, 1985, Washington. **Proceedings**. Madison: Forest Products Research Society, 1986. p.5-11.

- RAMOS, L.M.A.; LATORRACA, J.V. de F.; PASTRO, M.S.; SOUZA, M.T. de; GARCIA, R.A.; CRAVALHO, A.M. de. Variação radial dos caracteres anatômicos da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden e idade de transição entre lenho juvenil e adulto. **Scientia Forestalis**, v.39, p.411-418, 2011.
- REIS, A.A. dos; PROTÁSIO, T. de P.; MELO, I.C.N.A. de; TRUGILHO, P.F.; CARNEIRO, A. de C.O. Composição da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus urophylla* em diferentes locais de plantio. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.32, p.277-290, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.71.277>.
- SILVA, D.A. da; TRUGILHO, P.F. Comportamento dimensional da madeira de cerne e alburno utilizando-se a metodologia de análise de imagem submetida a diferentes temperaturas. **Revista Cerne**, v.9, p.56-65, 2003.
- SILVA, J. de C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 179p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- SILVA, J.C.; TOMAZELLO FILHO, M.; OLIVEIRA, J.T. da S.; CASTRO V.R. de. Influência de idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, v.31, p.1081-1090, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000600013>.
- SOUSA, R.C.; GIOVANINI, É.P.; LIMA, I.L. de; FLORSHEIM, S.M.B.; GARCIA, J.N. Efeito da idade e da posição radial na densidade básica e dimensões dos traqueídeos da madeira de *Pinus taeda* L. **Revista do Instituto Florestal**, v.19, p.119-127, 2007.
- TOMAZELLO FILHO, M. Estrutura anatômica da madeira de oito espécies de eucalipto cultivadas no Brasil. **IPEF**, v.29, p.25-36, 1985.
- TRUGILHO, P.; SILVA, J.R.M. DA; MORI, F.A.; LIMA, J.T.; MENDES, L.M.; MENDES, L.F. de B. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, v.11, p.178-186, 2005.
- TUNG, E.S.C.; FREITAS, M.L.M.; FLORSHEIM, S.M.B.; LIMA, I.L. de; LONGUI, E.L.; SANTOS, F.W.; MORAES, M.L.T. de; SEBBENN, A.M. Variação genética para caracteres silviculturais e anatômicos da madeira em progênies de *Myracrodruon urundeuva* (Engler) Fr. Allem. **Scientia Forestalis**, v.38, p.499-508, 2010.
- VALE, A.T. do; ROCHA, L.R.; DEL MENEZZI, C.H.S. Massa específica básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cultivado em cerrado. **Scientia Forestalis**, v.37, p.387-394, 2009.
- VIDAURRE, G.; LOMBARDI, L.R.; OLIVEIRA, J.T. da S.; ARANTES, M.D.C. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v.18, p.469-480, 2011. DOI: <https://doi.org/10.4322/foram.2011.066>.
- WILKINS, A.P. Influence of silvicultural treatments on growth and wood density of *Eucalyptus grandis* grown on a previous pasture site. **Australian Forestry**, v.53, p.168-172, 1990.
- WILKINS, A.P.; HORNE, R. Wood-density variation of young plantation-grown *Eucalyptus grandis* in response to silvicultural treatments. **Forest Ecology and Management**, v.40, p.39-50, 1991.
- ZOBEL, B.; TALBERT, J. **Applied Forest Tree Improvement**. New York: John Wiley & Sons, 1984.
- ZOBEL, B.J. The changing quality of the world wood supply. **Wood Science and Technology**, v.18, p.1-17, 1984. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00632127>.
- ZOBEL, B.J.; VAN BUIJTENEN, J.P. **Wood variation: its causes and control**. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 363p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-74069-5>.
-