

PROPRIEDADES E CLASSIFICAÇÃO DA MADEIRA APLICADAS À SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE *Eucalyptus*¹

Ronaldo Pereira Caixeta², Paulo Fernando Trugilho³, Sebastião Carlos da Silva Rosado³ e José Tarcísio Lima²

RESUMO - Os objetivos do presente estudo foram classificar e selecionar genótipos superiores de eucalipto por meio das propriedades de sua madeira, utilizando como ferramenta a análise de agrupamento, método de otimização de Tocher, com o intuito de obter múltiplos produtos. Foram utilizados 44 genótipos de eucaliptos, adaptados para as condições ambientais do noroeste de Minas Gerais. Para classificação dos materiais foram utilizadas características físicas, de resistência mecânica e químicas da madeira. Os resultados da análise de agrupamento classificaram os 44 genótipos em 11 grupos distintos, com alta variabilidade ou divergência entre si. De acordo com os valores médios das características apresentadas pelos grupos formados, foi possível definir novos clones de potencial, que certamente forneceram madeira de qualidade superior para atender a diversos usos. Os genótipos pertencentes aos grupos V, VI e VIII apresentam potencial favorável à produção de madeira serrada. Eles possibilitarão, também, a geração de híbridos artificiais a serem usados em futuros programas de melhoramento genético de *Eucalyptus*.

Palavras-chave: Propriedades da madeira, melhoramento florestal, *Eucalyptus* e análise de agrupamento.

PROPERTIES AND CLASSIFICATION OF WOOD FOR SELECTING *Eucalyptus* GENOTYPES

ABSTRACT - The objective of this study was to classify and select superior genotypes of eucalypt based on the properties of its wood, utilizing cluster analysis, the Tocher's optimization method aiming to obtain various products. Forty-four genotypes adapted to the environmental conditions of northwestern Minas Gerais were used. Physical, mechanical resistance and chemical wood characteristics were used for the classification of the materials. Cluster analysis classified the genotypes in 11 different groups with high variability or divergence among them. According to the average values of the characteristics presented by the formed groups, it was possible to define new potential clones, which will certainly provide wood of superior quality. The genotypes from groups V, VI and VIII show potential for the production of sawed wood, also facilitating the generation of natural hybrids, which may be used in future programs of genetic improvement of *Eucalyptus*.

Key words: Wood properties, forest breeding, *Eucalyptus*, and cluster analysis.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, é consenso no setor florestal brasileiro que a madeira do gênero *Eucalyptus* poderá ser a principal matéria-prima para atender a diversos segmentos industriais, na produção de múltiplos produtos de madeira, e não somente para produção de carvão e celulose.

O Brasil tem um grande potencial para atender a esse novo mercado, pois possui a maior área plantada de eucalipto do mundo, com aproximadamente 2.920.800 ha, sendo o Estado de Minas Gerais responsável por 53% dessa área (Brandão, 1997). No entanto, o material genético oriundo dessas florestas, na sua maioria, não foi selecionado e conduzido com base nas características da madeira para obtenção de múltiplos produtos de

¹ Recebido para publicação em 28.1.2001.

Aceito para publicação em 19.2.2003.

² Mestre pela UFLA, Professor do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, Patos de Minas-MG, <ronaldocaixeta@acipatos.org.br>; ³ Professores do Departamento de Ciências Florestais da – UFLA, 37200-000 Lavras-MG.

qualidade. A maior parte dos estudos referentes às características da madeira concentrou-se apenas na densidade básica, no teor de lignina e nos elementos anatômicos.

Recentemente alguns pesquisadores no Brasil, como Trugilho (1995), Xavier (1996) e Garcia (1998), procuraram investigar as propriedades da madeira, por meio de técnicas que possibilitem a avaliação de um conjunto de características simultaneamente, para produção de celulose e carvão vegetal, ou seja, utilizando as técnicas de análise multivariada. Estas técnicas permitem aproveitar as correlações existentes entre as características, levando em consideração um nível de significância conhecido. No entanto, propriedades como resistência mecânica e retratibilidade da madeira, que são consideradas importantes para vários usos, não foram consideradas por nenhum desses pesquisadores, em suas análises.

Como o uso da madeira de eucalipto está se tornando cada vez mais diversificado, essas características devem ser incluídas em pesquisas que envolvam a seleção de material para atender aos usos estruturais e à produção de madeira serrada, para ser utilizada na fabricação de produtos sólidos.

Dessa forma, a classificação de genótipos superiores de eucaliptos para fins de seleção genética em um programa de melhoramento que possibilite sua aplicação na produção de múltiplos produtos deve ser feita com base nas propriedades da madeira, utilizando técnicas de avaliação conjunta.

