

# DENSITOMETRIA DE RAIOS X NA MADEIRA E CARVÃO DE CLONE DE *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden X *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake<sup>1</sup>

Marina Donária Chaves Arantes<sup>2\*</sup>, Paulo Fernando Trugilho<sup>3</sup>, Mario Tomazello Filho<sup>4</sup>, José Tarcísio Lima<sup>5</sup> e Graziela Baptista Vidaurre<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Recebido em 08.07.2013 aceito para publicação em 27.11.2016.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Agrárias, Jerônimo Monteiro, Espírito Santo - Brasil. E-mail: <mdonariac@hotmail.com>.

<sup>3</sup> Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais, Lavras, Minas Gerais - Brasil. E-mail: <trugilho@dcf.ufla.br>.

<sup>4</sup> Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Departamento de Ciências Florestais, Piracicaba, São Paulo - Brasil. E-mail: <mtomazel@esalq.usp.br>.

<sup>5</sup> Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais, Lavras, Minas Gerais, Brasil. E-mail: <jtlima@dcf.ufla.br>.

<sup>6</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Agrárias, Jerônimo Monteiro, Espírito Santo - Brasil. E-mail: <grazividaurre@gmail.com>.

\*Autor para correspondência.

**RESUMO** – O objetivo deste trabalho foi determinar a densidade relativa aparente por meio da técnica de raios X da madeira e do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com 6 anos. A amostragem consistiu na retirada de baguetas de 2 cm de diâmetro no DAP, com trado motorizado, em 50 árvores distribuídas em três classes de diâmetro. Após a determinação da densidade relativa aparente das baguetas, pela técnica de densitometria por raios X, as amostras foram carbonizadas em um forno elétrico (mufla) e suas densidades, determinadas pela mesma técnica. Os valores mais altos de densidade aparente da madeira utilizando a técnica de raios X foram encontrados nas classes diamétricas de 14,1 e 11,4 cm. Os valores de densidade relativa aparente nas amostras de carvão tenderam a aumentar no sentido medula-casca em todas as classes diamétricas.

Palavras-chave: Qualidade; Densidade; Classe diamétrica

## ***X-RAY DENSITOMETRY IN WOOD AND CHARCOAL OF CLONE OF *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden X *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake***

**ABSTRACT** – This research aimed to determine the apparent relative density by X-ray technique of wood and charcoal from a *Eucalyptus grandis* x *urophylla* hybrid clone with six years-old. The sampling consisted of the removal of 2 cm diameter (DBH) increment cores, with a motorized borer, in fifty trees distributed in three diameter classes. After the determination of the relative apparent density of the cores, by the x-ray densitometry technique, the samples were carbonized in an electric oven (muffle) and their densities determined by the same technique. The highest apparent density values of the wood using the x-ray technique was found for the diameter classes of 14.1 and 11.4 cm. The relative apparent density values in the samples of charcoal tended to increase in the pith-bark direction in all of the diameter classes.

Keywords: *Quality; Density; Diameter class.*



## 1. INTRODUÇÃO

A densidade da madeira é um dos índices mais importantes para avaliar a qualidade da madeira para os mais diversos usos, pois é de fácil determinação, está relacionada com outras propriedades da madeira e possui alta herdabilidade. A densidade é a consequência e não a causa da distribuição, tipos e composição dos elementos anatômicos que compõem a madeira; então, ela é uma característica que deve ser utilizada com cautela na hora de se avaliar a qualidade da madeira (FOELKEL et al., 1990).

Vários são os métodos para a determinação da densidade da madeira, entre os quais vem ganhando espaço a densitometria por raios X. As pesquisas com esse método se desenvolveram muito, juntamente com a incorporação de técnicas computacionais na leitura dos filmes radiográficos (TOMAZELLO FILHO, 2006; TOMAZELLO FILHO et al., 2008). Segundo Amaral (1994), a densitometria de raios X é uma técnica que consiste na obtenção de radiografias de uma fina secção transversal de madeira sobre um filme radiográfico. Esse filme exposto à fonte de raios X e, pela passagem da radiação por meio da amostra de madeira, forma-se uma imagem da sua estrutura transversal.

