

**PROPRIEDADES DA MADEIRA DE
Eucalyptus: CLASSIFICAÇÃO E SELEÇÃO DE
GENÓTIPOS UTILIZANDO MARCADOR
MOLECULAR E ANÁLISE MULTIVARIADA.**

RONALDO PEREIRA CAIXETA

2000

74.1
I
9489

49489
MFN 34762

RONALDO PEREIRA CAIXETA

PROPRIEDADES DA MADEIRA DE *Eucalyptus*: CLASSIFICAÇÃO E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS UTILIZANDO MARCADOR MOLECULAR E ANÁLISE MULTIVARIADA.

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciência e Tecnologia da Madeira, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador:
Prof. Dr. Paulo Fernando Trugilho

BIBLIOTECA CENTRAL

N.º CLAS. UFLA 1674.1

CAI

N.º REGISTRO mo 49489

DATA 18/07/00

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2000

BIBLIOTECA CENTRAL - UFLA



49489

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Caixeta, Ronaldo Pereira

Propriedades da madeira de *Eucalyptus*: classificação e seleção de genótipos
utilizando marcador molecular e análise multivariada / Ronaldo Pereira Caixeta. --
Lavras : UFLA, 2000.

89 p. : il.

Orientador: Paulo Fernando Trugilho.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Madeira de *Eucalyptus*. 2. Propriedade da madeira. 3. Defeito da madeira. 4.
Marcador RAPD. 5. Análise multivariada. 6. Divergência genética. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-634.97342

-674.1

RONALDO PEREIRA CAIXETA

**PROPRIEDADES DA MADEIRA DE *Eucalyptus*: CLASSIFICAÇÃO E
SELEÇÃO DE GENÓTIPOS UTILIZANDO MARCADOR
MOLECULAR E ANÁLISE MULTIVARIADA.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciência e Tecnologia da Madeira, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 28 de Fevereiro de 2000.

Profª Drª Dulcinéia de Carvalho UFLA

Prof. Dr. José Tarcísio Lima UFLA

Prof. Dr. Sebastião Carlos S. Rosado UFLA



Prof. Dr. Paulo Fernando Trugilho
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

À Deus, por todos os dias.

Aos meus pais Divino Caixeta Nascentes e Maria P. Santana Caixeta, pelo compreensão e incentivo.

Aos irmãos, Paulo, Sinval, Irismália, Cidélia, José Carlos, Lídia, Renato, pela união e amizade.

E a minha noiva Giovanna pelo seu carinho e incentivo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras – UFLA;

Ao Departamento de Ciências Florestais pelo apoio durante o decorrer do curso;

Ao órgão financiador FAPEMIG/FIEMG, pela concessão da bolsa de estudos;

A Companhia Mineira de Metais – Unidade Agroflorestal, por ceder o material usado na pesquisa e pela ajuda financeira;

Ao professor Paulo Fernando Trugilho, pela orientação, amizade e incentivo;

A professora Dulcinéia de Carvalho, pela co-orientação e dedicada colaboração ao longo dos trabalhos;

Ao professor Sebastião Carlos da Silva Rosado, pela co-orientação e suas sugestões;

Ao professor José Tarcísio, pelo apoio e sugestões;

Aos professores Lourival, José Reinaldo e Fábio Akira pelo apoio.

Aos Professores do Departamento de Engenharia Florestal e outros departamentos da UFLA, pelos ensinamentos e amizade.

A fundação Educacional de Patos de Minas (FEPAM) – Faculdade de Ciências Administrativas pelo apoio oferecido.

Aos funcionários, Antônio Claret, Clair Rogério, Ermani e Gilson do Laboratório de Tecnologia e Produtos Florestais pela colaboração.

Aos colegas e amigos, Rubens Chagas, Valter Silveira, Márcia Cristina, Beth, João Ricardo e Micheline.

A família do Sr. Geraldo Magela dos Santos pela convivência e apoio.

Aos colaboradores Antônio Américo, Milena, Renato e Duracel por suas participações neste trabalho.

SUMÁRIO

Página

RESUMO	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	3
CAPÍTULO 1: PROPRIEDADES E CLASSIFICAÇÃO DA MADEIRA APLICADA À SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE <i>Eucalyptus</i>.	05
RESUMO.....	05
ABSTRACT.....	06
1 INTRODUÇÃO.....	07
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	08
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3. 1 Amostragem.....	14
3. 2 Características avaliadas na madeira.....	15
3. 2. 1 Características de resistência mecânica	15
3. 2. 2 Características físicas.....	15
3. 2. 3 Características químicas.....	16
3. 4 Análise de agrupamento (“cluster analysis”).....	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4. 1 Propriedades mecânica	22
4. 2 Propriedades físicas.....	22
4. 3 Propriedades químicas.....	23
4. 4 Análises de agrupamento.....	23
5 CONCLUSÕES.....	28
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29
CAPÍTULO 2: CLASSIFICAÇÃO DE GENÓTIPOS DE <i>Eucalyptus</i> EM FUNÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA APÓS A SECAGEM NATURAL.	32
RESUMO.....	32
ABSTRACT.....	32
1 INTRODUÇÃO.....	34
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	36
2. 1 Defeitos associados ao processo de formação da madeira.....	37
2. 2 Defeitos associados à secagem da madeira.....	39
2. 3 Influência genética das rachaduras e empenamentos.....	44
2. 4 Análise Discriminante.....	45
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	45
3. 1 Amostragem.....	45
3. 2 Abate.....	46
3. 3 Classificação das toras, desdobro e processo de secagem.....	46

3. 4 Avaliação do rendimento em madeira seca.....	47
3. 5 Classificação das tábuas por defeito.....	48
3. 6 Avaliação dos defeitos de secagem no sentido longitudinal e radial	49
3.7 Análise Discriminante.....	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4. 1 Determinação do volume e fator de forma para os genótipos.....	50
4. 2 Determinação do volume, achatamento, conicidade e rendimento para as três toras dos genótipos avaliados.....	50
4. 3 Classificação dos genótipos em classes de qualidade para os defeitos pós secagem e da madeira através de análise discriminante.....	54
4. 4 Valores médios das características por classe após a reclassificação	60
4. 5 Avaliação dos defeitos de secagem no sentido longitudinal e radial	61
4. 5. 1 Índice de Rachamento (IR).....	61
4. 5. 2 Encanoamento.....	63
4. 5. 3 Encurvamento.....	64
5. CONCLUSÕES	65
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	66
CAPÍTULO 3: VARIAÇÕES GENÉTICAS EM GENÓTIPOS DE <i>Eucalyptus</i> DETECTADAS POR MEIO DE MARCADOR MOLECULAR	69
RESUMO	69
ABSTRACT	70
1 INTRODUÇÃO	71
2 REFERENCIAL TEÓRICO	72
2. 1 Marcadores de DNA.....	72
2. 2 Marcadores PCR e RAPD.....	73
2. 3 Seleção Assistida por marcadores (SAM).....	74
3 MATERIAL E MÉTODOS	77
3. 1 Material biológico.....	77
3. 2 Extração do DNA.....	77
3. 3 Análise RAPD.....	78
3. 4 Análise dos dados moleculares.....	79
4 RESULTADOS E DISCURSSÃO	80
4. 1 Quantificação de DNA.....	80
4. 2 Reação de RAPD.....	80
4. 3 Avaliação de divergência genética.....	84
5 CONCLUSÕES	87
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

RESUMO

CAIXETA, R.P. PROPRIEDADES DA MADEIRA DE *Eucalyptus*: CLASSIFICAÇÃO E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS UTILIZANDO MARCADOR MOLECULAR E ANÁLISE MULTIVARIADA. Lavras: UFLA, 2000. 89p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal)¹.

A obtenção de madeira serrada com qualidade superior é possível tanto por meio de medidas conjuntas no processo de produção como também por um programa de melhoramento genético e manejo. Com o intuito de auxiliar o estabelecimento de estratégias de um programa de melhoramento genético da qualidade da madeira, o presente trabalho buscou: 1) classificar e selecionar genótipos de *Eucalyptus* por meio de suas propriedades tecnológicas, utilizando-se a análise de agrupamento pelo método de otimização de Tocher; 2) classificar genótipos de *Eucalyptus* pela avaliação da qualidade da madeira após a secagem natural e identificação daqueles de qualidade superior; 3) Avaliar a utilização de marcadores RAPD para detectar e maximizar a variabilidade genética em genótipos de *Eucalyptus* e identificar cruzamentos. Foram analisados 44 genótipos híbridos naturais do gênero *Eucalyptus*, provenientes da região noroeste de Minas Gerais. De acordo com os resultados, pôde-se concluir que a análise de agrupamento obtida utilizando as características mecânicas, físicas e químicas classificou os genótipos em 11 grupos distintos com possibilidades de obtenção de múltiplos usos. Para a avaliação da madeira pós-secagem, foram utilizadas três classes de qualidade e através da análise discriminante foi checada e corrigida a alocação dos genótipos dentro das suas classes. A soma total de defeitos para as classe I, II e III foi, respectivamente, 6,57%, 16,57% e 28,34%, sendo que as classes II e III apresentaram perdas superiores, a I de 152,2% e 331%, respectivamente, e a classe III teve 71% de perda a mais em relação a classe II. Os marcadores moleculares RAPD apresentaram poder de discriminação eficiente entre os 44 genótipos avaliados, constando-se uma distância genética média entre os genótipos de *Eucalyptus* de 54%, com uma divergência genética variando de 24 a 73%. Isto indica que, entre os indivíduos analisados, existem genótipos mais promissores para aumentar a base genética do material.

Palavra-chave: propriedades da madeira, marcador molecular e análise multivariada.

¹ Comitê Orientador: Paulo Fernando Trugilho - UFLA (Orientador), Dulcinéia de Carvalho – UFLA e Sebastião Carlos da Silva Rosado.

PROPERTIES OF THE *Eucalyptus* WOOD: CLASSIFICATION AND SELECTION OF GENOTYPES BY UTILIZING MOLECULAR MARKER AND MULTIVARIATE ANALYSIS

CAIXETA, R.P. Properties of the *Eucalyptus* wood: classification and selection of genotypes by utilizing molecular marker and multivariate analysis. Lavras: UFLA, 2000. 89 p (Dissertation – Master in Forest Engineering)¹.

ABSTRACT

The attainment of sawn wood with superior qualities is possible both by means of joint measures in the production process and by a genetic improvement and management program. With a view to helping the establishment of strategies of a genetic breeding program of wood quality, the present aimed to: 1) classify and select genotypes of *Eucalyptus* by means of its technological properties by utilizing the grouping analysis by Tocher's optimization method; 2) classify *Eucalyptus* genotypes for the valuation of wood quality after natural drying and identification of those of superior quality; 3) evaluate the utilization of RAPD markers for detection and maximizing the genetic variability in eucalyptus genotypes, coming from the northwestern region of Minas Gerais. According to the results, it may be concluded that the analysis of grouping obtained by utilizing the mechanic, physical and chemical characteristics classified the genotypes into 11 distinct groups with possibilities of obtaining multiple uses. For the evaluation of wood post - drying were utilized three quality classes and through the discriminating analysis the allocation of the genotypes within their classes was checked and corrected. The total sum of defects for classes I, II and III was, respectively, 6.57%, 16.57% and 28.34%, classes I and III presenting superior losses, I of 152.2% and 331%, respectively and class III presented 71% of loss more relative to class II. The RAPD molecular markers presented efficient discrimination power among the 44 genotypes evaluated, an average genetic distance among the eucalyptus genotypes of 54% with a genetic divergence ranging from 24 to 73% being found. that points out that among the analyzed individuals, there are more promising genotypes to increase the genetic basis of the material.

Key words: wood property, molecular marker and multivariate analysis.

¹ Advising Committee: Paulo Fernando Trugilho - UFLA (Orientador), Dulcinéia de Carvalho – UFLA e Sebastião Carlos da Silva Rosado – UFLA.

1 INTRODUÇÃO GERAL

Durante muito tempo, a seleção de árvores para os programas de melhoramento florestal no Brasil baseou-se em valores fenotípicos das características de crescimento. Mais especificamente, preocupava-se com a produção volumétrica da floresta. Isso, contudo, não assegurou a qualidade da árvore selecionada, tendo em vista a sua melhor utilização. Torna-se, assim, necessário incluir índices de qualidade com base nas características mecânicas, físicas, químicas e anatômicas da madeira, nos programas de melhoramento florestal, visando a obtenção de “genótipos mais adequados” para determinadas finalidades (SILVA, 1996).

As estratégias atuais de melhoramento devem incluir, inicialmente, materiais genéticos com características satisfatórias à produção florestal, tais como o volume, forma, resistência a pragas e doenças, percentagem de casca, desrama, entre outros e, posteriormente, a madeira deve apresentar propriedades tecnológicas que atendam ao setor industrial. Segundo Comério e Xavier (1996), a qualidade do produto final deve unir de forma harmoniosa a área florestal com a industrial, cujo objetivo principal deve ser formar florestas produtivas e com alto valor tecnológico, de forma a obter um produto final com a qualidade desejada pelo cliente.

