

IPEF n.47, p.22-28, mai.1994

CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO DAS ÁRVORES E DE QUALIDADE DA MADEIRA DE *EUCALYPTUS CAMALDULENSIS* PARA A PRODUÇÃO DE CARVÃO

Benedito Rocha Vital⁽¹⁾
Jimmy de Almeida⁽²⁾
Oswaldo Ferreira Valente⁽¹⁾
Ismael Eleotério Pires⁽¹⁾

ABSTRACT - The objective of this research was to evaluate the genetic variability between growth characteristics, wood density, wood chemical composition, and wood charcoal characteristics for 33 months old progenies of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. Trees were cultivated by Mannesmann Fi-El-Florestal Company, in Paraopeba, Minas Gerais. Tree diameter and height were measured. Wood density and chemical composition were determined. Wood was carbonized at a maximum temperature of 450°C. Temperature was increased at a rate of 64°C/hour. Charcoal production and chemical composition were determined. Mean tree height and diameter were equal to 9,56 m and 7,48 cm respectively. Mean wood density was equal to 0,48 g/cm³. Mean lignin and holocellulose contents were, respectively, equal to 29,65% and 70,35%. Charcoal mean production was equal to 32,36% with 76,28% of carbon, 22,95% of volatiles and 0,97 of ash. Carbon yield was equal to 26,66%. Significant positive correlations were observed between wood density and charcoal volatile content, between charcoal yield and wood lignin content and between wood extractives and holocellulose content. Significant negative correlations were observed between wood density and charcoal yield, charcoal carbon content and carbon yield, between charcoal yield and holocellulose content, and between wood lignin and extractives content. It was concluded that except for growth characteristics, the perspective for genetic improvement is very small among progenies.

RESUMO - Este trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade genética das características de crescimento e das características da madeira e do carvão vegetal de vinte e cinco progênes de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn, origem Petford/Qld, com trinta meses de idade, cultivados pela Mannesmann Fi-El-Florestal, em Paraopeba, Minas Gerais. Foram avaliados diâmetro e altura das árvores, densidade básica e constituição química da madeira. Posteriormente, a madeira foi carbonizada à temperatura máxima de 450°C, velocidade aproximada de aquecimento de 64°C por hora, determinando-se o rendimento gravimétrico e a composição química imediata do carvão. A média geral da altura foi igual a 9,56 m e do DAP 7,49 cm. A densidade básica média foi igual a 0,48 g/cm³. Os teores médios de lignina e holocelulose foram, respectivamente, iguais a 29,65% e 70,35%. A carbonização da madeira produziu em média 32,36% de carvão com 72,28% de carbono fixo, 22,95% de matéria volátil e 0,77% de cinzas. O rendimento médio em carbono fixo

⁽¹⁾ Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal -36570-000 Viçosa, MG

⁽²⁾ Rua Laurindo Sbampato, 321 -Vila Guilherme – 02076 - São Paulo -Trabalho parcialmente financiado pela FAPEMIG

foi igual a 26,66%. Foram observadas correlações positivas, significativas ao nível de 1% de probabilidade, entre densidade básica e teor de voláteis, entre rendimento gravimétrico e teor de lignina e entre teor de extrativos e teor de holocelulose. Foram observadas, ainda, correlações negativas, significativas ao mesmo nível, entre densidade básica e rendimento gravimétrico, entre densidade básica e teor e rendimento em carbono fixo, entre rendimento gravimétrico e teor de holocelulose e entre teor de extrativos e teor de lignina. Chegou-se à conclusão que, exceto para as características de crescimento, não há boas perspectivas de ganho genético através de seleção das progênies estudadas.