Silva (2002) utilizou a densitometria de raios X em madeiras de árvores de *Eucalyptus grandis*, com quatro diferentes idades, concluindo que houve aumento da densidade aparente da madeira no sentido medular-casca. Para as árvores com 10 anos, a densidade aparente média foi de  $0,46 \text{ g cm}^{-3}$ , sendo 50% da seção radial próxima da medula formada por madeira juvenil; aos 25 anos, a densidade aparente média foi de  $0,63 \text{ g cm}^{-3}$ . Sette Júnior et al. (2009) estudaram o efeito da aplicação de potássio e sódio nas características do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, aos 24 meses de idade. Eles concluíram que o modelo de variação radial da densidade aparente do lenho utilizando a técnica de raios X não demonstrou diferenças significativas nas árvores de eucalipto dos três tratamentos utilizados, sendo os perfis radiais de densidade aparente característicos de madeira juvenil de árvores de eucalipto. Observaram também que os maiores valores de densidade aparente do lenho foram observados próximos à medula ( $0,80\text{-}1,20 \text{ g cm}^{-3}$ ), pela presença de substâncias de reserva (amido) nas células do parênquima axial, seguindo-se sua redução e estabilização ( $0,30\text{-}0,50 \text{ g cm}^{-3}$ ) até atingir a casca e, ainda, que a densidade aparente média do lenho das

árvores de eucalipto dos tratamentos 1 (testemunha), 2 (aplicação de potássio) e 3 (aplicação de sódio) foram de  $0,54$ ;  $0,52$ ; e  $0,53 \text{ g cm}^{-3}$ , respectivamente.

Para expressar a qualidade da madeira e do carvão vegetal, a densidade é considerada um dos melhores parâmetros. Mendes et al. (1982) afirmaram que a densidade é característica muito importante na qualidade do carvão, pois afetar as suas demais propriedades e, ainda, que a densidade do carvão é variável em função de suas características, como granulometria e presença de trincas.

Fatores relacionados com o processo de carbonização podem afetar a densidade do carvão produzido, como a temperatura final de carbonização e a velocidade de aquecimento. Oliveira et al. (1982), estudando tecnologias para o melhor aproveitamento da madeira de *Eucalyptus grandis* de sete localidades diferentes e do coco babaçu, para a produção de carvão vegetal em escala de laboratório, concluíram que para as características de densidade verdadeira e porosidade ocorre aumento com a temperatura de carbonização. A densidade relativa aparente do carvão tem estreito relacionamento com a densidade da madeira que lhe deu origem. Foi observado neste trabalho que, quanto maior a densidade da madeira, maior também a densidade do carvão produzido e menor a porosidade e o carvão proveniente de babaçu tem maior densidade e, conseqüentemente, menor porosidade do que o carvão de *Eucalyptus grandis*.

Trugilho et al. (2005) avaliaram os rendimentos e as características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem na madeira de seis clones de *Eucalyptus* spp. Observaram tendência de maior produção de carvão vegetal nas posições intermediária e central, exceto em dois clones (5 e 6), e também que a densidade relativa aparente do carvão possui comportamento inverso, ou seja, foi maior na posição radial externa e menor na posição radial central, exceto para o clone 3. Esse comportamento era esperado, uma vez que a densidade da madeira possui tendência de aumento do centro para a periferia do tronco.

Diante do exposto, este trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a variação da densidade aparente da madeira, no sentido radial do tronco das árvores, pelo método de densitometria de raios X, bem como verificar a utilização da técnica para determinação da densidade relativa aparente no carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Material biológico

Foram amostradas 50 árvores de um clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 6 anos de idade, plantado em espaçamento 3 x 2 m, proveniente do Município de Martinho Campos, MG, pertencentes ao grupo ArcelorMittal Florestas. No local de amostragem foi lançada uma parcela de 10 linhas x 10 plantas, onde foi mensurado o diâmetro de todas as árvores para a classificação por diâmetro.

Foram consideradas três classes diamétricas, e o número de árvores amostradas por classe foi definido pelo percentual participativo em relação à população, como se observa na Tabela 1. Definido o número de indivíduos por classe diamétrica, foram selecionadas aquelas árvores que se encontravam dentro desses intervalos.

### 2.2. Determinação da densidade aparente por raios X

As baguetas, retiradas das árvores à altura de 1,30 m do solo (DAP) por meio de um trado motorizado, foram fixadas em suporte de madeira e seccionadas com 2,0 mm de espessura, em serra circular dupla paralela.