Ainda são necessárias muitas pesquisas para que a madeira de eucalipto seja a principal matéria-prima os diversos segmentos indústrias, na fabricação de múltiplos produtos de madeira e não somente para a produção de carvão e celulose, como já foi no passado.

Recentemente, alguns autores no Brasil, como Garcia (1998), Xavier (1996) e Trugilho (1995), procuraram investigar as propriedades da madeira por meio de técnicas que possibilitem de avaliação de um conjunto de características

simultaneamente, para a produção de celulose e carvão vegetal. Essas técnicas de análise multivariada permitem aproveitar as correlações existente entre o conjunto de características, levando-se em consideração um nível de significância conhecido. Entanto, propriedades como as de resistência mecânica e à retratibilidade da madeira, que são consideradas importantes para vários usos, não foram consideradas por nenhum desses pesquisadores em suas análises.

Outro aspecto que deve ser considerado em programas de melhoramento florestal para usos múltiplos é a determinação de características, com uma forte influência do fator genético do material. Estas características ou, a combinação delas, estão entre as principais responsáveis pela performance da madeira em uso.

O uso de marcadores moleculares, atualmente, tem demonstrado ser uma ferramenta bastante útil em programas de melhoramento florestal, pois fornece informações a respeito da base genética dos genótipos e da população. Segundo Bearzoti (1997), os marcadores de natureza molecular ampliaram as possibilidades de detecção e manuseio de poligenes, devido à facilidade relativa de um maior grau de polimorfismo. A implicação prática desta afirmação é que as empresas florestais têm a possibilidade de identificar progênies superiores para diversos usos, por meio de análises moleculares, em que a expressão do caracter não é influenciada pelo ambiente.

A tecnologia de marcadores moleculares, aliada às técnicas clássicas do melhoramento, pode contribuir significativamente para o conhecimento básico da cultura e do caráter estudado, e para a geração e desenvolvimento de produtos melhorados (Ferreira e Grattapaglia, 1995).

Dessa forma , pode-se aplicar a técnica de marcadores moleculares para a classificação de genótipos superiores, desde que se tenha conhecimento prévio

das características tecnológicas da madeira. Nesse caso, essa técnica pode ser uma grande ferramenta para a seleção assistida.

Os objetivos do presente trabalho, visando auxiliar o estabelecimento de estratégias de um programa de melhoramento genético da qualidade da madeira, são:

- classificar e selecionar genótipos de *Eucalyptus* de acordo com as propriedades de sua madeira, utilizando-se a análise de agrupamento, método de otimização de Tocher;
- classificar genótipos de *Eucalyptus* por meio da avaliação da qualidade da madeira após a secagem natural e identificação daquelas de qualidade superior;
- detectar e maximizar a variabilidade genética em genótipos de *Eucalyptus* e identificar cruzamentos preferenciais em pomares de semente.

2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEARZOTI, E. Simulação de seleção recorrente assistida por marcadores moleculares em espécies autógamas. Piracicaba, 1997. 230p. (Tese Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- COMERIO, J.; XAVIER, A. Estratégia de melhoramento para qualidade da madeira na Champion. In: SIMPÓSIO IPEF, 6, São Paulo, 1996. Anais. Piracicaba: IPEF, 1996. v.3, p.1-4.
- FERREIRA, M.E.; GRATTAPAGLIA, D. Introdução ao uso de marcadores RAPD e RFLP em análise genética. Brasília: EMBRAPA/CENARGEN, 1995. 220p.
- GARCIA, S.L.R. Importância de características de crescimento, de qualidade da madeira e da polpa na diversidade genética de clones de eucalipto. Viçosa: UFV, 1998. 103p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa
- SILVA, J.F.; Estratégia de melhoramento para qualidade: Carvão vegetal. In: SIMPÓSIO IPEF, 6, São Pedro, 1996. Anais. Piracicaba: IPEF, 1996. v.3, p.5-18.

TRUGILHO, P.F. Aplicação de algumas técnicas multivariadas na avaliação da qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus*. Viçosa, MG, UFV, 1995. 160p. (Tese D.S.).

XAVIER, A. Aplicação da análise multivariada da divergência genética no melhoramento de *Eucalyptus* spp. Viçosa: UFV, 1996. 146p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

CAPÍTULO 1

PROPRIEDADES E CLASSIFICAÇÃO DA MADEIRA APLICADA À SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE *Eucalyptus*

RESUMO

CAIXETA, R.P. *Propriedades e classificação da madeira aplicada à seleção de genótipos de Eucalyptus*. Lavras: UFLA, 2000. Cap.1, p. 05-31. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal)¹.

O uso de madeira serrada de eucalipto para atender a diversos usos está relacionado com sua qualidade. O objetivo do presente estudo foi classificar e selecionar genótipos de eucalipto pelas propriedades de sua madeira, utilizando-se a análise de agrupamento, método de otimização de Tocher, como ferramenta para auxiliar o estabelecimento de um programa de melhoramento genético florestal visando múltiplos produtos. Foram utilizados 44 genótipos superiores obtidos em povoamentos de eucalipto adaptados para as condições do noroeste de Minas Gerais. Para a classificação das toras foram utilizadas características físicas, resistência mecânica e químicas. Pelos resultados pode-se verificar a existência de grande variabilidade entre os grupos formados, o que é interessante do ponto de vista do melhoramento florestal, pois indica existir divergência genética entre os mesmos. Os resultados da análise de agrupamento classificaram os genótipos em 11 grupos distintos. O grupo I foi formado com 50% dos genótipos, apresentando valores médios intermediários para as características avaliadas, indicando que este grupo possui amplas possibilidades de uso. A contração volumétrica, associada a baixos valores de contração radial e coeficiente de anisotropia, foi menor nos grupos V, VI e VIII, indicando a superioridade dos seus genótipos para utilização como madeira para serraria. Os grupos II, III e IX apresentaram características favoráveis para a produção de celulose, por possuírem as menores médias para teor de lignina total e também por apresentarem densidades básicas consideradas ideais. Os grupos VII, X e XI foram formados por genótipos que apresentaram maiores médias de resistência mecânica e densidade básica. O genótipo pertencente ao grupo VII oferecem alternativas de uso como pisos e assoalhos, "decks", esquadrias e estruturas para atender ao segmento de construção civil. Outro produto que poderá ser obtido com os genótipos, principalmente dos grupos VII e X, é carvão de alta

¹ Comitê Orientador: Paulo Fernando Trugilho - UFLA (Orientador), Dulcinéia de Carvalho - UFLA e Sebastião Carlos da Silva Rosado - UFLA.

qualidade, devido ao elevado teor de lignina total. Os grupos III, IX, X e XI apresentaram as maiores médias para a contração volumétrica, indicando assim possuírem madeira com alta tensão residual de crescimento, o que pode levar ao descarte na utilização para serraria.

Palavras-chave: características da madeira, genótipos de *Eucalyptus* e seleção.

CHAPTER 1

PROPERTIES AND CLASSIFICATION OF WOOD APPLIED TO THE SELECTION OF *Eucalyptus* GENOTYPES

ABSTRACT

CAIXETA, R.P. Properties and classification of wood applied to the selection of *Eucalyptus* genotypes. Lavras: UFLA, Cap.1, p. 05-31. (Dissertation – Master in in Forest Engineering).¹

Use of sawn wood of eucalyptus to meet the several uses is related with its quality. The objective of the present work was to classify and select eucalyptus genotypes by the properties of its wood by utilizing the grouping analysis, Tocher's optimization method as a tool to aid the establishment of a forest breeding program aiming at multiple products. Forty four superior genotypes obtained in stands of eucalyptus adapted to the conditions of northwestern Minas Gerais were utilized. For the classification of logs were utilized physical and chemical characteristics, mechanical resistance. From the results, it is possible to verify the existence of a great variability among the groups formed, which it is interesting from the standpoint of forest breeding, since it shows to exist genetic divergence among them. The results of the grouping analysis classified the genotypes into 11 distinct groups. group 1 was made up of 50 of the genotypes presented average intermediate values for the evaluated characteristics, pointing out that this group possesses wide use possibilities. Volumetric shrinkage, associated with low values of radial shrinkage and anisotropy coefficient was smaller in groups V, VI and VII, standing out the superiority of their genotypes for utilization as sawmill wood. Groups II, III and IX presented characteristics favorable to cellulose production for possessing the

¹ Advising Committee: Paulo Fernando Trugilho - UFLA (Major Professor), Dulcinéia de Carvalho - UFLA e Sebastião Carlos da Silva Rosado - UFLA.

smallest means for total lignin content and also for presenting basic densities regarded as ideal. Groups VII, X and XI were formed by genotypes which presented higher means of mechanical resistance and basic density. The genotype belonging to group VII offered use alternatives as grounds and floors, decks, frames of windows and doors and structures for meeting the segment of civil construction. Another product which will be able to be obtained with the genotypes, mainly of groups VII and X is the high quality charcoal, due to the high total lignin content. Groups III, IX, X and XI presented the greatest means for volumetric shrinkage, thus indicating to possess wood with high residual growth stress which may lead to the culling in the use for sawmill.

Key words: wood characteristics, *Eucalyptus* genotypes and selection.

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 a produção de carvão e celulose.

O Brasil apresenta 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 a obtenção de múltiplos produtos de qualidade. A maior parte dos estudos referentes às características da madeira se concentraram apenas na densidade básica, no teor de lignina e nos elementos anatômicos.

Recentemente, alguns pesquisadores no Brasil, como Garcia (1998), Xavier (1996) e Trugilho (1995), procuraram investigar as propriedades da madeira, por meio de técnicas que possibilitem a avaliação de um conjunto de características simultaneamente, para a 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-se em consideração um nível de significância conhecido. No entanto, propriedades como a resistência mecânica e a 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, estas características devem ser incluídas em pesquisas que envolvam a seleção de material para atender a usos estruturais e a produção de madeira serrada, para ser utilizada na fabricação de produtos sólidos.

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

O objetivo do presente estudo foi, pois, classificar e selecionar génotipos superiores de eucalipto por meio das propriedades da madeira, utilizando-se a análise de agrupamento, método de otimização de Tocher, como ferramenta para auxiliar o estabelecimento de um programa de melhoramento genético florestal.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os progressos alcançados, principalmente em produtividade, no setor florestal brasileiro, são expressivos e nos últimos anos tem-se notado um grande interesse e centralização de esforços no trabalho conjunto entre os setores florestal e industrial na busca de matéria-prima de qualidade para determinados produtos finais (Comério e Xavier, 1996).

A qualidade da madeira é uma medida da sua aptidão para um uso específico. Segundo Briggas e Smith (1986) citado por Haygreen e Bowyer (1993), os parâmetros principais da qualidade são aqueles denominados de

tecnológicos (físicos, químicos e anatômicos da madeira) e os não tecnológicos (espécie, procedência, idade, ritmo de crescimento, forma, conicidade da árvore, entre outros).

Durante muito tempo, a seleção de árvores nos programas de melhoramento florestal no Brasil foi baseada em valores fenotípicos das características de crescimento. Mais especificamente, preocupava-se com a produção volumétrica da floresta. Isso, contudo, não assegura a qualidade da árvore selecionada para a sua melhor utilização. Torna-se, assim, necessário incluir índices de qualidade com base nas características físicas, químicas e anatômicas da madeira, nos programas de melhoramento florestal, visando a obtenção de genótipos superiores para determinadas finalidades (Silva, 1996).

As estratégias atuais de melhoramento devem incluir inicialmente materiais genéticos com características satisfatórias à produção florestal, tais como o volume, forma, resistência a pragas e doenças, porcentagem de casca, desrama, entre outros, e, posteriormente, essa madeira deve apresentar propriedades tecnológicas que satisfaçam o setor industrial. Segundo Comério e Xavier (1996), a qualidade do produto final deve unir de forma harmoniosa a área florestal com a industrial, onde o objetivo principal seja formar florestas produtivas silvicultural e tecnologicamente, no intuito de obter um produto final com a qualidade desejada pelo cliente.

O gênero *Eucalyptus* é composto por mais de seiscentas espécies e, dessa forma, identificar suas propriedades é um passo importante para classificar e selecionar os melhores genótipos que atendam aos diversos setores de transformação da madeira.