INTRODUÇÃO

O carvão vegetal tem-se destacado como recurso energético para vários setores industriais do país, como os de cimento, cerâmica, carburetos e, principalmente, o siderúrgico. Atualmente, 40% da produção nacional de ferro-gusa utiliza o carvão vegetal como termorreductor. Esse número tende a passar por um período de ajuste, dada à necessidade das indústrias se tornarem auto-suficientes. Segundo COUTINHO & FERRAZ (1988), a utilização de carvão vegetal na siderurgia, de modo geral, tem como consequência uma série de vantagens para o país, destacando-se, entre outras, as seguintes: a) é uma fonte energética renovável; b) é uma alternativa para o país, que possui redutor fóssil de má qualidade; c) leva à economia de recursos pela não importação de redutor fóssil e uso de tecnologia totalmente nacional; d) promove a ocupação de extensas áreas de terra disponíveis e impróprias para outras culturas; e) cria grande número de empregos diretos e indiretos.

O Brasil produz, atualmente, cerca de 31 milhões de metros cúbicos de carvão vegetal por ano e apesar do notável aumento na produção de carvão originado de reflorestamentos (251, 1% em 1991 em relação da 1982), essa origem representa apenas cerca de 42% de todo o carvão consumido no Brasil. O restante é proveniente de matas nativas (ABRACAVE, 1992). A satisfação da demanda crescente de carvão vegetal depende de reflorestamentos, sendo que a preservação das matas nativas estará comprometida se não houver uma inversão desses dados. Acrescenta-se a isso a exigência recente do IBAMA para que os usuários comprovem auto-suficiência até 1995.

Além de aumentar a área reflorestada é necessário o desenvolvimento de pesquisas em melhoramento genético florestal, visando a obtenção de florestas com alta produtividade e adequada qualidade da madeira, além de buscar a adaptação biológica de espécies e procedências aos diversos sítios edafo-climáticos.

Durante algum tempo, a seleção de árvores matrizes dentro dos programas de melhoramento florestal no Brasil foi baseada em valores fenotípicos das características de crescimento. Isso, contudo, não assegura que a árvore selecionada tenha qualidade que proporcione a sua melhor utilização, sendo necessário, portanto, incluir índices de qualidade da madeira em programas de melhoramento florestal. Dentre os índices que caracterizam a qualidade da madeira destaca-se a densidade básica, por ela estar intimamente relacionada com as demais propriedades (BRASIL & FERREIRA, 1979). A densidade básica é um parâmetro resultante das características anatômicas e da composição química da madeira. As variações de densidade são resultado das diferentes espessuras da parede celular, das dimensões das células, das inter-relações entre esses dois fatores e da quantidade de componentes extratáveis presentes por unidade de volume (PANSWIN & De ZEEUW, 1980; VITAL, 1984). Além da densidade, a constituição química é outra

importante característica com influência direta na produção e qualidade do carvão vegetal (COLLET, 1955). O rendimento gravimétrico em carvão se relaciona positivamente com o teor de lignina na madeira (BRITO & BARRICHELO, 1977; PETROFF & DOAT, 1978; MARTINS, 1980; SILVA, 1986; INGA & CASTILLO, 1987). Alguns estudos têm mostrado correlações positivas entre o teor de lignina e o teor de carbono fixo do carvão e correlações negativas com teores de voláteis e teores de cinza (COLLET, 1955; BRITO & BARRICHELO, 1977; MARTINS, 1980). Quanto maior a proporção de minerais na madeira, maior será a porcentagem de cinza no carvão, fato este pouco desejável, principalmente quando se sabe que alguns dos componentes minerais são prejudiciais a determinados fins siderúrgicos.

Assim, este trabalho teve o objetivo de avaliar as características de crescimento de árvores, da madeira e de carvão vegetal, bem como avaliar os índices de qualidade da madeira que interferem na produção do carvão de progênes de **Eucalyptus camaldulensis** Dehn.