As seções transversais do lenho foram acondicionadas em câmara climática com temperatura de 20 °C e umidade relativa de 50% UR até atingirem 12% de umidade. Após a climatização, as amostras foram dispostas sobre filme de raios X (Kodak, Mamography Film MIN-R 2000, 180 x 240 mm), com uma cunha de calibração de acetato de celulose (densidade: 1,48 g cm<sup>-3</sup>), em condições de câmara escura. As amostras do lenho e a cunha de calibração foram transferidas para equipamento de raios X (Hewlett Packard, Faxitron 43805 N; 1,20 m distância da fonte de raios X filme) e irradiadas por 5 min de exposição, 16 Kv de tensão aceleradora no tubo, 3 mA de corrente de aquecimento do cátodo. Os filmes radiográficos das amostras de

madeira e cunha de calibração foram revelados em aparelho Macrotec MX-2, segundo os procedimentos descritos por Amaral e Tomazello Filho (1998).

Os filmes radiográficos das amostras do lenho foram digitalizados em *scanner* Hewlett Packard ScanJet 6100C/T, a uma resolução de 1.000 dpi (pixel por polegada), em escala de cinza de 256 graus. Na imagem digitalizada, foram realizadas comparações entre a escala de cinza das amostras de madeira com a da curva-padrão, cujos valores de densidade são conhecidos, sendo determinados os valores de densidade e estes, convertidos para o arquivo tipo DEN, por meio do software CRAD. Na sequência, o arquivo DEN foi lido com o auxílio do software CERD, considerando 500 pontos de determinação de valores de densidade ao longo do comprimento de uma seção da amostra do lenho (eixo X) e 10 em sua altura (eixo Y), para os segmentos de 25% do comprimento total. As análises das seções transversais do lenho originam um arquivo tipo TXT contendo os valores pontuais de densidade, e os respectivos gráficos dos perfis de densidade aparente do lenho de todos os raios das árvores foram obtidos por meio do Microsoft Office Excel (CHAGAS, 2009).

### 2.3. Aplicação da técnica de densitometria de raios X no carvão

As seções transversais do lenho utilizadas para determinação da densidade aparente por raios X da madeira do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* foram carbonizadas em forno elétrico (mufla) adaptado; o controle do aquecimento foi digital, com incrementos de 15 °C a cada 30 min, o que correspondeu a uma taxa média de aquecimento de 0,5 °C por minuto. A temperatura inicial foi sempre igual a 150 °C e a temperatura máxima, de 450 °C, permanecendo estabilizada por um período de 30 min. O tempo total de carbonização foi, portanto, de 10 h.

**Tabela 1** – Distribuição das árvores do clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, nas classes diamétricas.

**Table 1** – Distribution of trees of a *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake clone, in diameter classes.

Classe (cm)	Centro de classe (cm)	Frequência	Participação na parcela (%)
12,8 a 17,0	14,2	23	47
9,7 a 12,7	11,4	19	38
3,1 a 9,5	8,1	8	15
Total		50	100

Do total de amostras carbonizadas, foram selecionadas 12, com superfície de melhor qualidade para análise das seções transversais, seguindo a mesma metodologia aplicada à madeira, como descrito no subitem 2.2.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Densidade aparente da madeira por raios X

Os valores de densidades aparentes média, mínima e máxima das amostras do lenho das árvores por classe diamétrica estão na Tabela 2.