Algumas das propriedades que devem ser avaliadas na madeira com o objetivo de seleção e classificação de genótipos superiores são:

- **PROPRIEDADES FÍSICAS:** dentre as propriedades físicas da madeira, as mais importantes são a densidade, o teor de umidade e a retratibilidade. A densidade, ou massa específica aparente, pode ser expressa de várias formas, na maioria das vezes relacionando a massa com um determinado volume de madeira. O teor de umidade, que diz respeito à quantidade de água nela existente, na maioria das vezes, é expresso como sendo a porcentagem em relação a massa absolutamente seca. A retratibilidade, que diz respeito a instabilidade dimensional da madeira, está diretamente associada ao fenômeno de sorção e dessorção de água (Oliveira, 1997). A densidade é considerada uma das mais importantes propriedades, porque se relaciona com as de resistência mecânica, aptidão celulósica, energética, entre outras;
- **PROPRIEDADES MECÂNICAS:** são as características mais importantes quando a madeira for destinada ao uso estrutural. Aplicação estrutural pode ser definida como qualquer uso, em que propriedades mecânicas são os critérios primários para seleção do material (Haygreen e Bowyer, 1993). As propriedades mecânicas são divididas em características de resistência e elasticidade. Dentre as de resistência estão incluídas a compressão paralela e perpendicular à grã, flexão estática e dinâmica, cizalhamento, fendilhamento, tração paralelo e perpendicular à grã, dureza e a resiliência. Entre as de elasticidade estão incluídos os módulos de elasticidade, os quais estão diretamente relacionados com a rigidez do material;
- **PROPRIEDADES QUÍMICAS:** O termo “extrativo da madeira” é utilizado para descrever os números compostos que podem ser extraídos dela utilizando-se solventes polares e não polares. Tanto a natureza como a quantidade de extrativos na madeira são importantes na sua utilização. A quantidade de extrativos pode alcançar de 1 a 20%, dependendo das espécies e posição entre a

árvore (Uprichard 1993). Eles variam na natureza e na quantidade dentro e entre espécies, e, dentro de árvores, há geralmente um decréscimo no conteúdo de extrativo com o aumento da altura da árvore (Hillis 1962). Os extrativos de madeira variam de monoterpenos voláteis de peso molecular baixo a substância de peso molecular mais alto tais como os triterpenos e os esteróis, e de hidrocarbono a estruturas polifenólicas complexas (Uprichard 1993).

Segundo Uprichard (1993) os principais efeitos dos extrativos sobre os aspectos de utilização da madeira se refere: ao aumento da sua durabilidade; coloração; injúria; densidade e mancha e corrosão durante o processamento da madeira verde. Alguns tipos de extrativos como os taninos são utilizados pelas indústrias na produção de cola e curtição de couro.

- **PROPRIEDADES ANATÔMICAS:** O lenho das árvores é formado por diferentes tipos de células. As folhosas possuem uma estrutura mais complexa que as coníferas, contendo um maior número de tipos celulares. No grupo das folhosas, existem variações consideráveis. Os principais elementos anatômicos das folhosas são: os elementos de vaso, responsáveis pelo transporte de água e nutrientes; os fibrotraquideos e as fibras libriformes, responsáveis pelo armazenamento de nutrientes e os raios, responsáveis pela transferência de material no sentido radial (Oliveira, 1988; Eberhard e Davis, 1991);
- **TÉCNICAS MULTIVARIADAS:** possibilitam avaliar simultaneamente um conjunto de características, levando em consideração as correlações existentes, o que permite que inferências sobre o conjunto de características sejam feitas em nível de significância conhecido. Essas técnicas estão sendo freqüentemente aplicadas no campo da genética e melhoramento vegetal, como uma ferramenta útil na avaliação da divergência genética (Cruz e Regazzi, 1994). Kendall (1980) classificou as técnicas de análise multivariada da seguinte forma:

a) técnicas de avaliação da interdependência: componentes principais, variáveis canônicas, correlação canônica, análise de agrupamento ou “cluster analysis”, análise fatorial e escala; e

b) técnicas de avaliação da dependência: regressão, relação funcional, múltipla contingência e análise discriminante.

As técnicas de avaliação da interdependência fornecem o modelo estrutural mais complexo que, em conjunto com a teoria de distribuição fornecida pelas técnicas de avaliação da dependência, permite a formulação de testes de hipóteses, bem como a avaliação de significância.

A análise de agrupamento tem por finalidade reunir, por algum critério de classificação, os genitores ou qualquer outro tipo de unidade amostral em vários grupos, de tal forma que exista homogeneidade dentro e heterogeneidade entre grupos. Alternativamente, as técnicas de agrupamento têm por objetivo, ainda, dividir um grupo original de observações em vários grupos, segundo algum critério de similaridade ou dissimilaridade (Cruz e Regazzi, 1994).

O processo de agrupamento envolve basicamente duas etapas: uma relaciona-se com a estimação de uma medida de dissimilaridade entre os genitores (indivíduos) e a outra com a adoção de uma técnica de agrupamento para a formação dos grupos.

A adoção de determinada medida de dissimilaridade tem sido feita em função das unidades amostrais avaliadas, da precisão das estimativas e da facilidade de computação dos dados. Geralmente, em estudos de divergência genética, têm sido rotineiramente utilizadas, como medidas de dissimilaridade, a distância euclidiana ou a distância generalizada de Mahalanobis (D^2) (Cruz, 1990).

Existe um grande número de métodos de agrupamento, entre os quais o pesquisador tem de decidir qual o mais adequado ao seu trabalho, uma vez que as variadas técnicas podem levar a diferentes padrões de agrupamento, o que colocará em dúvida a validade do agrupamento obtido (Johnson e Wichern, 1992; Cruz, 1990).

Dentre os métodos de agrupamento mais utilizados em estudos da divergência genética, estão incluídos os hierárquicos e o método de otimização apresentado por Tocher. Nos métodos hierárquicos, os indivíduos são agrupados por um processo que se repete em vários níveis, até que seja estabelecido um dendrograma ou diagrama de árvore. Nesse caso, não há preocupação com o número ótimo de grupos, uma vez que o interesse maior está na “árvore” e nas ramificações que são obtidas. As delimitações dos grupos podem ser estabelecidas por um exame visual do dendrograma, em que se avaliam pontos de alta mudança de nível, tomando-os, em geral, como delimitadores do número de indivíduos para determinado grupo. Nos métodos de otimização, os grupos são formados pela adequação de algum critério de agrupamento. No método proposto por Tocher, citado por Rao (1952), adota-se o critério de que a média das medidas de dissimilaridade dentro de cada grupo deve ser menor que as distâncias médias entre quaisquer grupos. O método requer a obtenção da matriz de dissimilaridade, sobre a qual é identificado o par de indivíduos mais similares, os formarão o grupo inicial. A partir daí, é avaliada a possibilidade de inclusão de novos indivíduos, adotando-se o critério anteriormente citado (Cruz e Regazzi, 1994).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Amostragem

Foram utilizados, neste estudo, 44 genótipos superiores, com idades de 13 a 17 anos, obtidos em povoamentos de *Eucalyptus* adaptados para as condições ambientais da região noroeste de Minas Gerais. As árvores selecionadas foram abatidas, devidamente identificadas e amostradas. Nesta seleção fenotípica para características de diâmetro e altura, tomou-se o cuidado de se escolher somente árvores que apresentassem o fuste mais linear e que possuísem um bom estado fitossanitário, evitando-se o efeito da bordadura.

Foram utilizadas as três primeiras toras com 3 m de comprimento e uma prancha central de 10 a 12 cm de espessura, conforme esquema mostrado na Figura 1. As pranchas foram transportadas para o Laboratório de Tecnologia de Madeira da Universidade Federal de Lavras, para determinação da características mecânicas, físicas e químicas.

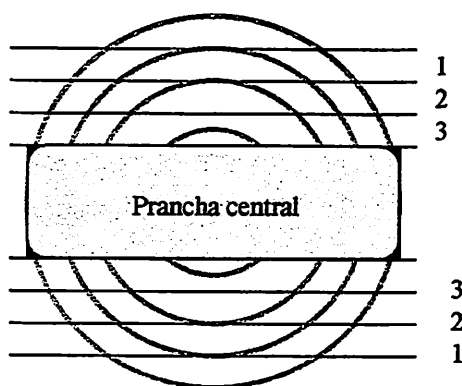


Figura 1 - Esquema ilustrativo da obtenção da prancha central utilizada

3.2 Características avaliadas na madeira

3.2.1 Características de resistência mecânica

Foram realizados os seguintes ensaios para determinar a resistência da madeira: i) compressão paralela às fibras e o módulo de elasticidade; ii) flexão estática, representada pelo módulo de ruptura (MDR) e o módulo de elasticidade iii) dureza janka. Os testes foram realizados conforme à norma da AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1997) D 143 - 94. A Tabela 1 apresenta as dimensões dos corpos-de-prova utilizados e a velocidade do ensaio.

TABELA 1. Dimensão dos corpos-de-prova e velocidade utilizados nos ensaios de resistência da madeira

ENSAIO	DIMENSÃO DO CORPO-DE-PROVA	VELOCIDADE DO ENSAIO
Compressão paralela às fibras	50 x 50 x 200 mm	0,566 mm/min
Flexão estática	25 x 25 x 410 mm	1,300 mm/min
Dureza janka	50 x 50 x 150 mm	6,000 mm/min

3.3.2 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-se a água e os volumes aparente e seco; o mercúrio foi empregado como líquido deslocado.

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 a 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, sendo 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.

3.2.3 Características químicas

As análises químicas foram feitas para determinar o teor de lignina, extrativos totais, cinzas, holocelulose 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;
- o teor de holocelulose foi obtido por diferença, por meio de análise somativa.

3. 4 Análise de agrupamento (cluster analysis)

A análise de agrupamento foi utilizada para classificar os diversos indivíduos estudados em conjuntos de progênies com grandes semelhanças entre si. Esta análise reúne procedimentos que permite 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 e Wichern, 1992).

O procedimento inicial é a conversão da matriz ${}_1 Y_p = [\bar{Y}_r]$ de médias amostrais em uma matriz ${}_1 d_1 = [d_{ir}]$ de dissimilaridade entre pares de genótipos (Johnson e Wichern, 1992).

As análises de agrupamento foram conduzidas adotando-se a distância Euclidiana padronizada, $d_{ii'} = [\frac{1}{n} \sum_j (X_{ij} - X_{i'j})^2]^{1/2}$, em que $X_{ij} = X_{ij} / S(X_j)$, 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:

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

em que,

d_g = distância média dentro do grupo I;

$$\sum_{i,r=1}^I d_{ir} = \text{soma de todas as possíveis combinações dos } n \text{ genótipos}$$

incluídos no grupo;

$$C_n^2 = \text{número de combinações possíveis.}$$

A distância média intergrupos é dada por:

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

em que:

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

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

incluídos nos grupos g e h , respectivamente;

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

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

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

TABELA 2. Valores médios das características de resistência mecânica em kgf/cm^2 para os genótipos avaliados.

Genótipo	Compressão paralela às fibras		Flexão estática		Dureza Janka
	RC	MOE	MDR	MOE	
1	567	95730	1307	176052	1148
2	643	107793	1168	201982	723
3	607	104486	1138	200252	634
4	604	101050	1070	177871	615
5	500	85323	988	145605	751
6	623	108425	1279	192777	863
7	687	112601	1419	242593	1100
8	577	94345	1150	178006	697
9	575	94825	1037	173314	566
10	573	93724	1097	166989	824
11	544	92092	1222	172973	635
12	587	101829	1206	195133	900
13	596	100616	1216	191765	754
14	656	105464	1273	198834	967
15	544	90400	1014	141986	910
16	631	96877	1275	182938	736
17	700	110186	1459	218321	991
18	704	108242	1315	233140	818
19	612	100379	1174	169915	776
20	669	111965	1182	192093	992
21	651	107469	1309	199418	875
22	510	86806	1084	152819	586
23	567	92450	1145	172308	703
24	644	102758	1273	191497	1000
25	568	94715	1147	175960	596
26	669	111801	1275	194940	1114
27	659	114681	1313	203589	987
28	591	96474	1197	174105	727
29	581	93695	1179	163680	943
30	576	95766	1192	181453	565
31	653	105276	1391	209910	853
32	656	111355	1357	204807	1011
33	680	111367	1393	244885	856
34	670	109833	1394	217875	980
35	613	102516	1157	189979	713
36	644	102341	1301	200333	891
37	564	93752	1146	172775	731
38	578	97033	1278	199301	738
39	655	107002	1438	223810	968
40	661	105286	1362	205992	1044
41	690	114417	1431	242748	839
42	596	98550	1148	182783	785
43	590	100614	1104	192140	778
44	611	102246	1274	189458	1001
Média	615	101694	1234	191843	834
CV	8.18	7.52	9.71	12.44	18.76

RC = resistência à compressão (kgf/cm^2), MOE = módulo de elasticidade (kgf/cm^2), MDR = módulo de ruptura (kgf/cm^2), dureza janka (kgf).

TABELA 3. Valores médios das características físicas para os genótipos analisados

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 refere-se, respectivamente, as contrações tangencial, radial, longitudinal e volumétrica; CT/CR = coeficiente de anisotropia; DS, DB e DA refere-se, respectivamente, às densidades seca, básica e aparente.

TABELA 4. Valores médios das características químicas para os genótipos avaliados

Genótipo	CINZA	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

CINZA = 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 (%).

4.1 Propriedades mecânica

A resistência média à compressão paralela às fibras foi 615 kgf/cm^2 , com módulo de elasticidade de 101649 kgf/cm^2 . A flexão estática, representada pelo módulo de ruptura (MDR) médio, foi 1234 kgf/cm^2 e o módulo de elasticidade de 191843 kgf/cm^2 . 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 e à idade, existente entre os materiais.