MATERIAL E MÉTODOS

As árvores utilizadas neste trabalho foram obtidas de um teste de progênie de **Eucalyptus camaldulensis** Dehn. de origem Petford-Qld, com trinta e três meses de idade, implantado no município de Paraopeba, Minas Gerais, pela Mannesmann Fi-EI-Florestal Ltda. O experimento envolvia sessenta e quatro famílias de meio-irmãos, em delineamento experimental de blocos casualizados, com três repetições, parcelas lineares de cinco plantas e bordadura geral simples, em espaçamento de 3,0 x 1,5 m. A altura total e o diâmetro à altura do peito foram medidos. Em uma repetição, foram tomadas ao acaso, vinte e cinco progênes, cujas árvores foram abatidas para determinação da densidade básica e da constituição química da madeira, bem como para a fabricação de carvão e determinação de suas características.

A densidade básica e a constituição química da madeira foram determinadas a partir de amostras coletadas a 0,30 m, a 1,30 m do solo e a 25%, 50%, e a 100% da altura comercial. A densidade básica foi determinada empregando-se o método de máximo teor de umidade, conforme descrito por VITAL (1984) e o teor de extrativos totais na madeira pela norma ABCPM 3/69; o teor de lignina insolúvel pela norma descrita por GOMIDE & DEMUNER (1986) e a lignina solúvel por leitura espectrofotométrica das concentrações de lignina no filtrado da análise anterior.

Para a produção de carvão, utilizaram-se as demais partes das árvores após secagem ao ar livre durante 6 meses. As toras foram manualmente reduzidas a cavacos que foram homogeneizados e secos em estufa a $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. As carbonizações foram feitas em cadinho metálico com quatro repartições, colocado em forno mufla. A taxa de aquecimento foi de aproximadamente 64°C por hora e a temperatura máxima de 450°C foi mantida por duas horas, resultando em um tempo total de carbonização de seis horas. Após a carbonização foram determinados o rendimento gravimétrico e a composição química imediata do carvão. A análise química imediata foi feita segundo a norma ASTM-D-1762-64 (ASTM, 1977).

RESULTADO E DISCUSSÃO

As médias, por progênie, dos dados de crescimento e das características da madeira e do carvão vegetal estão apresentadas nos QUADROS 1 e 2.

QUADRO 1. Médias das características de crescimento, densidade e constituição química da madeira segundo as progênies.

Progênie	DAP Cm	Altura M	Densidade g/cm ³	Extrativos %	Lignina Insolu. %	Lignina Solúvel %	Lignina Total %	Holocelulose %
1	7.00	10.19	0.45	4.98	26.81	3.56	30.37	69.63
2	7.57	9.31	0.47	6.39	26.73	3.28	30.00	70.00
3	6.88	9.13	0.46	5.72	24.83	3.06	27.89	72.11
4	8.08	10.74	0.48	4.55	26.59	3.20	29.78	70.22
5	7.89	9.27	0.50	4.17	24.75	3.31	28.06	71.94
6	7.32	9.38	0.47	4.99	24.60	3.44	28.04	71.96
7	6.11	8.81	0.47	1.95	27.18	2.88	30.06	69.94
8	8.59	10.72	0.46	2.70	26.97	2.99	29.97	70.03
9	6.68	8.74	0.51	2.54	26.40	2.85	29.25	70.75
10	7.32	9.80	0.46	3.01	26.31	3.65	29.97	70.03
11	9.04	9.85	0.50	4.14	25.66	3.54	29.20	70.80
12	7.67	10.19	0.46	3.76	26.02	3.55	29.57	70.43
13	7.26	9.28	0.46	5.01	26.48	2.86	29.34	70.66
14	7.70	9.08	0.50	4.44	27.47	2.97	30.44	69.56
15	6.37	8.72	0.47	3.94	27.33	3.35	30.68	69.32
16	6.17	8.44	0.49	4.75	24.85	3.54	28.39	71.61
17	7.26	9.22	0.48	2.16	27.52	3.84	31.36	68.84
18	7.77	10.51	0.49	3.58	27.66	3.04	30.71	69.29
19	6.68	9.14	0.48	4.05	25.42	3.50	28.92	71.08
20	7.13	9.65	0.49	5.13	26.71	3.83	30.54	69.46
21	7.38	9.26	0.50	3.31	27.11	3.84	30.95	69.05
22	7.96	9.76	0.49	3.05	28.80	3.35	30.15	69.85
23	8.85	9.18	0.49	3.34	25.40	3.46	28.86	71.14
24	9.10	10.59	0.48	3.61	26.16	3.43	29.59	70.41
25	7.51	10.13	0.49	3.23	25.96	3.74	29.70	70.30

QUADRO 2. Médias de composição química imediata do carvão vegetal em função das progênes.