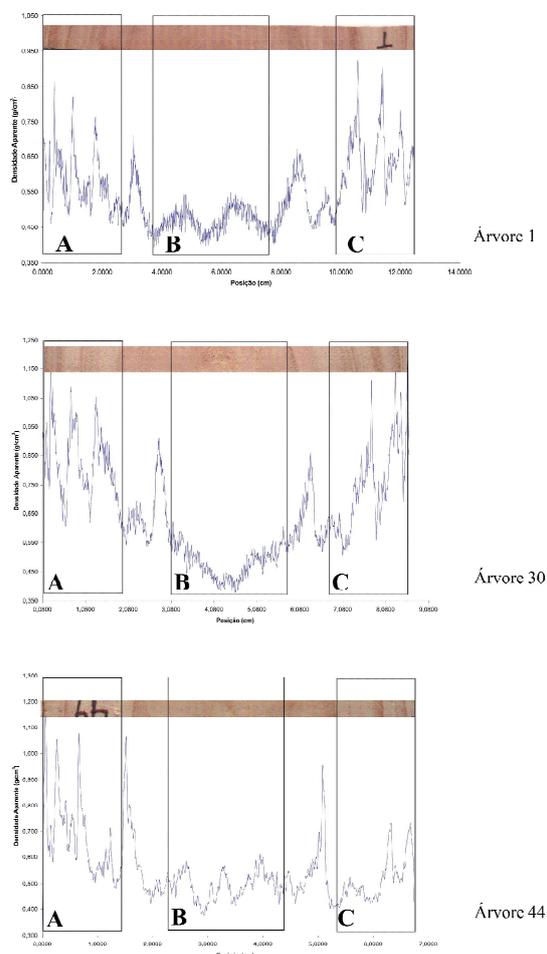
Como ilustração, os perfis densitométricos do lenho das amostras diamétricas das árvores 1, 30 e 44, referentes às classes diamétricas de 14,2; 11,4; e 8,1 cm, respectivamente, podem ser observados na Figura 1.

O perfil da densidade aparente do lenho possibilitou verificar importantes respostas das árvores, como a presença de picos de densidade delimitando regiões distintas no lenho destas, uma região interna (B) da medula e duas regiões externas (A e C), com variações nos comprimentos dependentes das classes diamétricas, indicando a presença nítida da região medular (B).

Nas regiões internas do lenho (B) em todas as classes diamétricas estudadas, os modelos de variação são semelhantes. Nesses segmentos, as densidades aparentes mínima e máxima foram de 0,397; 0,375; 0,377 g cm<sup>-3</sup> e 0,549; 0,541; e 0,587 g cm<sup>-3</sup>, respectivamente, para as três classes diamétricas. Nas regiões externas do lenho (A e C), os modelos de variação da densidade aparente são característicos nas três classes diamétricas, além do comprimento diferenciado dos raios. Observou-se que houve aumento da densidade aparente no sentido medula-casca em todas as amostras.

#### 3.2. Densitometria por raios X no carvão vegetal

Os valores médios de densidade relativa aparente, espessura e comprimento das amostras de madeira e



**Figura 1** – Perfil da densidade aparente do lenho das amostras diamétricas por raios-X das árvores 1, 30 e 44, referentes às três classes diamétricas, 14,2; 11,4; e 8,1 cm, respectivamente, em que A e C representam as regiões externas e B, a região interna (medula).

**Figure 1** – Profile of the wood apparent density of the diameter samples by X-ray of trees 1, 30 and 44, regarding the three diameter classes, 14.2; 11.4 and 8.1 cm, respectively; in which A and C represent external regions and B, the internal region (pith).

**Tabela 2** – Densidades aparentes média, máxima e mínima das amostras do lenho das árvores do clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.

**Table 2** – Maximum, minimum and average apparent density of wood samples from trees of a *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake clone.

Classe (cm)	Densidade aparente (g cm <sup>-3</sup> )		
	Máxima	Mínima	Média
14,2	0,989	0,398	0,589
11,4	1,049	0,387	0,576
8,1	0,962	0,357	0,517

carvão para quatro árvores do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e classes diamétricas podem ser observados na Tabela 3.

Os valores de densidade relativa aparente média possuem tendência a diminuir com a redução da classe diamétrica, tendo o valor mais baixo sido encontrado na classe de 8,1 cm, com 0,167 g cm<sup>-3</sup>. Os valores mais altos foram encontrados na classe de 14,2 cm, com 0,260 g cm<sup>-3</sup>, seguida pela classe de 11,4 cm, com 0,201 g cm<sup>-3</sup>. O mesmo comportamento foi observado nas densidades relativas aparentes máximas e mínimas, cujos valores médios de máxima densidade nas classes de 8,1 cm, 11,4 cm e 14,2 cm foram, respectivamente, de 0,306 g cm<sup>-3</sup>, 0,369 g cm<sup>-3</sup> e 0,469 g cm<sup>-3</sup>.