Os objetivos do presente estudo foram classificar e selecionar genótipos superiores de eucalipto por meio das propriedades de sua madeira, utilizando como ferramenta a análise de agrupamento, método de otimização de Tocher, visando o aproveitamento de múltiplos produtos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Amostragem

Foram utilizados 44 genótipos superiores, com idades variando de 13 a 17 anos, obtidos em povoamentos de híbridos de *Eucalyptus* adaptados para as condições ambientais da região noroeste de Minas Gerais, no município de Vazante-MG. A latitude é de 17°36'09" S e a longitude de 46°42'02" oeste de Greenwich, a uma altitude de 550 m. O clima da área é do tipo Aw, tropical úmido de savana, com inverno seco e verão chuvoso,

segundo a classificação climática de Köppen. A temperatura média anual é de 24 °C e a precipitação média anual de 1.450 mm. As árvores selecionadas foram abatidas, devidamente identificadas e amostradas. Na seleção fenotípica foram usadas as características de crescimento e tomou-se o cuidado de escolher somente as árvores que apresentassem o fuste mais linear e que possuíssem um bom estado fitossanitário.

Foram utilizadas as três primeiras toras de cada árvore com 3 m de comprimento, das quais foi retirada uma prancha central radial de 10 a 12 cm de espessura, conforme esquema mostrado na Figura 1. As pranchas foram usadas para determinação das características mecânicas, físicas e químicas da madeira.

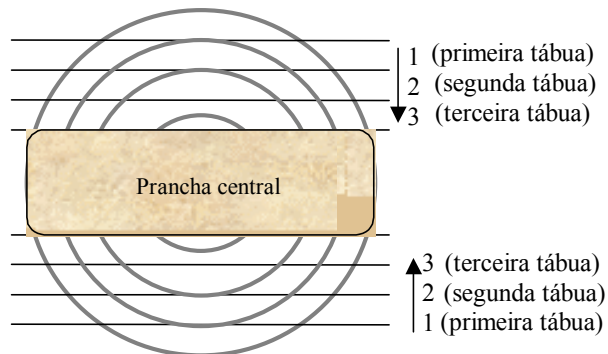


Figura 1 – Esquema ilustrativo da obtenção da prancha central utilizada.

Figure 1 – Scheme showing the central plank used.

2.2. Características de Resistência Mecânica

Foram realizados os seguintes ensaios para determinar a resistência da madeira: i) compressão paralela às fibras e módulo de elasticidade; ii) flexão estática, representada pelo módulo de ruptura (MDR) e pelo módulo de elasticidade; e iii) dureza janka. Os testes foram realizados conforme a norma da AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1997) D 143 - 94. No Quadro 1 estão as dimensões dos corpos-de-prova utilizados e a velocidade do ensaio.

2.3. Características Físicas

Foram determinadas as densidades básica, aparente e seca da madeira, de acordo com o método de imersão

descrito por Vital (1984). O volume saturado foi determinado, utilizando a água e os volumes aparente e seco; o mercúrio foi empregado como líquido deslocado.

Quadro 1 - Dimensão dos corpos-de-prova e velocidade utilizadas nos ensaios de resistência da madeira

Table 1 - Dimension of the samples and speed used in the wood resistance tests

Ensaio	Dimensão do Corpo-de-Prova (mm)	Velocidade do Ensaio (mm/min)
Compressão paralela às fibras	50 x 50 x 200	0,566
Flexão estática	25 x 25 x 410	1,300
Dureza janka	50 x 50 x 150	6,000

Considerou-se a densidade aparente como sendo a relação entre a massa do corpo-de-prova seco em estufa e seu volume quando seco ao ar, ou seja, no equilíbrio higroscópico.

Para determinação das contrações da madeira foi utilizada a norma norte-americana AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1997) D 143 - 94, estabelecendo que as dimensões lineares sejam tomadas diretamente no corpo-de-prova, o que simplifica a medição, devendo ser ressaltado que as suas dimensões foram de 2,5 x 2,5 x 10,0 cm, livres de defeitos. A contração volumétrica foi determinada em função da relação entre diferentes volumes, tendo sido empregado o método de imersão para determinar tanto o volume verde quanto o absolutamente seco. As medições das dimensões lineares foram feitas com um paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm. Estes corpos-de-prova foram usados na determinação das densidades.