Progênie	Rendimento Gravimétrico %	Matéria Volátil %	Cinza %	Carbono Fixo %	Rendimento Carb. Fixo %
1	32.34	22.32	0.85	76.84	24.82
2	32.54	21.79	0.80	77.42	25.18
3	32.26	22.49	0.64	76.88	24.80
4	31.67	22.80	0.75	76.45	24.19
5	32.17	22.63	0.74	76.63	24.64
6	31.96	23.89	0.74	75.34	24.05
7	32.00	22.24	0.77	76.93	24.60
8	32.26	22.81	0.83	76.40	24.65
9	31.96	24.42	0.79	75.00	23.95
10	32.43	21.91	0.58	77.44	25.09
11	32.53	23.06	0.65	76.22	24.76
12	32.74	22.01	0.71	77.26	25.28
13	32.13	22.21	0.74	76.98	24.69
14	32.61	21.90	0.81	77.25	25.18
15	32.74	22.07	0.86	77.04	25.21
16	32.65	23.61	0.89	75.63	24.67
17	33.21	24.04	0.76	75.03	24.91
18	32.28	21.95	0.93	77.36	24.96
19	32.30	23.28	0.69	75.85	24.46
20	32.42	23.36	0.87	76.01	24.63
21	32.12	24.38	0.63	74.99	24.07
22	32.32	23.47	0.63	75.83	24.50
23	31.83	23.09	0.74	75.98	24.19
24	33.01	23.97	0.92	75.16	24.79
25	30.05	24.07	0.75	75.18	22.71

As médias gerais, as variâncias e os coeficientes de variação dentro das progênes estão apresentados no QUADRO 3.

A média geral da altura foi de 9,56 m e do DAP 7,49 cm. Estes valores estão um pouco acima dos citados por ALBINO (1983) que estudando a espécie, de mesma procedência, na região de Paraopeba, aos 30 meses de idade, encontrou valores médios em torno de 7,0 m e 6,0 cm para altura de plantas e DAP, respectivamente.

A média geral da densidade básica das progênes foi de 0,48 g/cm³, com amplitude entre 0,45 g/cm³ e 0,51 g/cm³.

Dentro das parcelas, as variâncias médias entre plantas e os coeficientes de variação indicam boa possibilidade de melhoramento genético para as características de crescimento e, em menor proporção, para a densidade. Para as demais características da madeira e do carvão vegetal os dados sugerem a existência de baixo controle genético para as progênes estudadas, não sendo recomendados maiores investimentos no seu melhoramento genético.

O teor de lignina total médio foi de 29,65% e o teor de holocelulose médio foi de 70,35%, confirmando o potencial da madeira para a produção de carvão vegetal, pelo alto teor de lignina.

Uma análise geral dos resultados indica que os valores da composição química da madeira e do carvão estão bem próximos dos citados por BRITO & BARRICHELO (1977), que encontraram para a espécie, aos 7 anos de idade, teor de lignina de 28,1% rendimento em carvão de 30,7%, teor de carbono fixo de 76,0% e teor de voláteis de 23,9%. Outros pesquisadores, tais como GONZAGA et alii (1984) ZVINAKEVICIUS (1986). PALMER et alii (1990) encontraram valores um tanto diversos daqueles encontrados neste trabalho. Deve-se contudo ressaltar que existem dificuldades em se comparar os resultados, devido ao emprego de diferentes metodologias de análises químicas, variadas idades e procedências das árvores.

QUADRO 3. Médias das características de crescimento, análise da madeira e do carvão vegetal e valores médios das variâncias entre plantas e coeficientes de variação entre plantas dentro das parcelas.