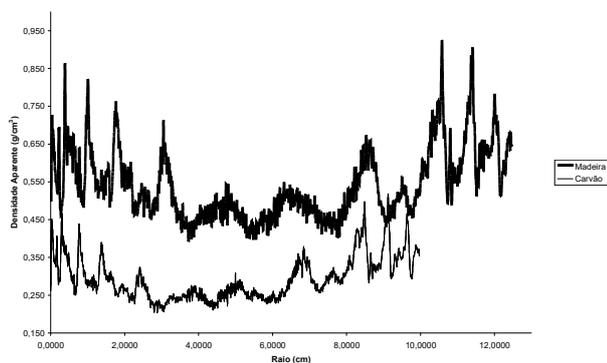
O perfil de variação da densidade aparente da amostra diametral de madeira e carvão vegetal da árvore 1, referente à classe diamétrica de 14,2 cm, pode ser visualizado na Figura 2.

O primeiro perfil representa a variação da densidade aparente da madeira de uma extremidade à outra da amostra, passando pela medula; e o segundo perfil corresponde à variação da densidade relativa aparente do carvão para a mesma amostra. Observou-se que a variação foi semelhante entre os dois perfis, porém a magnitude da variação foi reduzida no carvão vegetal. Isso ocorreu por causa da degradação térmica da madeira e da eliminação do material volátil que, normalmente, ocorre durante a carbonização.

**Tabela 3** – Valores médios de densidades relativas aparente, espessura e comprimento das amostras de madeira e carvão do clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.

**Table 3** – Average values of relative apparent density, thickness and length of wood and charcoal samples from the *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake clone.

Classe (cm)	Árvore	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )						Espessura (mm)		Comprimento (cm)	
		Máxima		Mínima		Média		Madeira	Carvão	Madeira	Carvão
		Madeira	Carvão	Madeira	Carvão	Madeira	Carvão				
14,2	1	0,925 (9,76)	0,451 (12,27)	0,392 (23,04)	0,178 (31,09)	0,536 (16,85)	0,252 (21,94)	1,97	1,74	12,47	9,97
	9	1,122 (11,11)	0,509 (10,05)	0,400 (31,17)	0,191 (26,83)	0,601 (20,74)	0,262 (19,53)	1,93	1,75	11,95	9,53
	14	0,989 (12,88)	0,391 (12,52)	0,370 (34,40)	0,184 (26,59)	0,579 (22,02)	0,250 (19,56)	1,97	1,81	11,52	9,44
	15	0,844 (12,31)	0,523 (8,60)	0,364 (28,52)	0,206 (21,81)	0,523 (19,87)	0,274 (16,41)	1,97	1,81	11,57	9,33
	Média	0,970 (11,21)	0,469 (10,70)	0,382 (28,30)	0,190 (26,41)	0,560 (19,28)	0,260 (19,30)	1,96	1,78	11,88	9,57
11,4	28	1,305 (11,11)	0,384 (11,70)	0,429 (33,84)	0,174 (25,80)	0,635 (22,84)	0,239 (18,81)	1,94	1,74	8,61	6,79
	29	1,315 (13,72)	0,374 (10,47)	0,463 (38,94)	0,150 (26,11)	0,731 (24,69)	0,216 (18,13)	1,96	1,80	8,70	6,89
	30	1,205 (14,22)	0,314 (13,50)	0,374 (45,78)	0,089 (47,62)	0,655 (26,17)	0,161 (26,33)	1,95	1,77	8,63	7,05
	42	1,157 (12,12)	0,405 (12,76)	0,386 (36,38)	0,122 (42,36)	0,583 (24,06)	0,190 (27,20)	1,93	1,77	9,48	7,76
Média	1,246 (12,66)	0,369 (12,06)	0,413 (37,40)	0,134 (33,29)	0,651 (24,16)	0,201 (22,11)	1,95	1,77	8,85	7,12	
8,1	44	1,076 (11,42)	0,327 (14,98)	0,374 (32,83)	0,095 (51,57)	0,552 (22,28)	0,162 (30,24)	1,96	1,78	6,73	5,36
	47	1,068 (11,82)	0,358 (13,65)	0,351 (35,97)	0,120 (40,71)	0,498 (25,39)	0,193 (25,31)	1,96	1,72	6,50	5,08
	49	0,901 (11,64)	0,213 (16,12)	0,325 (32,27)	0,042 (81,74)	0,458 (22,91)	0,109 (31,49)	1,98	1,76	7,77	6,25
	50	0,657 (10,41)	0,325 (12,58)	0,332 (20,59)	0,109 (37,52)	0,436 (15,68)	0,204 (20,05)	1,96	1,81	6,93	5,58
Média	0,926 (12,11)	0,306 (14,15)	0,346 (32,37)	0,092 (47,29)	0,486 (22,19)	0,167 (25,91)	1,97	1,77	6,98	5,57	



**Figura 2** – Variação da densidade aparente da madeira e do carvão do clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.