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

4.2 Propriedades físicas

Os resultados médios encontrados para as densidades e as contrações apresentaram uma grande amplitude de variação entre os indivíduos, o que proporciona uma seleção para usos diversificados. O coeficiente de variação ficou abaixo de 10%, com exceção da contração radial e longitudinal, as quais apresentaram, respectivamente, 10,61 e 20,17%. Esses resultados estão todos de acordo com os citados na literatura.

De modo geral, os genótipos pesquisados apresentaram contrações elevada, de acordo a classificação proposta pela Sudam (1981). No entanto, devido a grande amplitude de variação existente entre os materiais é possível selecionar genótipos com porcentagem de contração volumétrica total inferior a 14%.

Para a característica densidade, considerando a classificação da Sudam (1981), os genótipos avaliados foram compostos por 42% como madeira de “peso” médio e os demais considerados como madeira pesada.

Esses resultados indicam a possibilidade de usos diversificados para esses materiais, uma vez que a densidade é considerada um dos indicadores básicos para a maioria das aplicações da madeira. Por exemplo, 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.

4.3 Propriedades químicas

Quanto aos componentes químicos avaliados, verificou-se que os resultados médios encontrados estão todos 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.

4.4 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 uma 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 (1991). As características com autovalores muito baixos podem ser descartadas, pois são consideradas de pouca importância ou redundantes.

As características que provocaram uma forte multicolinearidade foram:

- 1) módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras;
- 2) módulo de elasticidade à flexão estática;
- 3) dureza janka;
- 4) contração tangencial;
- 5) contração longitudinal;
- 6) densidade seca;
- 7) densidade aparente;
- 8) teor de extrativos totais;
- 9) extrativos solúveis em água fria
- 10) teor de holocelulose.

Foram utilizados a distância euclidiana padronizada 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 a Tabela 5.

Pela Tabela 5 verifica-se que o grupo I foi formado com 50% dos genótipos. Os demais foram distribuídos em 10 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 a multiplicação clonal como para a 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

TABELA 5. Agrupamento estabelecido pelo método de Tocher de genótipos de *Eucalyptus*

GRUPOS	GENÓTIPOS																
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																

cruzamentos entre os genitores divergentes, deve-se utilizar 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 poderá restabelecer a variabilidade genética nas populações de eucalipto para a produção de múltiplos produtos de madeira.

A Tabela 6 apresenta as distâncias médias inter e intragrupos. Observa-se que os valores médios de distâncias dentro dos grupos foram menores que as distâncias entre grupos, confirmando 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.

TABELA 6. Distâncias médias intragrupos, na diagonal, e intergrupos na diagonal abaixo.

Grupos	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	-

A Tabela 7 apresenta os valores médios das características dentro de cada grupo formado. Os resultados demonstram haver grande variabilidade entre os grupos, o que é interessante do ponto de vista do melhoramento florestal, devido à existência de alta divergência genética entre os grupos.

Pelos resultados apresentados na Tabela 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 foram as menores em relação aos demais, por isso 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 a 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.

TABELA 7. Valores médios das características dentro de cada agrupamento formado de genótipos de *Eucalyptus*

GRUPOS	Características								
	RC	MDR	CR	CV	CT/CR	DB	CINZA	EAQ	LIG
I	623	1254	6,46	16,29	1,51	0,639	0,11	5,50	29,09
II	577	1127	6,12	16,09	1,69	0,565	0,16	4,58	28,67
III	692	1404	6,88	17,59	1,57	0,660	0,11	3,52	26,12
IV	575	1145	5,34	14,70	1,85	0,599	0,10	6,85	30,20
V	544	1118	5,83	13,47	1,38	0,650	0,14	5,50	31,87
VI	567	1307	5,22	12,53	1,74	0,711	0,08	6,33	32,51
VII	659	1313	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	1037	7,45	17,15	1,48	0,562	0,26	4,38	26,96
X	655	1438	6,86	18,98	1,74	0,667	0,10	6,11	30,31
XI	669	1182	8,28	20,15	1,41	0,645	0,15	4,01	28,83

RC = resistência a compressão paralela às fibras (kgf/cm^2), MDR = módulo de ruptura à flexão estática, CR e CV = contração radial (%), volumétrica, CT/CR = coeficiente de anisotropia; DB = densidade básica (g/cm^3), cinza = teor de cinzas (%), EAQ = extrativos solúveis em água quente em (%), LIG = teor de lignina total (%).

O grupo IV é caracterizado principalmente pelos altos valores médios em extrativos solúvel em água quente e lignina total. Dessa forma, este grupo não é indicado para uso como a produção de celulose, em razão de provocar um maior aumento no consumo de reagentes durante o processo de deslignificação da madeira. Entretanto, 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 pertencente 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 a 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 a contração volumétrica, indicando assim possuírem madeira com alta tensão residual de crescimento, o que pode levar o seu descarte na utilização para serraria.

5 CONCLUSÕES

As principais conclusões obtidas 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
- Constatou-se que o grupo I foi formado com 50% dos genótipos. Os demais foram distribuídos em 10 grupos distintos, o que permite a obtenção de genótipos diferenciados quanto às características analisadas conjuntamente
- O grupo I apresentou valores médios intermediários para todas as características avaliadas, indicando que este grupo tem maiores possibilidades de usos da madeira.
- A contração volumétrica, associada a baixos valores de contração radial e coeficiente de anisotropia, foi menor nos grupos V, VI e VIII, indicando a superioridade dos seus genótipos para uso como madeira para serraria
- Os grupos II, III e IX apresentam características favoráveis para a 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 grupos VII e X apresentaram valores elevados no teor de lignina total. Os genótipos pertencente 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 a contração volumétrica, indicando assim possuírem madeira com alta tensão residual de crescimento, o que pode levar a seu descarte na utilização para serraria.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1997. Annual book of ASTM. Denvers, 1997. 679p. D 143 – 94. Standards methods of testing small, clear specimens of timber, p.23-53.**
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL-ABTCP. Normas técnicas ABCP. São Paulo: ABTCP, 1974. n.p.**
- BRANDÃO, L.G. Desafio florestal brasileiro. Silvicultura, São Paulo, v.17, n.73, p.23-29, set./dez. 1997.**
- COMERIO, J.; XAVIER, A. Estratégia de melhoramento para qualidade da madeira na Champion. In: SIMPOSIO IPEF, 6., 1996, São Paulo. Anais... Piracicaba: IPEF, 1996. v.3, p.1-4.**
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa, MG: UFV, 1994. 390p.**

- CRUZ, C.D. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1990. 188p. (Tese - Doutorado em Genética e Melhoramento de Planta)
- EBERHARD, A.A.; DAVIS, M. Combustion characteristics of fuelwood. *South African Forestry Journal* Johannesburg, n.158, p.17-22, 1991.
- GARCIA, S.L.R. **Importância de características de crescimento, de qualidade da madeira e da polpa na diversidade genética de clones de eucalipto**. Viçosa: UFV, 1998. 103p. (Dissertação – Mestrado em Ciência Florestal).
- GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K.V.; LUDWIG, C.H. **Lignins: occurrence, formation, structure and reations**. 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*, São Paulo, v.47, n.8, p.36-38, 1986.
- HAYGREEN, J.G.; BOWYER, J.L. **Forest products and wood science: an introduction**. 2.ed. Ames: Iowa State Universit, 1989. 516p.
- HILLIS, W.E. **Wood extractives and their significance to the pulp and paper industries**. New York: Academic Press, 1962. 513p.
- JOHNSON, R.A; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. New Jersey: Prentice-Hall, 1992. 607p.
- LIMA, J.T. **Clonal variation in the solid wood properties of *Eucalyptus***. Bangor: University of Wales, 1999. 276p. (Tese PhD).
- MARRIOTT, F.H.C. **The interpretation of multiple observation**. New York: Academic Press, 1974. 117p.
- OLIVEIRA, E. de. **Correlações entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex-Maiden)**. Viçosa, MG.: UFV, 1988. 47p. (Dissertação – Mestrado em Ciência Florestal).
- OLIVEIRA, J.T.S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. São Paulo: USP, 1997. 447p. 2v. (Tese – Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana).

RAO, C.R. Advanced statistical methods in biometric research. New York: John Wiley & Sons, 1952. 390p.

SILVA, J.F. Estratégia de melhoramento para qualidade: Carvão vegetal. In: SIMPOSIO IPEF, 6., 1996, São Paulo. Anais... Piracicaba: IPEF, 1996. v.3, p.5-18.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA (SUDAM). Grupamento de espécies tropicais da Amazônia por similaridade de características básicas e por utilização. Belém: SUDAM, 1981. 237p.

TRUGILHO, P.F. Aplicação de algumas técnicas multivariadas na avaliação da qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus*. Viçosa, MG: UFV, 1995. 160p. (Tese – Doutorado em Ciência Florestal).

UPRICHARD, J.M.In: WALKER, J.C.F.; BUTTERFIELD, B.G.; HARRIS, J.M.; LANGRISH, T.A.G.; UPRICHARD, J.M. Primary wood processing: principles and practice. London: Chapman & Hall, 1993.

VITAL, B.R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Viçosa, MG.: SIF, 1984. 21p. (Boletim técnico, 1).

XAVIER, A. Aplicação da análise multivariada da divergência genética no melhoramento de *Eucalyptus spp.* Viçosa: UFV, 1996. 146p. (Tese - Doutorado em Melhoramento de Planta).

CAPÍTULO 2

CLASSIFICAÇÃO DE GENÓTIPOS DE *Eucalyptus* EM FUNÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA APÓS A SECAGEM NATURAL

RESUMO

CAIXETA, R.P. Classificação de genótipos de *Eucalyptus* em função da qualidade da madeira após a secagem natural. Lavras: UFLA, 2000. Cap.2, p. 32-68 (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal)¹.

A utilização de madeira serrada de *Eucalyptus* está relacionada com a sua qualidade após a secagem, pois as altas porcentagens de defeitos, tais como rachaduras, encurvamento e encanoamento, diminuem o rendimento, elevando os custos da madeira para a obtenção de produtos com qualidade superior. Para amenizar esses aspectos negativos, uma alternativa é a seleção de genótipos superiores, ou seja, daqueles que produzem madeira com baixas porcentagens de defeitos ou até mesmo isentas. O objetivo deste trabalho foi a avaliação da qualidade da madeira após a secagem natural e identificação dos genótipos mais promissores para auxiliar o estabelecimento de um programa de melhoramento florestal. Foram utilizados 44 genótipos superiores obtidos em povoamentos de *Eucalyptus* adaptados para as condições ambientais da região noroeste de Minas Gerais. Para a classificação das toras foi utilizada a norma IBDF (1984), considerando apenas o achatamento e a conicidade. A classificação das tábuas por defeito foi feita de acordo a norma de classificação, madeira serrada de folhosas (IBDF, 1983). Os resultados médios obtidos por genótipo foram: rachamento (16,06%), encurvamento (0,105%), encanoamento (3,125%), nó (0,018%) e quino (0,158%). Os genótipos foram classificados em três classes de qualidade e a análise discriminante propiciou uma melhor definição na alocação dos mesmos, por meio da avaliação conjunta das características examinadas. A soma total de defeitos para as classes I, II e III foi de, respectivamente, 6,57%, 16,57% e 28,34%, sendo que as perdas nas classes II e III foram de 152% e 3331% em relação a classe I. A classe III apresentou 71% de perda em relação a classe II. Os genótipos da classe I foram considerados os mais indicados para o estabelecimento de uma programa de melhoramento, pois apresentaram baixos valores percentuais de defeitos em relação aos demais.

¹ Comitê Orientador: Paulo Fernando Trugilho - UFLA (Orientador), Dulcinéia de Carvalho - UFLA e Sebastião Carlos da Silva Rosado - UFLA.

Palavras-chave: defeito da madeira, secagem e classificação em classes de qualidade.

CHAPTER 2

CLASSIFICATION OF *Eucalyptus* GENOTYPES IN TERMS OF WOOD QUALITY AFTER NATURAL DRYING

CAIXETA, Ronaldo Pereira. Classification of *Eucalyptus* genotypes in terms of wood quality after natural drying. Lavras: UFLA, Cap.2, p. 32-68. (Dissertation – Master in Forest Engineering)¹.

ABSTRACT

Use of sawn wood of eucalyptus is related with its quality after drying because the high percentages of defects such as cracks, warping and canoeing decrease its yield, raising the costs of wood for obtaining products with superior quality. To mitigate those negative aspects, an alternative is in the selection of superior genotypes, that is, those which produce wood with a low percentages of defects or even exempt. The objective of this work was the evaluation of wood quality after natural drying and identification of the most promising genotypes to help the establishment of a forest breeding program. Forty four superior genotypes obtained from stands of eucalyptus, adapted to the environmental conditions of the northwestern region of Minas Gerais. For the classification of the logs was utilized the IBDF guideline (1984), taking into account only the flattening and conicity. The classification of the boards by defect was done according to the classification guideline, hardwood sawn timber (IBDF, 1983). the average results obtained by genotype were: cracks(16.06%), bows (0.105 %), cupping (3.125%), knot (0.018%) and kino (0.158%). the genotypes were classified into three quality classes and the discriminating analysis provided a better definition in the their allocation by means of the joint evaluation of the examined characteristics. The total sum of defects for classes I, II and II was of respectively, 6.57 %, 16.57% and 28.343%, the losses in classes II and III were of 152% and 331% in relation to class I. Class I presented 71% of loss relative to

¹ Advising Committee: Paulo Fernando Trugilho - UFLA (Major Professor), Dulcinéia de Carvalho – UFLA e Sebastião Carlos da Silva Rosado – UFLA.

class II. The genotypes of class I were considered the most indicated to the establishment of a breeding program, for they presented low percent values of defects in relation to the others.