Característica	Média	\hat{E}^2d^*	CVd(%)
Altura (m)	9,56	0,64436	8,40
DAP (cm)	7,49	1,36254	15,58
Análise da madeira:			
Densidade (g/cm ³)	0,48	0,00032	3,75
Extrativos (%)	3,93	0,00007	0,22
Lignina Insolúvel (%)	26,31	0,00011	0,04
Lignina Solúvel (%)	3,36	0,00001	0,09
Lignina Total (%)	29,67	0,00010	0,03
Holocelulose (%)	70,33	0,00010	0,01
Análise do carvão vegetal:			
Rend. Gravimét. (%)	32,36	0,00012	0,03
Mat. Voláteis (%)	22,95	0,00080	0,12
Carb. Fixo (%)	76,28	0,00077	0,04
Rend. Carb. Fixo (%)	26,66	0,00004	0,03
Cinza (%)	0,77	0,00000	0,18

\hat{E}^2d^* = variância média entre plantas dentro da parcela.

CVd = coeficiente de variação entre plantas dentro de parcela

Com relação à composição química imediata do carvão, os resultados obtidos foram semelhantes aos encontrados por BRITO & BARRICHELO (1977), apesar destes terem trabalhado com temperatura máxima de 500°C e com ciclo total de carbonização de 2 horas e 30 minutos.

As correlações entre as variáveis analisadas estão no QUADRO 4

A densidade básica da madeira teve correlação positiva e significativa ao nível de 1% de probabilidade com o teor de matérias voláteis do carvão e negativa com o rendimento gravimétrico e com o teor em carbono fixo. Em decorrência disso, a densidade básica da madeira se correlacionou negativamente com o rendimento em carbono fixo.

O rendimento gravimétrico em carvão e o teor de carbono fixo tiveram correlação positiva com o teor de lignina e negativa com o teor de holocelulose da madeira, estando estes resultados de acordo com outros trabalhos que envolveram essas variáveis. Isto se deve à estrutura da lignina, rica em carbono, e também, à sua maior resistência à degradação térmica, em relação aos carboidratos.

O teor de extrativos da madeira teve uma correlação negativa com os teores de lignina e positiva com a holocelulose.

QUADRO 4. Correlação entre os índices de qualidade da madeira e entre a composição do carvão vegetal e índices de qualidade da madeira de *Eucalyptus camaldulensis*, aos 33 meses de idade.

VARIÁVEIS	EXTRAT	LIGSOL	LIGIN	LIGTOT	HOLO	RG	MATVOL	CF	CINZA	RCF
DBM	-0,230	+0,140	-0,040	-0,005	+0,004	+0,065	+0,522**	-0,482**	-0,242	-0,413*
EXTRAT	-	-0,014	-0,365*	-0,355	+0,364	-0,050	-0,520	+0,325	-0,084	+0,203
LIGSOL		-	-0,134	+0,203	-0,200	+0,410	+0,402	-0,397*	+0,009	-0,003
LIGIN			-	+0,943**	-0,936**	-0,214	-0,228	+0,216	+0,120	+0,314
LIGTOT					-0,993**	+0,346*	-0,090	+0,081	+0,127	+0,311
HOLO					-	-0,340*	+0,086	-0,043	-0,124	-0,308
RG							+0,009	-0,022	+0,311	+0,689**
MATVOL							-	+0,984**	-0,150	-0,712**
CF									+0,050	+0,695**
CINZA									-	0,264

- DBM Densidade Básica da Madeira
- EXTRAT Teor de Extrativos
- LIGSOL Teor de Lignina Solúvel
- LIGIN Teor de Lignina insolúvel
- LIGTOT Teor de Lignina Total
- HOLO Teor de Holocelulose
- RG Rendimento Gravimétrico em Carvão
- MATVOL Matérias Voláteis no Carvão
- CF Carbono Fixo no Carvão
- CINZA Teor de Cinza no Carvão
- RCF Rendimento em Carbono Fixo
- * Significativo ao Nível de 5%
- ** Significativo ao Nível de 1%