2.4. Características Químicas

As análises químicas foram feitas para determinar o teor de lignina, de extrativos totais, de cinzas e de holo-celulose e a solubilidade da madeira na água fria e quente. Para cada um deles foi utilizado um procedimento, conforme se segue:

- o teor de lignina (Klason) foi determinado de acordo com o procedimento descrito por Gomide e Demuner (1986); o teor de lignina solúvel em ácido sulfúrico foi

determinado por meio da espectrofotometria, tendo sido utilizada a equação descrita por Goldschimid (1971); a lignina total foi tomada como sendo a soma das ligninas solúvel e insolúvel;

- o teor de extrativos totais foi obtido por meio da norma da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL (1974) M 3/69;
- o teor de cinzas na madeira foi determinado de acordo com a norma ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL (1974) M 11/77;
- a solubilidade da madeira em água, fria e quente, foi determinada pela norma ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL (1974) M 4/68; e
- o teor de holocelulose foi obtido por diferença, por meio de análise somativa.

2.5. Análise de Agrupamento (“Cluster Analysis”)

A análise de agrupamento foi utilizada para classificar os diversos indivíduos estudados em conjuntos de árvores com grandes semelhanças entre si. Esta análise reúne procedimentos que permitem classificar **I** populações em grupos, com base na medida de **p** características, de modo que exista homogeneidade dentro e heterogeneidade entre grupos (Marriott, 1974; Johnson & Wichern, 1992).

O procedimento inicial é a conversão da matriz $Y_p = [\bar{Y}_{ir}]$ de médias amostrais em uma matriz $d_1 = [d_{ir}]$ de dissimilaridade entre pares de genótipos (Johnson & Wichern, 1992).

As análises de agrupamento foram conduzidas, adotando-se a distância euclidiana padronizada,

$$d_{ij} = \left[\frac{1}{n} \sum_j (X_{ij} - X_{ij'})^2 \right]^{1/2}, \text{ em que}$$

$$X_{ij'} = X_{ij} / S(X_j), \text{ como medida de dissimilaridade.}$$

Foi empregado o método de otimização de Tocher, que é indicado para estudar o grau de semelhança existente entre genótipos, sendo utilizado na formação dos conjuntos de genótipos com maior semelhança entre si. O critério adotado pelo método de Tocher é que a média dos valores das distâncias intragrupos deve ser menor que as distâncias intergrupos (CRUZ, 1990).

A distância média intragrupos é dada por:

$$d_g = \sum_{i,i'=1}^I \frac{d_{ii'}}{C_n^2}$$

em que

d_g = distância média dentro do grupo I;

$$\sum_{i,i'=1}^I d_{ii'} = \text{soma de todas as possíveis combinações}$$

dos n genótipos incluídos no grupo; e

C_n^2 = número de combinações possíveis.

A distância média intergrupos é dada por:

$$d_{g,h} = \sum_{i,j=1}^I \frac{d_{ij}}{n_g n_h}$$

em que

$d_{g,h}$ = distância média entre os grupos g e h ;

$$\sum_{i,j=1}^I d_{ij} = \text{soma de todas as possíveis combinações}$$

dos $n_g \times n_h$ genótipos incluídos nos grupos g e h , respectivamente; e

$n_g \times n_h$ = número total de combinações possíveis.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados relativos às médias e aos coeficientes de variação das características de resistência mecânica, física e química determinadas para os 44 genótipos encontram-se, respectivamente, nos Quadros 2, 3 e 4.

3.1. Propriedades de Resistência Mecânica

A resistência média à compressão paralela às fibras foi de 615kgf/cm², com módulo de elasticidade de 101.649 kgf/cm². A flexão estática, representada pelo módulo de ruptura (MDR) médio, foi de 1.234 kgf/cm² e o módulo de elasticidade de 191.843 kgf/cm². A dureza janka média determinada foi de 834 kgf.

Esses resultados foram superiores aos encontrados por Lima (1999), estudando clones de *Eucalyptus grandis* aos 8 anos de idade, em posição similar. Provavelmente, este fato está relacionado a diferenças genéticas, idade e ambiente, existentes entre os materiais.

Os genótipos pesquisados apresentaram resistência de média à alta, de acordo com a classificação proposta pela Sudam (1981), demonstrando assim a possibilidade de usos desses materiais pelos segmentos construção civil e moveleiro.

Quadro 2 - Valores médios das características de resistência mecânica em kgf/cm² para os genótipos avaliados

Table 2 - Average values of the mechanical resistance characteristics in kgf/cm² for the genotypes.