Key words: wood defects, drying and classification into quality classes.

1 INTRODUÇÃO

A obtenção de madeira serrada com qualidade superior para atender diversos usos, é possível por meio da adoção de medidas conjuntas no processo de produção e de programas de melhoramento genético que possibilitem a escolha de genótipos com propriedades tecnológicas desejáveis, com baixas porcentagens de defeitos após a secagem.

No Brasil, muito ainda precisa ser feito para atender ao mercado nacional e internacional de madeira serrada de *Eucalyptus* com níveis aceitáveis de defeitos. Para vencer este desafio, é necessária a condução de novos empreendimentos florestais, pois as atuais florestas de *Eucalyptus* foram conduzidas para suprir as demandas dos setores de papel e celulose e a siderurgia com o carvão vegetal.

A madeira para atender a esses fins, foi selecionada com base em características como as dimensões das fibras, densidade da madeira e teor de lignina, as quais são desejáveis para proporcionar maiores rendimentos desses processos e qualidade do produto.

Segundo Kikuti, Fier e Calori (1991), a madeira de melhor qualidade é aquela que apresenta menor quantidade de defeitos, os quais lhes são intrínsecos (genéticos) ou resultantes do processo de corte, transporte, desdobro e/ou secagem da madeira. Principalmente pela primeira razão, os atuais fatores de qualidade não reúnem as características desejáveis do ponto de vista da produção de madeira serrada.

A secagem é uma etapa imprescindível para garantir melhor qualidade da madeira antes de sua transformação em produto. A classificação do material por densidade e a padronização da espessura, largura e comprimento das tábuas obtidas, contribuem para melhorar a uniformidade da secagem. Práticas adequadas de empilhamento e localização de pátios e pilhas, como os descritos por Mendes, et al. (1996), e Galvão e Jankowsky (1985), devem ser adotados para que a madeira sofra o mínimo possível de depreciação, durante o processo de secagem.

A madeira de *Eucalyptus* é conhecida, de forma geral, como de difícil secagem, devido a sua estrutura anatômica desfavorável ao fluxo de líquidos. Nesse sentido vários defeitos de secagem surgem, como: rachaduras, empenamento, colapso, dentre outros (Jankowsky, 1985), o que, sem dúvida, afeta a qualidade e o rendimento em madeira serrada.

Existem alguns métodos que procuram amenizar os defeitos para a produção de madeira serrada, tanto na formação do material como no processamento e secagem. Defeitos de formação, como a presença de nó, veios de quino, a conicidade e o achatamento, podem ser evitados com a melhoria dos tratamentos silviculturais.

Para os defeitos que ocorrem a partir do abate da árvore, do processamento e da secagem, alguns autores, como Aguiar e Jankowsy (1986) comentaram que o corte e a toragem de árvores de *Eucalyptus grandis* com anelamento diminuem as rachaduras de topo e que o aumento do tempo de armazenamento das toras sob imersão total reduz significativamente as tensões internas de crescimento. Schact e Garcia (1997) sugeriram o uso de saco plástico para proteger as peças das rachaduras de topo. A idéia é amenizar a perda de água após o abate e, para isso é aconselhável cortar as toras em comprimentos maiores e desdobrar o mais rápido possível, a fim de amenizar as tensões de crescimento imediatamente após o abate.

No processamento, segundo Menezzi e Nahuz (1998), o desdobro através de cortes simultâneos é bastante promissor, pois apresenta vantagens como a precisão dos cortes e alta produtividade, mas tem como desvantagens a pouca flexibilidade de corte e a produção de madeira de qualidade inferior, pela inclusão da medula e da madeira juvenil. O método SSR, que conjuga o corte simultâneo e a serra de tábuas secas, é bastante efetivo na redução dos empenamentos nas peças produzidas.

Essas ações mencionadas devem ser consideradas, mas não serão suficientes para garantir a produção de madeira serrada de alta qualidade. A solução definitiva deverá ser a da utilização de técnicas adequadas, visando maior controle dos defeitos. A seleção e classificação de árvores (genótipos) superiores, que forneçam material com baixa intensidade de defeitos deve ser estimulada nos programas de melhoramento, uma vez que a maioria dessas características apresenta elevada herdabilidade, o que poderá propiciar ganhos consideráveis.

Neste sentido o objetivo do presente trabalho foi a classificação de genótipos de *Eucalyptus*, para subsidiar um programa de seleção genética por meio da avaliação da qualidade da madeira após a secagem natural.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O conceito de defeitos da madeira é muito amplo e sua classificação, complexa. Há sempre uma certa dose de risco na designação de um defeito, pois o que, muitas vezes, é tido como impróprio para certas aplicações, pode ser requerido para outras (Grosser, 1980).

A ocorrência de defeitos na madeira pode estar associada ao seu processo de formação, ao processamento e à secagem, os quais geram elevadas perdas de material.

2.1 Defeitos associados ao processo de formação da madeira

Os principais defeitos ocasionados pelo processo de formação da madeira são:

- **CONICIDADE:** é a diminuição excessiva do diâmetro do tronco da base para a copa da árvore, ocorrendo, principalmente, em árvores isoladas, naquelas situadas às margens dos povoamentos ou oriundas de espaçamentos mais amplos. De um modo geral, os troncos são classificados como cônicos quando a diminuição do seu diâmetro (da base em direção à copa) importa em mais de 1 cm por metro de comprimento (ou 3 cm/m considerando-se a circunferência).

As principais conseqüências desse defeito ocorrem em árvores com conicidade acentuada porque o aproveitamento e utilização da madeira serão influenciados desfavoravelmente. Peças serradas, tais como tábuas e pranchas obtidas de troncos acentuadamente cônicos, apresentam baixa resistência, mecânica especialmente à flexão. Sob o ponto de vista econômico, o maior prejuízo dá-se na produção de vigas (Grosser, 1980).

- **NÓ:** a presença da nodosidade pode prejudicar, de diferentes maneiras, a utilização da madeira. Para determinados fins, exclui-se, basicamente (por princípio), a utilização de madeiras nodosas. Exemplos: para peças curvadas, chapas de revestimento (móveis), aparelhos de esporte, instrumentos musicais, tonéis, etc.

A conseqüência tecnológica deste defeito é que a madeira do nó é mais escura, densa e lignificada do que a do lenho normal, por isso mesmo mais dura e quebradiça. Os índices de retratibilidade desviam-se daqueles apresentados pelo lenho normal (nós soltos). Várias propriedades de resistência da madeira são afetadas, tendo os seus índices diminuídos. A propriedade de resistência à compressão reduz entre 10 e 20%. A resistência à flexão é mínima no âmbito

dos galhos. Por isso, deve ser evitada a utilização dessa madeira na construção civil, devido a perda na sua capacidade de carga.

A posição e o diâmetro dos nós individuais, principalmente aqueles com grande porção morta absorvida, contribuem muito mais para a diminuição das propriedades de resistência de uma peça de madeira do que a quantidade deles. Nós sadios e bem aderentes ao lenho aumentam, por outro lado, algumas características (propriedades) de resistência mecânica (por exemplo, a resistência à compressão, que é importante no caso de dormentes e similares) (Grosser, 1980).

Os nós podem afetar a penetração uniforme de soluções preservativas e, desta forma, impedir que uma contínua camada de madeira preservada seja formada (Amaral, 1991). Outro aspecto negativo dos nós ocorre no momento da secagem da madeira, pois o gradiente de umidade será desbalanceado causando uma secagem desuniforme.

As madeiras com altas porcentagens de nó decisivamente apresentarão menor agregação de valor no produto final pois haverá redução da fração aproveitável na obtenção das peças, diminuição da produtividade, diminuição da qualidade do produto final (descolorações, prejuízos na textura, válido também para processo de polpação química e semi-química) (Grosser 1980).

• **VEIOS DE QUINO:** a maioria dos *Eucalyptus* possui veios de quino, um exudato fenólico viscoso e de cor laranja, móvel e que, quando exposto ao ar, torna-se rígido, com cor escura amorfa e com aparência de vidro. A extensão na qual o veio de quino está presente varia de acordo com as espécies, com o grau de injúria ambiental (inseto, fogo, mecânica) durante o período dos lançamentos de crescimento, espessura da casca, vigor da árvore e outros fatores ambientais e genéticos (Amaral, 1991).

O veio de quino é uma das características mais mencionadas como fonte de degradação ou rejeição na madeira de *Eucalyptus* na Austrália. Os pequenos

veios prejudicam a madeira para marcenaria e grandes veios enfraquecem a madeira para fins estruturais. O veio de quino também prejudica o rendimento em polpa, uma vez que aumenta o consumo de produtos químicos (Amaral, 1991).

2.2 Defeitos associados à secagem da madeira

A madeira é um material higroscópico, isto é, tem afinidade com a água, que atinge um percentual de até 75% do peso da madeira recém-abatida e que distribui-se, principalmente, em água de capilaridade ou livre, água de impregnação e água de adsorção química (Siau, 1968).

Pode-se considerar que a água desloca-se das regiões de alto para as de baixo teor de umidade. Na forma líquida e como vapor, ela se movimenta pelas aberturas naturais da madeira e por meio das paredes celulares. Basicamente, a secagem da madeira consiste na remoção da umidade de sua superfície ao mesmo tempo em que ocorre o movimento da água do interior para o seu exterior. O conhecimento dos fenômenos que envolvem esses dois processos permitirá obter o melhor equilíbrio entre eles, com uma conseqüente eficiência e economia na secagem (Galvão e Jankowsky, 1985).

Quando a árvore é abatida para obtenção da madeira, a água começa a ser eliminada, dando início ao processo da secagem, da parte de dentro para fora. O conteúdo de umidade, quando a madeira é abatida, varia entre 40 a 200% (Walker, 1993).

Basicamente, existem duas formas para secar a madeira: uma chamada de secagem ao ar ou natural, e outra artificial. A secagem ao ar livre depende principalmente das condições climáticas e, portanto, é de difícil previsão, sendo que algumas vezes não é possível atingir uma determinada umidade final, devido à umidade de equilíbrio local. No entanto, a secagem ao ar apresenta

vantagens como: a) baixo custo, pois não é necessário investir em equipamentos caros; b) não necessidade de manutenção de equipamentos c) necessidade de mão-de-obra menos especializada. A secagem artificial é realizada em local apropriado, sob condição controlada de temperatura, umidade relativa e intensidade de movimentação do ar. O controle das condições atmosféricas na secagem artificial melhora a sua eficiência, entretanto, com maior custo.

A grande desuniformidade existente na madeira afeta a secagem, pois suas características variam de árvore para árvore, bem como nos sentidos longitudinal e radial. Segundo Bauer et al. (1999), a variação na densidade em uma tora é muito importante para a secagem, pois, às vezes, ela pode ser maior que a variação existente entre as árvores.

A madeira é seca mais rapidamente quando a temperatura é alta, a umidade relativa do ar é baixa e o movimento do ar é ativo através das peças. Portanto, adotando-se procedimentos racionais e práticas adequadas de empilhamento e localização de pátios e pilhas, pode-se obter o máximo das condições do ambiente, favorecendo a secagem da madeira.

A madeira bruta e úmida, deve ser secada antes de ser destinada aos produtos finais. De acordo com Walker (1993) Galvão e Jankowsky (1985) e Mendes, et al. (1996), as razões para secar e/ou controlar a secagem da madeira são:

- assegurar que toda contração aconteça antes do uso final da madeira. Assim, é necessário secar a madeira até que atinja teores de umidade indicados para determinado uso;
- melhorar a maioria das propriedades mecânicas da madeira, tais como resistência à compressão, resistência à flexão, dureza, etc;
- a resistência das uniões ou juntas feitas com pregos e parafusos são maiores em madeira seca do que em madeira verde;

- a maioria das deformações, empenamentos e rachamentos da madeira ocorre durante a secagem. Produtos feitos com madeira seca estarão livres da ocorrência desses defeitos;
- obter uma melhor superfície antes de colar, pintar e polir;
- aumentar a resistência elétrica da madeira, tornando-a isolante e melhorando suas propriedades de isolamento térmico;
- melhorar a usinagem da madeira, principalmente torneamento, molduragem, furação, lixamento, etc.;
- dificultar o processo de deterioração da madeira;
- reduzir os custos de transportes.

Por essas razões, a maioria da madeira serrada é, de alguma maneira, seca antes de ser colocada em uso. Somente o desconhecimento das características da madeira pode justificar o uso da madeira verde ou com elevado teor de umidade, principalmente para usos mais nobres, tais como móveis, esquadrias, lambris, assoalhos, instrumentos musicais, carrocerias de caminhão e outros produtos, para os quais madeira deva ser usinada, unida através de cola, prego ou parafuso, ter acabamento e estabilidade dimensional.