CONCLUSÕES

A julgar pelos baixos coeficientes de variação dentro médios obtidos de modo geral pode-se concluir que exceto para as características de crescimento não há grandes

perspectivas de melhoramento genético para as características da madeira e do carvão vegetal através da seleção dentro de famílias Contudo recomenda-se uma avaliação dessas características, considerando repetições. a fim de Que se possam avaliar os ganhos genéticos proporcionados pela seleção entre e dentro de famílias. A produção Qualitativa e quantitativa de carvão vegetal é semelhante àquelas observadas para outras espécies do gênero para as condições de carbonização estudadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ABRACAVE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CARVAO VEGETAL. **Anuário estatístico ABRAVE**, Belo Horizonte, 1992 12p.
- ALBINO, J.C. **Característica de crescimento e variação da densidade básica da madeira em 12 espécies de eucalipto em três regiões do Estado de Minas Gerais**. Piracicaba 1983 90 p (Tese-Mestrado-ESALQ)
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS **Standard method for chemical analyses o wood charcoal**. Phyladelphia. 1977 1042p
- BRASIL. M. A. M. & FERREIRA. M Características das fibras de madeira de **Eucalyptus grandis** Hill ex Maiden aos 3 anos de idade. **IPEF**, Piracicaba, (19), 80-97, 1979.
- BRITO, J.O. & BARRICHELO, L.E.G Correlação entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: 1 - densidade e o teor de lignina da madeira de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, (14), 9-20, 1977.
- COLLET, F. Estudos comparativos em escala de laboratório de diversas madeiras utilizadas na fabricação de carvão vegetal. **Boletim da Associação Brasileira de Metais**, São Paulo, 42(12): 5-14, 1955.
- COUTINHO, A.R. & FERRAZ, E.S.B. Determinação da friabilidade do carvão vegetal em função do diâmetro das árvores e temperatura de carbonização. **IPEF**, Piracicaba, (38): 33-7, 1988.
- GOMIDE, J.L. & DEMUNER, B.J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, 47(8): 36-8, 1986.
- GONZAGA, J.V. et alii. Estudo comparativo da qualidade da madeira de duas procedências de **Eucalyptus camaldulensis** e uma de **Eucalyptus globulus**. In: CONGRESSOANUAL DAABCP , São Paulo, 1984. **Anais**. São Paulo, Associação Brasileira de Celulose e Papel, 1984. p. 325-37.
- INGA, P.R. & CASTILLO, M.U. Características físico-químicas de la madera y carbon de once espécies forestales de la Amazônia peruana. **Revista forestal del Peru**, Lima, 14(2), 62-73, 1987.

- MARTINS, H. Madeira como fonte de energia. In: CETEC. **Uso da madeira para fins energéticos**. Belo Horizonte, CETEC, 1980. p.9-26.
- PALMER, E.R. et alii. The pulping characteristics of **Eucalyptus** species grown in Malawi. **Tropical science**. London, 30: 271-80, 1980.
- PANSHIN, A.J. & DE ZEEUW, C. **Textbook of technology**. 3. ed. New York, McGraw Hill, 1980. 722 p.
- PETROFF, G. & DOAT, J. Pyrolyse de bois tropicaux: influence de la composition chimique de bois sur les produits de distillation. **Bois et forets des tropiques**, Nogent-sur-Marne (177), 51-64, 1978.
- SILVA, J.F. **Variabilidade genética em progênies de *Eucalyptus camaldulensis* Denhn. e sua interação com espaçamentos**. Viçosa, 1986. 110 p. (Tese-Mestrado-UFV).
- VITAL, B. R. **Método de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, SIF, 1984, 21p.
- ZVINAKEVICIUS, C. **Eucalyptus camaldulensis** para produção de celulose. **CVRD revista**, Rio de Janeiro. 7(23): 35-9, 1986.