Genótipo	Compressão Paralela às Fibras		Flexão Estática		Dureza Janka
	RC	MOE	MDR	MOE	
1	567	95.730	1.307	176.052	1.148
2	643	107.793	1.168	201.982	723
3	607	104.486	1.138	200.252	634
4	604	101.050	1.070	177.871	615
5	500	85.323	988	145.605	751
6	623	108.425	1.279	192.777	863
7	687	112.601	1.419	242.593	1.100
8	577	94.345	1.150	178.006	697
9	575	94.825	1.037	173.314	566
10	573	93.724	1.097	166.989	824
11	544	92.092	1.222	172.973	635
12	587	101.829	1.206	195.133	900
13	596	100.616	1.216	191.765	754
14	656	105.464	1.273	198.834	967
15	544	90.400	1.014	141.986	910
16	631	96.877	1.275	182.938	736
17	700	110.186	1.459	218.321	991
18	704	108.242	1.315	235.140	818
19	612	100.379	1.174	169.915	776
20	669	111.965	1.182	192.093	992
21	651	107.469	1.309	199.418	875
22	510	86.806	1.084	152.819	586
23	567	92.450	1.145	172.308	703
24	644	102.758	1.273	191.497	1.000
25	568	94.715	1.147	175.960	596
26	669	111.801	1.275	194.940	1.114
27	659	114.681	1.313	203.589	987
28	591	96.474	1.197	174.105	727
29	581	93.695	1.179	163.680	943
30	576	95.766	1.192	181.453	565
31	653	105.276	1.391	209.910	853
32	656	111.355	1.357	204.807	1.011
33	680	111.367	1.393	244.885	856
34	670	109.833	1.394	217.875	980
35	613	102.516	1.157	189.979	713
36	644	102.341	1.301	200.333	891
37	564	93.752	1.146	172.775	731
38	578	97.033	1.278	199.301	738
39	655	107.002	1.438	223.810	968
40	661	105.286	1.362	205.992	1.044
41	690	114.417	1.431	242.748	839
42	596	98.550	1.148	182.783	785
43	590	100.614	1.104	192.140	778
44	611	102.246	1.274	189.458	1.001
Média	615	101.694	1.234	191.843	834
CV(%)	8,18	7,52	9,71	12,44	18,76

RC = resistência à compressão (kgf/cm²), MOE = módulo de elasticidade (kgf/cm²), MDR = módulo de ruptura (kgf/cm²), dureza janka (kgf) e CV(%) = coeficiente de variação em porcentagem.

Quadro 3 - Valores médios das características físicas para os genótipos analisados**Table 3** - Average values of the physical characteristics for the genotypes analyzed

Genótipo	CT	CR	CL	CV	CT/CR	DS	DB	DA
1	8,98	5,22	0,19	12,53	1,74	0,813	0,711	0,767
2	10,01	7,35	0,33	15,76	1,38	0,765	0,644	0,715
3	10,13	6,42	0,25	14,88	1,59	0,702	0,597	0,662
4	9,76	6,33	0,28	15,74	1,57	0,661	0,557	0,627
5	8,82	5,21	0,31	13,67	1,72	0,679	0,586	0,643
6	9,75	7,25	0,21	16,20	1,36	0,775	0,650	0,728
7	11,21	7,31	0,16	17,11	1,57	0,882	0,731	0,817
8	11,17	6,72	0,30	16,28	1,72	0,694	0,582	0,655
9	10,87	7,45	0,34	17,15	1,48	0,679	0,562	0,639
10	9,22	5,02	0,29	13,34	1,91	0,718	0,622	0,677
11	7,59	5,88	0,30	12,17	1,33	0,723	0,635	0,682
12	9,55	6,34	0,28	15,57	1,53	0,759	0,641	0,713
13	9,11	5,96	0,36	15,33	1,55	0,706	0,597	0,664
14	8,60	6,35	0,20	15,40	1,37	0,786	0,665	0,739
15	8,16	5,77	0,32	14,77	1,43	0,778	0,664	0,733
16	8,94	5,98	0,25	15,07	1,51	0,729	0,619	0,685
17	10,01	6,92	0,28	17,58	1,45	0,805	0,663	0,748
18	10,51	7,43	0,28	18,60	1,43	0,778	0,633	0,724
19	9,83	6,72	0,22	16,80	1,48	0,715	0,595	0,673
20	11,50	8,28	0,29	20,15	1,41	0,807	0,645	0,757
21	10,80	6,59	0,19	18,27	1,68	0,766	0,626	0,713
22	8,88	5,49	0,26	15,38	1,71	0,643	0,544	0,602
23	9,14	6,58	0,28	15,79	1,43	0,730	0,615	0,689
24	9,74	6,84	0,27	17,03	1,45	0,813	0,675	0,759
25	9,26	5,67	0,25	15,55	1,65	0,673	0,569	0,632
26	10,89	7,19	0,27	17,39	1,52	0,810	0,669	0,759
27	9,74	6,17	0,26	15,58	1,60	0,820	0,692	0,769
28	9,44	6,44	0,24	16,08	1,47	0,686	0,576	0,648
29	9,01	6,28	0,25	15,50	1,45	0,794	0,672	0,745
30	9,78	5,65	0,21	16,06	1,79	0,684	0,576	0,653
31	9,13	7,09	0,26	16,18	1,30	0,785	0,658	0,739
32	10,86	6,72	0,26	17,77	1,63	0,829	0,681	0,779
33	10,89	6,88	0,39	17,88	1,64	0,779	0,640	0,729
34	9,94	6,15	0,19	16,75	1,64	0,819	0,682	0,771
35	10,00	5,87	0,27	16,37	1,77	0,673	0,562	0,636
36	10,68	6,06	0,44	17,31	1,78	0,786	0,650	0,742
37	11,19	6,31	0,29	18,42	1,81	0,670	0,546	0,635
38	9,00	6,25	0,28	16,14	1,46	0,725	0,608	0,684
39	11,75	6,86	0,34	18,98	1,74	0,824	0,667	0,778
40	9,00	6,25	0,23	16,84	1,47	0,788	0,655	0,741
41	10,13	5,84	0,23	16,77	1,75	0,762	0,634	0,717
42	8,63	5,81	0,29	15,56	1,50	0,710	0,600	0,672
43	9,07	5,93	0,31	15,12	1,56	0,768	0,651	0,725
44	9,69	6,07	0,27	16,45	1,62	0,765	0,636	0,723
Média	9,78	6,38	0,27	16,21	1,57	0,751	0,629	0,707
CV(%)	9,62	10,61	20,17	9,75	9,46	7,534	7,167	7,225