Alguns defeitos que ocorrem podem estar, de certa forma, associados à má condução da secagem da madeira; outros podem simplesmente ser potencializado pelo efeito da secagem.

As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam altos níveis de tensão de crescimento, que são esforços mecânicos gerados durante o crescimento da árvore que ajudam a manter o equilíbrio da copa, em resposta a agentes ambientais (luz, vento e inclinação do terreno) e agentes silviculturas (desbaste, poda e densidade de plantio). Quando as árvores são derrubadas e suas toras são desdobradas, essas tensões são liberadas, provocando a formação de rachaduras de topo nas toras e empenamentos e rachaduras nas tábuas, reduzindo significativamente o rendimento de madeira serrada.

Segundo Bariska (1990), podem-se distinguir cinco tipos de rachaduras que degradam a madeira, sendo que dois são resultantes das tensões de crescimento (rachaduras de extremidade e rachaduras laterais), uma do fenômeno do colapso, uma do processo de secagem e a última oriunda do próprio efeito da derrubada. As rachaduras são um fenômeno complexo e, como dependem do tempo para a sua manifestação, os vários tipos podem interagir (Bariska, 1990).

Na secagem, as rachaduras aparecem como consequência da diferença de retração nas direções radial e tangencial da madeira e de diferenças de umidade entre regiões contíguas de uma peça, durante o processo de secagem. Essas diferenças levam ao aparecimento de tensões que, tomando-se superiores à resistência dos tecidos lenhosos, provocam a ruptura da madeira. Na secagem as rachaduras superficiais podem aparecer quando as condições são muito severas, isto é, baixas umidades relativas, ocasionando uma rápida secagem nas camadas mais superficiais, que se retraem, provocando o surgimento de tensões que, excedendo a resistência da madeira à tração perpendicular às fibras, provocam o rompimento dos tecidos lenhosos. Normalmente, a ruptura ocorre nos tecidos que compõem os raios. As rachaduras de topo, em toras e tábuas, aparecem, geralmente, nos raios, que são constituídos de células parenquimáticas, tecido de reduzida resistência mecânica. São consequências de diferenças entre as retrações tangencial e radial. É bastante difícil a secagem de seções transversais de toras sem que apareçam rachaduras de topo (Jankowsky, 1999).

Segundo Villiers (1973) um método para prever os defeitos da madeira serrada preconiza a medição da circunferência antes e 72 horas após o traçamento das toras. Um aumento de 0,2% nesta circunferência, devido às rachaduras, resultou em um rendimento em tábuas de aproximadamente 40%, enquanto que um aumento de 2,42% proporcionou rendimento de 32,5%.

Empenamentos caracterizam-se como sendo quaisquer distorções da peça de madeira em relação aos planos originais de suas superfícies. Assim, levando-se em conta os planos em relação aos quais houve alteração, os empenos podem ser encanoados, longitudinais e torcidos (Jankowsy 1999).

O encanoamento é definido quando as margens da peça permanecem aproximadamente paralelas, e ela adquire um aspecto encanoado ou de canaleta. Esse tipo de empeno surge em consequência da diferença de estabilidade entre as direções radial e tangencial, que provoca a maior movimentação de uma das faces da peça em relação à outra. Outra causa para o empeno encanoado é a secagem mais rápida de uma face. Essa diferença de umidade ocorre quando a peça está apoiada sobre toda a extensão de uma das faces, de forma que a evaporação da água seja maior na outra, ou quando uma das faces recebeu revestimento enquanto que a outra permaneceu ao natural. De forma geral, as peças retiradas mais exteriormente da tora tendem a apresentar mais nitidamente o fenômeno, pela maior retração da face que se situa próxima à casca (Jankowsy 1999).

O empenamento longitudinal é caracterizado pelo afastamento de uma face em relação a um plano que une uma extremidade a outra da peça, ocorrendo como consequência de irregularidades da grã, ou quando a peça é retirada de forma que a grã faça ângulo em relação à direção do seu comprimento. Pode ocorrer, também, como consequência de tensões desenvolvidas durante o crescimento da árvore. Nessas condições, quando as toras são desdobradas, as pranchas racham ao centro com empenamento longitudinal (Jankowsky, 1999).

Para Santos (1998), problemas com empenamento podem ser quase completamente solucionados colocando-se cargas sobre as pilhas de secagem e reduzindo o espaçamento das régua de empilhamento para valores convenientes.

Com relação às perdas por encurvamentos, deve ser considerado que as mesmas podem ser reduzidas por seccionamento transversal das peças, pois este reduz não só seu comprimento como também sua flecha, já que o usual é o processamento da madeira em forma de peças mais curtas.

2.3 Influência genética das rachaduras e empenamentos

A propensão de rachaduras e empenamentos na madeira serrada verde é caracter herdável e pode constituir-se em fatores importantes para a seleção de genótipos superiores, ou seja, aqueles que apresentarem menores valores para essas características (Schact 1998).

Schact e Garcia (1997), verificaram que os empenamentos da madeira serrada verde possuem uma significativa correlação genética de 0,45 a 0,77 com todos os tipos de rachaduras. Isto significa que a seleção para baixa intensidade de rachaduras resultará, na serraria, em maior comprimento útil e menor empenamento das tábuas.

Malan (1987) obteve estimativas de herdabilidade de 0,52 e 0,70 no sentido restrito e de 0,75 no sentido amplo para rachaduras de topo, utilizando o método de Conradie (1980) em dois experimentos de *E. grandis*, aos 6 anos de idade.

A tensão de crescimento é a primeira e talvez a principal causa de ocorrência de rachaduras e deformações na madeira serrada verde, constituindo-se, portanto, num importante indicador de seleção, pois relaciona-se diretamente com a produtividade e a qualidade do produto final (Schacht 1998). Apesar de ser possível medir a tensão de crescimento, essa operação é mais dificultosa. Uma alternativa é a avaliação indireta. Neste caso, a contração volumétrica poderia ser um medidor indireto dessa tensão. Segundo Nicholson e Hillis

(1975), a contração volumétrica (12% de umidade) possui associação direta com o componente longitudinal da tensão de crescimento.

Para Falconer (1989) citado por Schacht (1998) , algumas vezes a seleção indireta é preferível à seleção direta, quando a característica desejada é de difícil ou imprecisa medição, pois os muitos erros impossibilitam discriminar genótipos na seleção. Dessa forma, pode ser preferível, do ponto de vista econômico, medir-se um carácter de mais fácil obtenção e que tenha correlação genética com a característica desejada. Esta correlação genética pode ser causada tanto por efeitos pleiotrópicos dos genes quanto por falta de equilíbrio de ligação (Vencovsky, 1992).

2.4 Análise discriminante

Análise discriminante e classificação são técnicas multivariadas que dizem respeito a separação de distintos grupos de objetos (genótipos) e alocação de novos genótipos em grupos previamente definidos por algum método de agrupamento. Análise discriminante é uma análise exploratória por natureza. Assim, um procedimento separatório é freqüentemente empregado em uma única vez com a finalidade de investigar diferenças observadas quando as afinidades causais não são bem compreendidas (Johnson e Wichern, 1992).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Amostragem

Foram utilizadas, neste estudo, cinquenta genótipos superiores, obtidos em povoamentos de *Eucalyptus* plantados no espaçamento 3 x 2, com 13 e 17 anos de idade, adaptadas para as condições ambientais do noroeste de

Minas Gerais. As árvores foram selecionadas fenoticamente, abatidas, devidamente identificadas e amostradas. Nesta seleção fenotípica considerou-se o volume de madeira, forma e estado fitossanitário das árvores. Árvores localizadas na bordadura dos povoamentos não foram amostradas.

3. 2 Abate

Após o abate, o fuste, considerado até a inserção dos primeiros galhos da copa, foi subdividido em toras com comprimento de 3 metros, as quais foram submetidas à cubagem rigorosa para cálculo de volume e determinação da sua forma. Para as análises da qualidade da madeira foram utilizadas as três primeiras toras, com 3 metros de comprimento, as quais foram transportadas num tempo máximo de três dias para processamento, na serraria da Companhia Mineira de Metais (CMM-AGROFLORESTAL).

3. 3 Classificação das toras, desdobro e o processo de secagem

Para classificação das toras foi utilizada a norma IBDF (1984), considerando apenas o achatamento e a conicidade. Essa norma estabelece que os limites para estabelecimento das classes, em porcentagem, é feita da seguinte forma: a) para achatamento: superior, > 90 ; primeira, 80 a 90; segunda, 70 a 80; para terceira, 60 a 70; e b) para a conicidade superior, ≤ 3 ; primeira, ≤ 3 ; segunda, 3 a 4; e terceira, valores acima.

Para o desdobro, utilizou-se uma serra de francesa, retirando-se tábuas de 3 cm de espessura em cada tora, até a obtenção de uma prancha central, com 10 a 12 cm de espessura (Figura 1). As tábuas e as pranchas radiais obtidas foram devidamente numeradas.

A prancha central foi transportada para o Laboratório de Tecnologia de Madeira da Universidade Federal de Lavras para a determinação das características mecânicas, físicas e químicas (Capítulo 1).

Com as tábuas, construiu-se as pilhas de secagem ao ar livre, localizadas no interior do galpão da serraria da CMM-AGROFLORESTAL.

As pilhas foram construídas em cima de base sólida e durável, tomando-se o cuidado no alinhamento vertical dos tabiques: 2,5 cm de espessura e posicionados 60 cm de distância uns dos outros para permitir uma circulação de ar adequada e amenizar os efeitos das deformações. Este material foi avaliado após sete meses de secagem, estando a madeira com teor de umidade média de 13,75%, que é a umidade de equilíbrio para as condições daquele local.

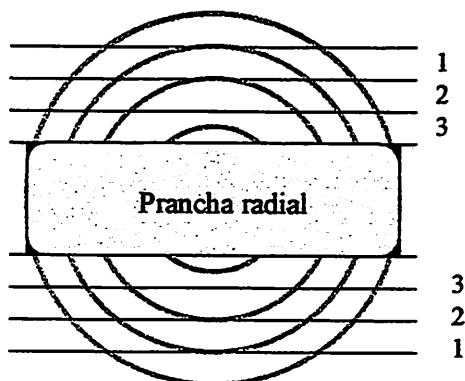


FIGURA 1 - Esquema ilustrativo do desdobro da madeira.

3.4 Avaliação do rendimento bruto em madeira seca

O rendimento foi determinado em relação às peças retiradas no processamento primário, levando-se também em consideração a prancha central.

3. 5 Classificação das tábuas por defeito

Esta classificação foi feita de acordo com a norma para classificação de madeira serrada de folhosas do IBDF (1983).

Determinou-se o índice de rachadura (IR%) pela seguinte equação:

$$IR = \frac{\sum_{i=1}^2 CR_i}{CTT} \times 100$$

sendo:

IR = índice de rachadura, em %;

CR_i = soma dos comprimentos das maiores rachaduras nas duas extremidades da tábua (m);

CTT = comprimento total da tábua (3 m).

O encanoamento e o encurvamento foram obtidos pela expressões:

$$ENCANOAMENTO = \frac{2 \times Flexa}{CTT} \times 100$$

$$ENCURVAMENTO = \frac{Flexa}{CTT} \times 100$$

A presença de nodosidade e a ocorrência dos veios de quino foram determinados da seguinte forma:

$$NÓ = \frac{\sum_{i=1}^n SN_i}{STT} \times 100 \quad \text{e} \quad \text{QUINO} = \frac{\sum_{i=1}^n SQ_i}{STT} \times 100$$

sendo:

SN_i = área total ocupada pelo nó, em m^2 ;

STT = área total da tábua, em m^2 ;

SQ_i = área total ocupada pelo veio de quino, em m^2 .

3.6 Avaliação dos defeitos de secagem no sentido longitudinal e radial

A análise dos defeitos de secagem também foi realizada no sentido longitudinal e radial para os genótipos, visando verificar a tendência da variação nesses dois sentidos.

3.7 Análise discriminante

Antes da aplicação da análise discriminante foram definidas três classes de qualidade da madeira para os genótipos após a secagem ao ar livre, sendo classe I (superior), II (intermediária) e III (inferior). Essa classificação foi feita com base nos defeitos, sendo usado o índice de rachadura, encurvamento e encanoamento, presença de nodosidade e os veios de quino.

Para checar a classificação inicial, ou seja, problema de classificação errônea dos genótipos nas três classes de qualidade, utilizou-se o método de análise discriminante “Stepwise”, tendo como critério de seleção das variáveis a maximização da distância generalizada de Mahalanobis (D^2) entre as duas classes mais próximas.

O modelo discriminante deriva de combinações lineares das variáveis iniciais que maximizam a diferenciação entre os grupos, ou seja, maximizam a razão de dispersão intergrupos/intragrupos. As funções discriminantes foram obtidas pela metodologia de Anderson.