**Figure 2** – Variation in apparent density of wood and charcoal for *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake clone.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. Densidade aparente da madeira por raios X

A densidade aparente tendeu a diminuir com a redução da classe diamétrica, nos valores médios e mínimos, enquanto os valores máximos não possuem esse mesmo comportamento.

Ocorreram picos de densidade delimitando regiões distintas no lenho, com variações nos comprimentos dependentes das classes diamétricas, indicando a presença nítida da região medular. Segundo Tomazello Filho et al. (2008), há ocorrência de menores valores de densidade aparente do lenho na região central, com aumento gradativo em direção à casca; oscilações dos valores radiais devido aos elementos de vaso de maior diâmetro; picos de densidade nas camadas de crescimento de fibras espessadas; e menor diâmetro dos vasos. O perfil da variação da densidade aparente verificado neste trabalho foi diferente do observado por Sette Júnior et al. (2009), que, estudando o efeito da aplicação de potássio e sódio nas características do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis*, aos 24 meses de idade, obtiveram valores mais altos de densidade próximos à medula, seguidos de redução e estabilização, próximos à casca.

### 4.2. Densitometria por raios X no carvão vegetal

O comprimento das amostras de madeira foi variável em função do diâmetro das árvores. As amostras de maiores tamanhos estão dentro da classe diamétrica

de 14,2 cm, com valor médio de 9,57 cm; na segunda classe de 11,4 cm, média de 7,12 cm; e na classe de 8,1 cm, amostras com 5,57 cm de comprimento.

Observa-se que ocorreu diminuição nos valores de densidade aparente da madeira para a densidade relativa aparente do carvão vegetal, o que se deve ao processo de carbonização, no qual ocorre a degradação térmica dos constituintes da madeira.

A porcentagem de redução da densidade aparente média da madeira para o carvão vegetal foi variável em função da classe diamétrica, tendo a classe de 11,4 cm a maior redução, com 69%, seguida pela classe de 8,1 cm, com 65%, e pela classe 14,1 cm, com 53% de redução. Esse mesmo comportamento foi observado quanto à densidade aparente máxima da madeira em relação ao carvão vegetal, em que a maior redução também ocorreu na classe diamétrica de 11,4 cm, com 70%; na classe de 8,1 cm, uma redução de 66%; e na classe de 14,2 cm, com 51% de redução.

Para a densidade aparente mínima da madeira em relação à do carvão vegetal, a maior redução ocorreu na classe diamétrica de 8,1 cm, com 74%, seguida da classe de 11,4 cm, com 68%; e a classe de 14,1 cm, com 50%.

A espessura média das amostras, que inicialmente era de 1,96 mm, sofreu diminuição com o processo de carbonização, ficando com valores próximos para todas as classes diamétricas (1,78 mm), o que representou redução de apenas 9%. Essa diminuição na espessura da amostra não interferiu na coleta de dados para determinação da densidade aparente, o que não era esperado, pois o aparelho tem calibração inicial para madeira, e esta foi mantida nas amostras de carvão vegetal.

As amostras de carvão sofreram maior redução em seu comprimento, para todas as classes diamétricas em estudo. Antes do processo de carbonização, as amostras possuíam, em média, 9,24 cm de comprimento e, após, nessas mesmas amostras ocorreu redução média de 20%, passando a ter 7,42 cm no comprimento. O percentual de redução das amostras foi maior no sentido do comprimento do que na espessura, o que se deve à disposição dos tecidos vegetais e à organização das células.