CT, CR, CL e CV referem-se, respectivamente, às contrações tangencial, radial, longitudinal e volumétrica; CT/CR = coeficiente de anisotropia; DS, DB e DA refere-se, respectivamente, às densidades seca, básica e aparente; e CV(%) = coeficiente de variação em porcentagem.

3.2. Propriedades Físicas

Os resultados médios encontrados para as densidades e as contrações apresentaram grande amplitude de variação entre os indivíduos, o que proporciona uma seleção para usos diversificados. O coeficiente de

Quadro 4 - Valores médios das características químicas para os genótipos avaliados**Table 4** - Average values of the chemical characteristics for the genotypes evaluated

Genótipo	CZ	EAF	EAQ	ET	LIG	HOLO
1	0,078	4,59	6,33	7,61	32,51	59,80
2	0,168	4,74	6,33	7,73	27,72	64,39
3	0,202	4,15	5,05	6,42	30,52	62,86
4	0,122	3,48	4,56	6,27	24,24	69,37
5	0,113	2,81	4,16	5,18	27,20	67,51
6	0,142	4,18	4,92	5,58	29,10	65,18
7	0,103	2,12	2,70	3,23	25,90	70,77
8	0,228	4,32	5,66	6,71	29,25	63,82
9	0,257	3,30	4,38	4,72	26,96	68,07
10	0,123	5,31	6,41	7,70	29,07	63,11
11	0,172	3,80	4,45	5,50	32,14	62,20
12	0,103	2,76	3,38	5,03	27,20	67,67
13	0,128	2,63	3,35	4,28	30,77	64,82
14	0,083	4,29	5,65	6,66	30,53	62,73
15	0,113	4,79	6,55	7,41	31,60	60,87
16	0,120	5,06	6,10	6,83	29,17	63,89
17	0,110	2,65	3,17	4,42	26,79	68,69
18	0,143	1,70	2,68	3,64	26,33	69,89
19	0,085	4,25	5,43	6,36	31,08	62,48
20	0,148	3,19	4,01	5,02	28,83	66,00
21	0,117	3,60	4,63	5,38	26,30	68,20
22	0,130	3,96	4,82	5,86	31,37	62,64
23	0,080	5,50	6,90	8,00	32,31	59,62
24	0,150	4,16	4,91	6,15	30,26	63,44
25	0,173	2,77	3,79	4,94	28,73	66,16
26	0,105	3,83	4,60	5,97	29,95	63,97
27	0,185	3,64	4,64	5,81	33,06	60,94
28	0,113	3,93	4,49	6,06	25,97	67,86
29	0,057	5,26	6,65	8,76	27,90	63,29
30	0,065	6,23	7,29	9,28	31,32	59,34
31	0,115	4,82	5,94	6,56	27,22	66,11
32	0,085	5,76	7,62	8,92	27,52	63,48
33	0,120	4,75	5,48	6,10	23,77	70,01
34	0,057	3,72	4,79	6,30	28,84	64,80
35	0,117	3,49	3,81	5,24	28,61	66,03
36	0,112	4,98	5,57	7,07	31,39	61,43
37	0,132	3,50	4,35	5,94	27,99	65,95
38	0,070	4,06	4,72	5,70	28,25	65,99
39	0,100	4,90	6,11	8,40	30,31	61,20
40	0,088	4,29	6,38	6,55	31,05	62,31
41	0,083	3,04	3,59	5,08	27,80	67,05
42	0,118	4,59	5,05	6,80	28,82	64,26
43	0,113	4,77	5,72	7,11	29,49	63,29
44	0,097	6,00	7,94	9,31	29,17	61,42
Média	0,121	4,08	5,11	6,31	28,96	64,61
CV(%)	35,033	24,957	24,931	22,424	7,525	4,585