As análises discriminantes foram feitas de acordo com Johnson e Wichern (1992), através do programa Statistica (1995).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente, foi verificada a propensão do toco remanescente em emitir brotações. Desta forma, foi constatado que seis dentre os cinquenta genótipos não brotaram, o que ocasionou o seu descarte do estudo. Foram analisados, assim, 44 genótipos que emitiram brotação e, portanto, com possibilidade de produzirem clones.

4. 1 Determinação do volume e fator de forma para os genótipos

Os volumes e fatores de forma referentes aos 44 genótipos utilizados para o estudo da qualidade da madeira após a secagem estão apresentados na Tabela 1. Por esses resultados podem considerar quatro classes de volume, sendo compostas da seguinte forma: 1) $> 3 \text{ m}^3$ (1): 2) < 3 classe $\geq 2 \text{ m}^3$ (11 12 13 22 23 25 26 27 29 35 36 37 e 42) c) < 2 classe $\geq 1,5 \text{ m}^3$ (4 5 7 14 15 16 18 19 24 28 30 31 33 34 38 40 41 e 43 d) $< 1,5$ classe $\geq 1,16 \text{ m}^3$ (2 3 6 8 9 10 17 20 21 e 44).

O volume médio dos genótipos foi $1,81 \text{ m}^3$. Sendo assim, para as condições ambientais dos locais de plantio, os genótipos selecionados apresentaram volumes consideráveis, indicando o alto incremento anual desse material.

O fator de forma médio dos genótipos foi 0,40 (Tabela 1), situando dentro da faixa considerada normal para o gênero *Eucalyptus*.

4. 2 Determinação do volume, achatamento, conicidade e rendimento para as três toras dos genótipos avaliados

A Tabela 2 apresenta os valores médios para os genótipos avaliados para as características volume, achatamento, conicidade e rendimento. Verifica-se

TABELA 1. Volume total das árvores e fator de forma para os genótipos de *Eucalyptus* avaliados, após secagem natural

GENÓTIPO	VOLUME (m ³)	FATOR DE FORMA
01	3,27	0,35
02	1,37	0,45
03	1,23	0,42
04	1,80	0,42
05	1,68	0,47
06	1,27	0,43
07	1,84	0,50
08	1,47	0,39
09	1,23	0,36
10	1,13	0,40
11	2,11	0,40
12	2,00	0,39
13	2,36	0,41
14	1,76	0,31
15	1,91	0,35
16	1,57	0,45
17	1,34	0,45
18	1,77	0,36
19	1,72	0,46
20	1,30	0,41
21	1,42	0,37
22	2,27	0,37
23	2,09	0,51
24	1,58	0,37
25	2,51	0,56
26	2,02	0,36
27	2,72	0,37
28	1,62	0,34
29	2,00	0,38
30	1,88	0,30
31	1,54	0,29
32	1,71	0,47
33	1,78	0,46
34	1,97	0,41
35	2,22	0,37
36	2,15	0,34
37	2,24	0,38
38	1,96	0,30
39	1,74	0,36
40	1,53	0,40
41	1,80	0,40
42	2,01	0,46
43	1,80	0,46
44	1,16	0,36
Média geral	1,81	0,40

TABELA 2. Volume, achatamento, conicidade e rendimento médio das toras por genótipo de *Eucalyptus*

Genótipo	Volume (m ³)	Achatamento (%)	Conicidade (%)	Rendimento (%)
1	1,786	88,10	2,29	58,35
2	0,673	86,90	1,60	61,06
3	0,589	90,40	1,02	60,70
4	0,921	91,53	1,11	56,93
5	0,905	91,83	1,12	58,71
6	0,680	90,83	1,06	61,93
7	0,713	89,20	1,40	57,43
8	0,756	91,70	1,00	46,88
9	0,635	92,37	0,86	58,88
10	0,990	87,73	1,91	59,73
11	1,049	90,80	1,27	64,66
12	0,977	87,90	1,77	61,85
13	1,095	89,27	1,78	58,96
14	0,939	85,73	2,15	56,58
15	1,123	83,87	2,78	56,75
16	0,780	92,23	1,11	49,95
17	0,603	88,17	1,30	54,98
18	0,950	91,93	1,09	57,11
19	0,797	90,23	1,30	60,17
20	0,658	89,73	1,23	61,18
21	0,752	87,73	1,55	61,72
22	1,121	89,60	1,50	60,08
23	0,964	93,73	0,86	63,75
24	0,846	89,30	1,41	50,17
25	1,113	90,90	1,41	52,87
26	1,061	87,20	1,81	72,51
27	1,286	88,37	1,98	66,96
28	0,846	90,13	1,32	61,78
29	1,143	85,50	2,36	58,57
30	0,982	86,90	1,91	48,31
31	0,875	87,97	1,62	49,52
32	0,949	89,77	1,37	46,74
33	0,715	91,77	0,99	62,78
34	1,000	89,77	1,52	71,76
35	1,152	90,13	1,50	63,69
36	1,114	89,77	1,56	58,92
37	1,079	92,27	1,16	68,27
38	1,078	86,43	2,09	51,31
39	0,881	87,23	1,79	58,17
40	0,782	88,77	1,47	61,39
41	0,902	89,23	1,61	66,34
42	0,890	88,47	1,62	76,71
43	0,891	88,30	1,66	55,79
44	0,580	88,03	1,37	59,03
Média Geral	0,923	89,27	1,51	59,32
CV (%)	24,24	7,56	79,28	12,63

que o volume médio foi 0,923 m³ e coeficiente de variação de 27,24%. As porcentagens médias de achatamento, conicidade e rendimento foram, respectivamente, de 89,27; 1,51; e 59,32%. Os coeficientes médios de variação encontrados para estas características foram 7,56; 79,28 e 12,63%, respectivamente. O elevado valor do coeficiente de variação associado à conicidade se deve a alta variabilidade existente entre os genótipos avaliados, o que pode ser bem aproveitado do ponto de vista do melhoramento florestal.

Os resultados de rendimentos encontrados foram altos pois a prancha central das toras não foi processada para a obtenção de tábuas em razão da sua utilização para outros ensaios em laboratório.

Os valores obtidos para achatamento e conicidade das toras são considerados como de primeira classe, conforme a classificação proposta pelo IBDF (1984).

A Tabela 3 apresenta os valores médios por tora para o volume, achatamento, conicidade e rendimento. Observa-se que o volume médio das toras reduziu no sentido longitudinal, como era esperado; o achatamento aumentou e a conicidade reduziu no mesmo sentido e o rendimento, entretanto, não apresentou padrão definido de variação.

A correlação entre o achatamento e conicidade foi de -0,97, indicando existir uma relação muito forte entre essas características, podendo utilizar apenas delas nas análises posteriores. Neste caso, o achatamento é mais indicado, tendo em vista o seu menor valor no coeficiente de variação.

TABELA 3. Média do volume, achatamento, conicidade e rendimento para todas as toras

Toras	Volume (m ³)	Achatamento (%)	Conicidade (%)	Rendimento (%)
A	0,349	81,51	2,88	60,01
B	0,308	92,81	0,91	58,36
C	0,266	93,48	0,75	59,57
Média Geral	0,308	89,27	1,51	59,32

4.3 Classificação dos genótipos em classes de qualidade para os defeitos pós secagem e da madeira por meio da análise discriminante.

A Tabela 4 apresenta os valores médios obtidos para cada genótipos e suas respectivas classes de qualidade inicial. Esta classificação alocou um número de número de 6, 10 e 28 genótipos nas classes I, II e III.

Para checar a classificação inicial, ou seja, verificar problemas de classificação errônea dos genótipos nas três classes de qualidade, utilizou-se a análise discriminante “stepwise”, a qual gerou três funções de classificação. Essas funções determinaram a qual classe de qualidade pré-estabelecida cada genótipo realmente pertence.

As funções discriminantes foram obtidas pela metodologia proposta por Anderson, sendo os coeficientes destas funções são apresentados na Tabela 5.

As novas percentagens de genótipos que devem compor as classes de qualidade podem ser observadas na Tabela 6. Os resultados da análise discriminante indicam que: a) as classes I, II e III apresentam erros médio de, respectivamente, zero, 20 e 28,57%; b) as classe II e III apresentam um e cinco genótipos pertencente à classe I, respectivamente, dessa forma, a classe I deverá receber seis novos genótipos; c) a classe III apresentou três genótipos da classe II; d) a classe II apresentou um genótipo da classe III. A estimativa do erro geral para as classes é de 16,19%.

Os genótipos indevidamente classificados e suas respectivas probabilidades de alocação por classe estão apresentados na Tabela 7. Pode-se observar que dez genótipos não estavam devidamente alocados em sua classe real, pois sua probabilidade de classificação para outra classe foi maior, como já discutido anteriormente.

TABELA 4. Valores médios das características dos genótipos *Eucalyptus* avaliados com a sua classificação inicial.

Genótipos	IR (%)	Encurvamento (%)	Encançamento (%)	Nó	Quino	Classe Inicial
01	16,35	0,076	6,413	0,010	0,000	III
02	22,78	0,155	1,653	0,027	0,000	III
03	4,57	0,055	7,593	0,011	0,000	II
04	16,67	0,085	4,097	0,007	0,000	II
05	2,39	0,049	0,000	0,013	0,000	I
06	17,30	0,067	0,000	0,000	0,000	II
07	7,25	0,111	3,307	0,010	0,297	II
08	9,60	0,091	6,250	0,012	0,000	II
09	1,78	0,042	0,000	0,025	0,000	III
10	26,71	0,133	2,263	0,011	0,143	III
11	14,60	0,042	0,000	0,018	1,370	III
12	19,99	0,075	0,877	0,011	0,047	III
13	49,96	0,215	0,000	0,031	0,000	III
14	5,47	0,066	0,000	0,013	0,000	I
15	2,95	0,083	0,000	0,010	0,000	I
16	1,25	0,072	1,693	0,026	0,000	III
17	2,03	0,093	0,000	0,026	0,000	III
18	29,79	0,228	1,957	0,014	0,000	III
19	0,38	0,024	0,000	0,032	0,000	III
20	2,30	0,044	1,613	0,017	0,000	III
21	6,19	0,118	5,813	0,010	0,000	II
22	13,34	0,065	7,070	0,014	0,987	III
23	7,83	0,082	2,317	0,012	1,263	III
24	9,61	0,060	2,850	0,054	0,557	III
25	10,90	0,079	4,063	0,040	0,020	II
26	10,64	0,091	5,747	0,017	0,063	II
27	34,97	0,131	2,277	0,013	0,093	III
28	2,24	0,058	2,667	0,011	0,007	I
29	18,97	0,044	1,633	0,014	0,743	III
30	13,69	0,182	1,420	0,028	0,197	III
31	23,97	0,163	0,000	0,062	0,300	III
32	16,00	0,125	2,923	0,057	0,120	III
33	40,17	0,339	1,190	0,005	0,023	III
34	18,54	0,142	2,023	0,014	0,423	III
35	51,44	0,145	2,717	0,006	0,007	III
36	26,68	0,060	4,953	0,008	0,053	III
37	39,69	0,074	9,577	0,010	0,000	III
38	17,08	0,161	4,263	0,001	0,000	III
39	16,95	0,076	16,460	0,018	0,083	III
40	3,34	0,192	2,240	0,006	0,070	II
41	31,29	0,133	2,513	0,000	0,000	III
42	6,12	0,126	3,560	0,022	0,000	II
43	19,89	0,137	11,490	0,035	0,000	III
44	12,95	0,013	0,000	0,010	0,107	I
Média	16,06	0,105	3,125	0,018	0,158	

TABELA 5. Funções discriminantes de Anderson para a classificação inicial, em relação às classes I, II e III, e sua respectivas probabilidades.

Variáveis	Classe I	Classe II	Classe III
	p=0,136	p=0,227	p=0,636
Índice de rachadura (%)	0,029	0,026	0,172
Encurvamento (%)	17,635	39,359	35,236
Encanoamento (%)	0,162	0,579	0,512
Nó (%)	78,904	100,324	168,156
Quino (%)	1,586	3,471	6,245
Constante	-2,188	-5,210	-5,210

TABELA 6. Classes, número de casos e porcentagens obtida na classificação inicial para 44 genótipos

Classes de qualidade	Números de casos	Classificação prevista		
		I	II	III
I	12	6 100,0%	0 0,00%	0 0,0%
II	11	1 10,0%	8 80,0%	1 10%
III	21	5 17,9%	3 10,7%	20 70,4%

TABELA 7. Classificação dos genótipos de acordo com a função de classificação de Anderson e suas probabilidades de alocação.

Genótipos	Classes iniciais	Classes onde foram classificadas	Probabilidades de classificação		
			Classe I	Classe II	Classe III
6	II	I	0,777	0,154	0,069
25	II	III	0,086	0,299	0,614
1	III	II	0,135	0,583	0,283
9	III	I	0,791	0,163	0,046
12	III	I	0,465	0,217	0,318
16	III	I	0,500	0,409	0,091
17	III	I	0,556	0,354	0,090
19	III	I	0,815	0,132	0,053
38	III	II	0,080	0,742	0,177
39	III	II	0,001	0,630	0,368

Após a realocação desses dez genótipos, que apresentaram problema de classificação errônea, foi necessário reclassificá-los para comprovar se a mudança de classe foi verdadeira. Esta nova classificação está apresentada na Tabela 8.