Analisando o perfil densitométrico da madeira e do carvão vegetal (Figura 2), verificam-se similaridades entre os dois, ocorrendo valores menores de densidade

relativa aparente do lenho na região central (setas hachuradas), com aumento gradativo em direção à casca. Oscilações dos valores radiais ocorreram por causa dos elementos de vaso de maior diâmetro; picos de densidade (setas cheias) são verificados e podem ser uma resposta de camadas de crescimento de fibras espessadas e menor diâmetro dos vasos. Esse mesmo comportamento de variação de densidade aparente para a madeira foi relatado por Alzate (2004) e Tomazello Filho et al. (2008).

Arantes et al. (2013) avaliaram a densidade relativa aparente por meio da imersão em água, como descrito na norma NBR 11941 (ABNT, 2003) do carvão vegetal procedente da mesma madeira deste estudo. Comparando os métodos para determinação da densidade relativa aparente do carvão deste trabalho com o utilizado por Arantes et al. (2013), observou-se que houve diferenças nos valores encontrados. Essas diferenças são decorrentes dos métodos utilizados na sua determinação, tendo, no método de imersão em água, os valores encontrados sido, de forma geral, maiores que os da densidade determinada pelo método de raios X. Esse fato está relacionado ao cômputo dos espaços vazios das amostras no método de imersão, enquanto nos raios X isso não ocorre.

## 5. CONCLUSÕES

- Os valores mais altos de densidade aparente na madeira foram encontrados nas classes diamétricas de 14,2 e 11,4 cm, com 0,589 e 0,576 g cm<sup>-3</sup>, respectivamente.
- A técnica de densitometria por raios X é confiável para determinação da densidade relativa aparente do carvão vegetal.
- Os valores de densidade relativa aparente média tenderam a diminuir com a redução da classe diamétrica, ocorrendo aumento da densidade relativa aparente no sentido medula-casca em todas as amostras.

## 6. REFERÊNCIAS

- AMARAL, A.C.B. **Implantação da metodologia de densitometria de raios X em madeira**. 1994. 143f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.
- AMARAL, A.C.B.; TOMAZELLO FILHO, M. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* pela técnica de microdensitometria de raios X. **Revista de Ciência e Tecnologia**, v.6, n.11/12, p.17-23, 1998.
- ALZATE, S.B.A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis* x *urophylla***. 2004. 133f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Produtos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- ARANTES, M.D.C.; TRUGILHO, P.F.; SILVA, J.R.M.; ANDRADE, C.R. Características do Carvão Vegetal de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Revista Cerne**, v.19, n.3, p.423-431, 2013.
- CHAGAS, M.P. **Caracterização dos anéis de crescimento e dendrocronologia de árvores de *Grevillea robusta* A. Cunn, *Hovenia dulcis* Thunb., *Persea americana* Mill., *Tabebuia pentaphylla* Hemsl. e *Terminalia catappa* L. nos municípios de Piracicaba e Paulínia, SP**. 2009. 93f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- FOELKEL, C.E.B.; MORA, E.; MEMOCHELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. p.719-728.
- MENDES, M.G.; GOMES, P.A.; OLIVEIRA, J.B. Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal. In: PENEDO, W.R. (Ed.). **Produção e utilização do carvão vegetal**. Belo Horizonte: CETEC, 1982. p.76-89.
- OLIVEIRA, J.B.; GOMES, P.A.; ALMEIDA, M.R. Caracterização e otimização do processo de fabricação de carvão vegetal em fornos de alvenaria. In: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Carvão vegetal: destilação, carvoejamento, propriedades, controle de qualidade**. Belo Horizonte: 1982. p.62-102.

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.

SILVA, J.C. **Caracterização da madeira de *E. grandis* de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira.** 2002. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Paraná, Curitiba, 2002.

TOMAZELLO FILHO, M. **Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* x**

***urophylla*.** 2006. 146f.. Tese (Livre Docência em Ciência e Tecnologia de Madeira) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

TOMAZELLO FILHO, M.; BRAZOLIN, S.; CHAGAS, M.P.; OLIVEIRA, J.T.S.; BALLARIM, A.W.; BENJAMIN, C.A. Application of X-ray technique in nondestructive evaluation of *Eucalypt* Wood. **Maderas: Ciência y Tecnología**, v.10, n.2, p.139-149, 2008.

TRUGILHO, P.F.; SILVA, J.R.M.; LIMA, J.T.; MENDES, L.M.; MENDES, L.F.B. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial da amostragem em clones de *Eucalyptus*. **Revista Cerne**, v.11, n.2, p.178-186, 2005.