CZ = teor de cinzas (%), EAF = extrativos solúveis em água fria (%), EAQ = extrativos solúveis em água quente (%), ET = teor de extrativos totais (%), LIG = teor de lignina total (%), HOLO = teor de hoclulose (%) e CV (%) = coeficiente de variação em porcentagem.

variação ficou abaixo de 10%, com exceção das contrações radial e longitudinal, que apresentaram, respectivamente, 10,61 e 20,17%. Estes resultados estão todos de acordo com os citados na literatura.

De modo geral, os genótipos pesquisados apresentaram contrações elevadas, de acordo a classificação

propostas pela Sudam (1981). No entanto, devido à grande amplitude de variação existente entre os materiais, é possível selecionar genótipos com porcentagem de contração volumétrica total inferior a 14%.

Em relação à característica densidade, considerando a classificação da Sudam (1981), constatou-se que 42% dos genótipos avaliados foram classificados como madeira de “peso” médio e os demais foram considerados como madeira pesada.

Esses resultados indicam a possibilidade de usos diversificados para tais materiais, uma vez que a densidade é considerada um dos indicadores básicos para a maioria das aplicações da madeira. Por exemplo, a madeira de densidade média poderá ser indicada para móveis, celulose e papel etc. A madeira de densidade superior poderá ser indicada para fins estruturais, como a fabricação de casas e pontes.

3.3. Propriedades Químicas

Quanto aos componentes químicos avaliados, verificou-se que todos resultados médios encontrados estão de acordo com a literatura. O coeficiente de variação foi maior que 20% para quase todas as características, com exceção do teor de lignina e holocelulose, os quais apresentaram, respectivamente, 7,52 e 4,58% de variação em relação à média. Este resultado é considerado normal, tendo em vista que os genótipos avaliados apresentam grandes diferenças genéticas.

3.4. Análises de Agrupamento

Preliminarmente, foi realizado um teste para diagnóstico da multicolinearidade ou dependência linear na matriz de correlação fenotípica, a fim de evitar o uso de variáveis redundantes. Após essa análise, foram identificadas e descartadas as variáveis que provocavam forte multicolinearidade (variáveis redundantes). A técnica utilizada na identificação e no descarte das variáveis consideradas redundantes foi baseada nos fatores de inflação da variância, magnitude dos autovalores e valor singular, contidas em Cruz (1990). As características com autovalores muito baixos podem ser descartadas, pois são consideradas de pouca importância ou redundantes.

As características que provocaram forte multicolinearidade foram o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, o módulo de elasticidade à flexão

estática, a dureza janka, a contração tangencial, a contração longitudinal, a densidade seca, a densidade aparente, o teor de extrativos totais, os extrativos solúveis em água fria e o teor de holocelulose, portanto estas características foram eliminadas da matriz de correlação.

Foram utilizadas as distâncias euclidianas padronizadas como medida de dissimilaridade e o método de otimização de Tocher para a análise de agrupamento, o qual proporcionou a formação de 11 grupos entre os genótipos estudados, conforme o Quadro 5.

Pelo Quadro 5 verifica-se que o grupo I foi formado com 50% dos genótipos. Os demais foram distribuídos em dez grupos distintos, o que permite a obtenção de genótipos diferenciados, quanto às características analisadas conjuntamente.

A variabilidade existente entre os genótipos é de vital importância, tanto para multiplicação clonal como para formação de pomar de sementes. A multiplicação clonal, visando produzir madeira com características desejáveis para usos específicos, pode ser realizada pela utilização do material presente no grupo considerado de melhor qualidade. No entanto, quando se deseja a instalação de pomar de sementes para proporcionar maior recombinação pelos cruzamentos entre os genitores divergentes, devem ser utilizados os genótipos provenientes de grupos diferentes, principalmente aqueles que apresentaram as maiores distâncias genéticas. As sementes originadas do pomar formado por estas árvores permitirão a condução de novos ciclos de seleção e poderão restabelecer a variabilidade genética nas populações de eucalipto para produção de múltiplos produtos de madeira.

No Quadro 6 estão as distâncias médias inter e intra-grupos. Observa-se que os valores médios de distâncias dentro dos grupos foram menores que as distâncias entre grupos, o que confirma o critério estabelecido pela metodologia de Tocher.

Os resultados observados indicam que as maiores distâncias ocorreram entre os grupos IX e VI (8,09), XI e VI (8,05), XI e VII (7,66) e XI e IV (7,30). As menores distâncias foram encontradas entre os grupos I e X (3,63), II e VIII (3,65) e IV e VIII (3,68). O grupo XI apresentou, de modo geral, os maiores valores de distância em relação aos demais.

No Quadro 7 estão os valores médios das características dentro de cada grupo formado. Os resultados demonstram haver grande variabilidade entre os grupos.

Quadro 5 - Agrupamento estabelecido pelo método de Tocher de 44 genótipos de *Eucalyptus*
Table 5 - Clustering established by the Tocher's method of 44 *Eucalyptus* genotypes

Grupo	Genótipo																					
I	24	26	06	31	14	40	16	19	38	42	43	29	12	28	13	02	44	23	36	34	21	32
II	25	35	37	22	03	08	04															
III	17	18	07	33	41																	
IV	10	30																				
V	11	15																				
VI	01																					
VII	27																					
VIII	05																					
IX	09																					
X	39																					
XI	20																					

Quadro 6 - Distâncias médias intragrupos, na diagonal, e intergrupos na diagonal abaixo
Table 6 - Average distance within groups, diagonally, and among groups in the diagonal below

Grupo	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
I	2,98										
II	4,01	2,94									
III	4,07	5,28	2,95								
IV	4,37	3,95	6,30	3,02							
V	4,17	4,51	6,44	4,53	3,38						
VI	4,77	5,62	6,53	3,75	4,12	-					
VII	3,83	4,61	4,72	5,08	4,24	4,32	-				
VIII	5,09	3,65	5,56	3,68	4,36	5,14	6,16	-			
IX	5,33	4,09	6,09	6,58	5,74	8,09	5,68	5,80	-		
X	3,63	5,13	3,76	5,09	6,07	5,38	3,93	6,96	6,55	-	
XI	4,59	5,54	4,14	7,30	6,60	8,05	5,19	7,66	4,61	4,40	-

Quadro 7 - Valores médios das características dentro de cada agrupamento formado de genótipos de *Eucalyptus*
Table 7 - Average values of the characteristics within each group of *Eucalyptus* genotypes

Grupo	Característica								
	RC	MDR	CR	CV	CT/CR	DB	CINZA	EAQ	LIG
I	623	1.254	6,46	16,29	1,51	0,639	0,11	5,50	29,09
II	577	1.127	6,12	16,09	1,69	0,565	0,16	4,58	28,67
III	692	1.404	6,88	17,59	1,57	0,660	0,11	3,52	26,12
IV	575	1.145	5,34	14,70	1,85	0,599	0,10	6,85	30,20
V	544	1.118	5,83	13,47	1,38	0,650	0,14	5,50	31,87
VI	567	1.307	5,22	12,53	1,74	0,711	0,08	6,33	32,51
VII	659	1.313	6,17	15,58	1,60	0,692	0,19	4,64	33,06
VIII	500	988	5,21	13,67	1,72	0,586	0,11	4,16	27,20
IX	575	1.037	7,45	17,15	1,48	0,562	0,26	4,38	26,96
X	655	1.438	6,86	18,98	1,74	0,667	0,10	6,11	30,31
XI	669	1.182	8,28	20,15	1,41	0,645	0,15	4,01	28,83

RC = resistência à compressão paralela às fibras (kgf/cm²), MDR = módulo de ruptura à flexão estática, CR e CV = contração radial (%), volumétrica, CT/CR = coeficiente de anisotropia; DB = densidade básica (g/cm³), cinza = teor de cinzas (%), EAQ = extrativos solúveis em água quente em (%) e LIG = teor de lignina total (%).

Pelos resultados apresentados no Quadro 7, verificou-se que os grupos V, VI e VIII apresentaram os menores valores médios de contração volumétrica, associados a baixos valores de contração radial e coeficientes de anisotropia, o que indica a transformação desta madeira em tábuas e posterior usinagem para atender ao setor moveleiro na produção de painéis, molduras e componentes para móveis. A resistência mecânica para estes grupos foi a menor em relação aos demais, portanto este material não é o mais indicado para uso estrutural. O grupo V apresentou a madeira de maior estabilidade dimensional.

Os grupos II e IX apresentaram características favoráveis para produção de celulose, pois possuem menores valores médios para a característica teor de lignina total e também por possuírem densidade básica considerada ideal para essa finalidade.

O grupo IV é caracterizado principalmente pelos altos valores médios em extrativos solúvel em água quente e lignina total. Desta forma, este grupo não é indicado para uso como a produção de celulose, em razão de provocar maior aumento no consumo de reagentes durante o processo de deslignificação da madeira. Entretanto, ele pode ser utilizado para produção de carvão vegetal.

Os grupos VII, X e XI foram formados por genótipos que apresentaram os maiores valores médios em resistência mecânica e densidade básica. Os grupos VII e X apresentaram valores elevados no teor de lignina total. Os genótipos pertencentes ao grupo VII oferecem alternativas de emprego como pisos e assoalhos, decks, esquadrias e estrutural para atender ao segmento imobiliário. Outro produto que poderá ser obtido com os genótipos, principalmente os dos grupos VII e X, é a produção de carvão vegetal de alta qualidade, devido ao elevado teor de lignina total.

O grupo I, onde está concentrada a maioria dos genótipos, apresentou valores médios intermediários para as características avaliadas, sendo o mais promissor para atender à maioria dos requisitos necessários para produção de diversos produtos, embora os ganhos para algumas características possam ser maximizados em outros, por meio da hibridação.

Os grupos III, IX, X e XI apresentaram os maiores valores médios para contração volumétrica, indicando assim possuírem madeira com alta tensão residual de crescimento, o que pode levar ao seu descarte na utilização para serraria.

4. CONCLUSÕES

As principais conclusões obtidas no presente estudo foram:

- Por meio da distância euclidiana padronizada e pelo método de otimização de Tocher foi possível definir 11 grupos de genótipos com características favoráveis para melhorar a qualidade dos produtos oriundos da matéria-prima madeira.

- No grupo I, 50% dos genótipos apresentaram valores médios intermediários para todas as características avaliadas, o que indica que este grupo tem maiores possibilidades de usos da madeira.

- A contração volumétrica, associada aos baixos valores de contração radial e ao coeficiente de anisotropia, foi menor nos grupos V, VI e VIII, o que indica a superioridade de seus genótipos para uso como madeira para serraria.

- Os grupos II, III e IX apresentam características favoráveis para produção de celulose, pois possuem baixos valores médios para o teor de lignina total e também por apresentarem valores em densidade básica considerados ideais para este uso.

- Os grupos VII, X e XI foram formados por genótipos que apresentaram altos valores médios em resistência mecânica e densidade básica. Os genótipos pertencentes ao grupo VII oferecem alternativas de emprego como pisos e assoalhos, decks, esquadrias e estruturas para o segmento imobiliário. Outro produto que poderá ser obtido com os genótipos, principalmente dos grupos VII e X, é a produção de carvão vegetal de alta qualidade, devido ao elevado teor de lignina total.

- Os grupos III, IX, X e XI apresentaram os maiores valores médios para contração volumétrica, indicando assim possuírem madeira com alta tensão residual de crescimento, o que pode levar ao seu descarte na utilização para serraria.

- Os genótipos apresentaram grande variabilidade ou divergência, o que é interessante do ponto de vista do melhoramento florestal.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. 1997. **Annual book of ASTM**. Denver: 1997. 679 p. D 143–94. Standard methods of testing small, clear specimens of timber, p. 23-53.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL-ABTCP. **Normas técnicas ABCP**. São Paulo: 1974. não paginado.
- BRANDÃO, L.G. Desafio florestal brasileiro. **Silvicultura**, v. 17, n. 73, p. 23-29, set./dez, 1997.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 1994. 390 p.
- CRUZ, C. D. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. 1990. 188 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Planta) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1990.
- GARCIA, S. L. R. **Importância de características de crescimento, de qualidade da madeira e da polpa na diversidade genética de clones de eucalipto**. 1998. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1998.
- GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. **Lignins: occurrence, formation, structure and reactions**. New York: John Wiley & Sons, 1971. p. 241-266.
- GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.
- JOHNSON, R. A; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. New Jersey: Prentice-Hall, 1992. 607 p.
- LIMA, J. T. **Clonal variation in the solid wood properties of *Eucalyptus***. 1999. 276 f. Thesis (Ph.D.) – University of Wales, Bangor, 1999.
- MARRIOTT, F. H. C. **The interpretation of multiple observation**. New York: Academic Press, 1974. 117 p.
- SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA - SUDAM. **Grupamento de espécies tropicais da Amazônia por similaridade de características básicas e por utilização**. Belém: 1981. 237 p.
- TRUGILHO, P.F. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas na avaliação da qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus***. 1995. 160 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1995.
- VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: SIF, 1984. 21 p. (Boletim técnico, 1).
- XAVIER, A. **Aplicação da análise multivariada da divergência genética no melhoramento de *Eucalyptus* spp.** 1996. 146 f. Tese (Doutorado Genética e Melhoramento de Planta) – Universidade Federal de Viçosa, 1996.