Esta nova composição (Tabela 8) foi reavaliada pela análise discriminante “stepwise”, a fim de checar a concordância da realocação desses genótipos dentro das classes. As funções discriminantes usadas neste caso seguiram as metodologias propostas por Anderson e Fisher.

TABELA 8. Nova composição das classes com a mudança dos dez genótipos pré-classificados

Classe	Genótipos													
I	05	14	15	20	28	44	06	09	12	16	17	19		
II	03	04	07	08	21	26	40	42	01	38	39			
III	25	02	10	11	13	18	22	23	24	27	29	30	31	32
	35	36	37	41	43									

As funções discriminantes, pela metodologia proposta por Anderson, foram estabelecidas e estão apresentadas na Tabela 9.

Esta função apresentou uma classificação perfeita, como pode ser observado na Tabela 10. A nova composição das classes, após a reclassificação dos dez genótipos, apresentou 100% de probabilidade na alocação dos mesmos. As classes de qualidades I, II e III devem apresentar, respectivamente, 12, 11 e 21 genótipos e não 6, 10 e 28, conforme a classificação inicial.

TABELA 9. Funções discriminantes de Anderson para a nova classificação, após a realocação dos dez genótipos de *Eucalyptus*

Variáveis	Classe I p=0,272	Classe II P=0,250	Classe III p=0,477
Índice de rachadura (%)	0,181	0,218	0,618
Encurvamento (%)	33,195	82,015	87,752
Encanoamento (%)	0,355	1,419	1,199
Área de nó (%)	160,541	167,920	360,383
Área de quino (%)	6,623	12,962	22,053
Constante	-4,036	-12,128	-23,801

TABELA 10. Classes, número de casos e porcentagem obtida na classificação após a realocação dos dez genótipos

Classes de qualidade	Números de casos	Classificação prevista		
		1	2	3
I	12	12 100,0%	0 0,00%	0 0,0%
II	11	0 0,0%	11 100,0%	1 10%
III	21	0 0,0%	0 0,0%	21 100,0%

As funções discriminantes, pela metodologia proposta por Fisher, foram estabelecidas, sendo os seus coeficientes apresentados na Tabela 11.

A discriminação entre as classes de qualidade I, II e III se deve, principalmente, com base nos maiores valores em módulo às características avaliadas. A primeira variável canônica foi suficiente para explicar 81,6% da variação total existente entre as características, sendo que índice de rachadura e área de quino foram as mais importantes. Já a segunda variável canônica foi responsável por 18,4% da informação, sendo mais importantes o encurvamento e o encanoamento.

TABELA 11. Funções de discriminação de Fisher para 44 genótipos.

Variáveis	VC1	VC2
Índice de rachadura (%)	<u>-1,044</u>	0,569
Encurvamento (%)	-0,581	<u>-0,719</u>
Encanoamento (%)	-0,411	<u>-0,976</u>
Área de nó (%)	-0,666	0,417
Área de quino (%)	<u>-1,107</u>	-0,044
Autovalor	3,983	0,898
Proporção acumulada	0,816	1,000

A representação gráfica dos indivíduos classificados pela função discriminante de Fisher é mostrada na Figura 2, na qual pode-se observar a formação de três grupos distintos, onde apenas os genótipos 9 e 38, respectivamente das classes I e II, se distanciaram da sua referida classe. A classe III contém indivíduos distantes entre si, o que sugere a formação de sub-grupos.

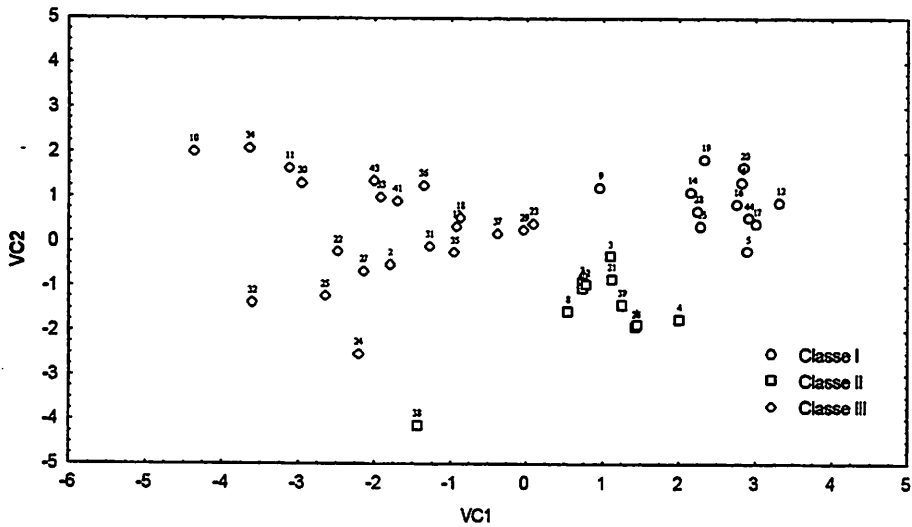


FIGURA 2. Dispersão e classes de qualidade para os 44 genótipos, com relação à primeira (VC1) e segunda (VC2) variável canônica

4. 4 Valores médios das características por classes após a reclassificação

A Tabela 12 apresenta os valores médios por classe. Os genótipos pertencentes à classe I apresentaram os mais baixos valores percentuais de defeitos para todas as características, confirmando a sua superioridade em relação aos demais. Esses genótipos devem ser avaliados em teste clonal para certificar a sua superioridade quanto ao crescimento, ao serem utilizados em plantios destinados à produção de madeira para serraria.

Os genótipos pertencentes à classe II apresentaram valores intermediários e os da classe III foram os piores. Dessa forma, a classe III foi formada por genótipos que são menos indicados para a seleção em programas de melhoramento, visando a produção de madeira para serraria.

TABELA 12. Valores médios das características dentro de cada classe de qualidade

Características	Classe I	Classe II	Classe III
Índice de rachadura (%)	5,918	10,432	24,801
Encurvamento (%)	0,057	0,107	0,130
Encanoamento (%)	0,571	5,970	3,090
Área de nó (%)	0,016	0,011	0,022
Área de quino (%)	0,013	0,047	0,300
Perda total (%)	6,575	16,570	28,343

As perdas totais para as classe I, II e III foram de, respectivamente, 6,57, 16,57, e 28,34%. As perdas ocorridas nas classes II e III em relação a I representaram, respectivamente, 152,2 e 331%. A classe III apresentou 71% a mais de perda que a classe II.

A análise discriminante propiciou uma melhor definição na alocação dos genótipos dentro das suas classes de qualidades, por meio da análise conjunta das características de defeitos avaliadas.

4. 5 Avaliação dos defeitos de secagem no sentido longitudinal e radial

4. 5. 1 Índice de Rachadura (IR)

O IR médio encontrado para os genótipos foi de 15,86% e o coeficiente de variação de 156%. Essa alta variação aconteceu devido, principalmente, às diferenças existentes entre as árvores e toras, sendo que, no último caso, devido à variação no diâmetro.

A Figura 3 mostra que existe uma variação elevada no sentido longitudinal e ainda mais expressiva no sentido radial. O IR médio no sentido radial (posições 1, 2 e 3) foi crescente de, respectivamente, 4,59, 15,75 e 29,20%. Esses resultados estão de acordo com os citados por Boyd (1950), em

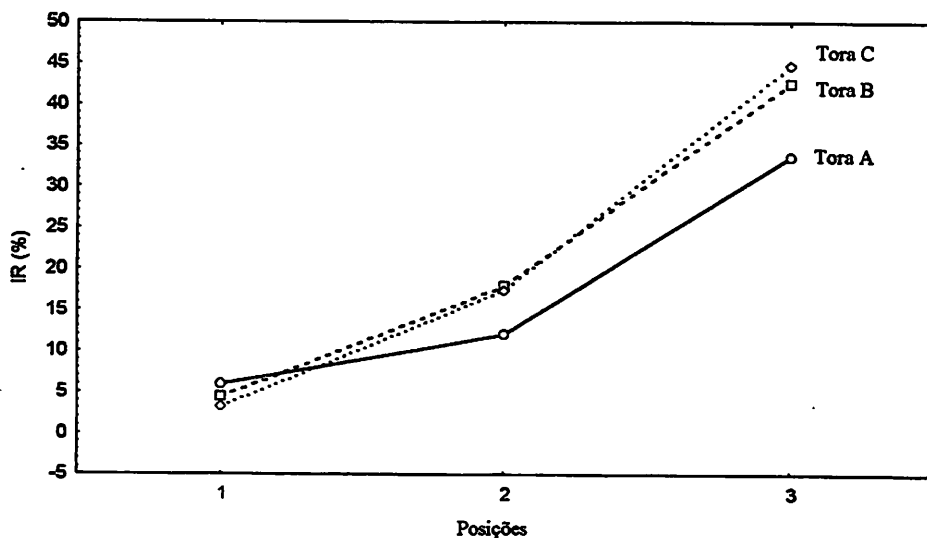


FIGURA 3. Índice de rachadura em porcentagem (IR%) nos sentidos longitudinal e radial em diferentes posições e toras de genótipos de *Eucalyptus*.

que possivelmente menores taxas de tensões de crescimento aparecem na periferia do tronco, sendo maiores à medida que se prossegue em direção à medula.

No sentido longitudinal, Fernandes e Ferreira (1986), estudando as relações entre o nível de tensões de crescimento, que é uma das causas para o aparecimento das rachaduras, e os diâmetros das toras de *Eucalyptus saligna*, encontraram correlações significativas, sendo que as deformações internas de crescimento diminuíram com o aumento dos diâmetros.

Os valores de IR médios encontrados para as toras A, B e C foram, respectivamente, 15,09, 17,14 e 15,35%. Estes resultados aparentemente não indicam existir uma tendência definida para a variação longitudinal.

4. 5. 2 Encanoamento

A Figura 4 mostra o comportamento do encanoamento no sentido longitudinal e radial. Pode-se observar que a tora A apresentou os maiores valores de perda em relação as demais, sendo a diferença média de 171,2%. As toras B e C apresentaram níveis de encanoamento semelhantes. A perda de madeira proveniente do reaparelhamento das tábuas será maior naquelas que estão localizadas mais próxima à medula, principalmente para a tora A, em que o encanoamento nas posições 2 e 3 foram, respectivamente, de 6,17 e 13,80%. Também para essa característica, a variação radial também foi maior que a longitudinal, conforme ocorrido com o índice de rachadura.

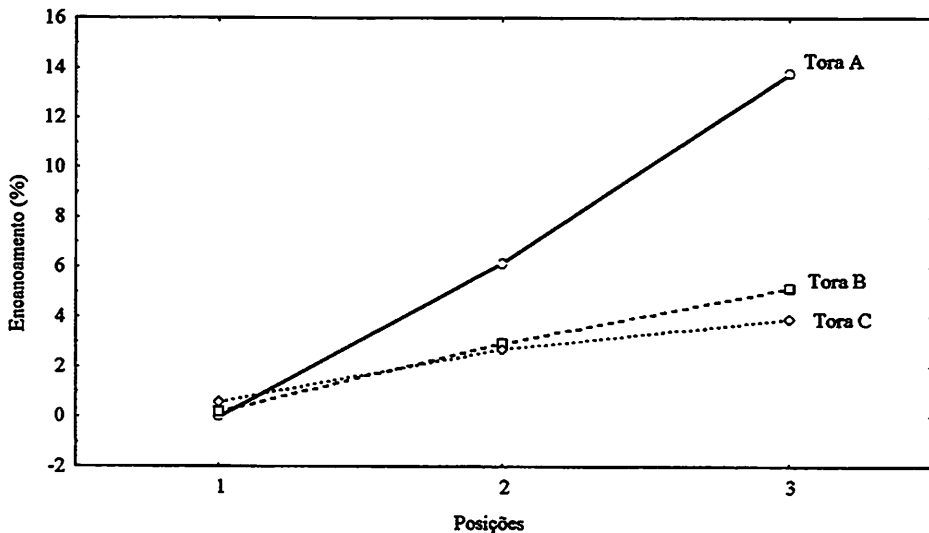


FIGURA 4. Encanoamento no sentido longitudinal e radial em diferentes posições e toras de genótipos de *Eucalyptus*.

4. 5. 3 Encurvamento

O comportamento do encurvamento pode ser observado pela Figura 5. O encurvamento no sentido longitudinal apresentou uma certa tendência de crescimento à medida que a altura aumenta. No sentido radial, ambas as posições apresentam encurvamentos considerados iguais, com exceção da posição 2 para a tora B, que demonstrou um aumento em relação às demais.

Estes resultados indicam que o encurvamento pode ter sofrido influência de outros fatores, tais como as diferenças entre a largura das tábuas, e também devido a própria confecção da pilha de secagem, o que torna difícil a verificação de um padrão de comportamento das tábuas, tanto no sentido longitudinal como no radial.

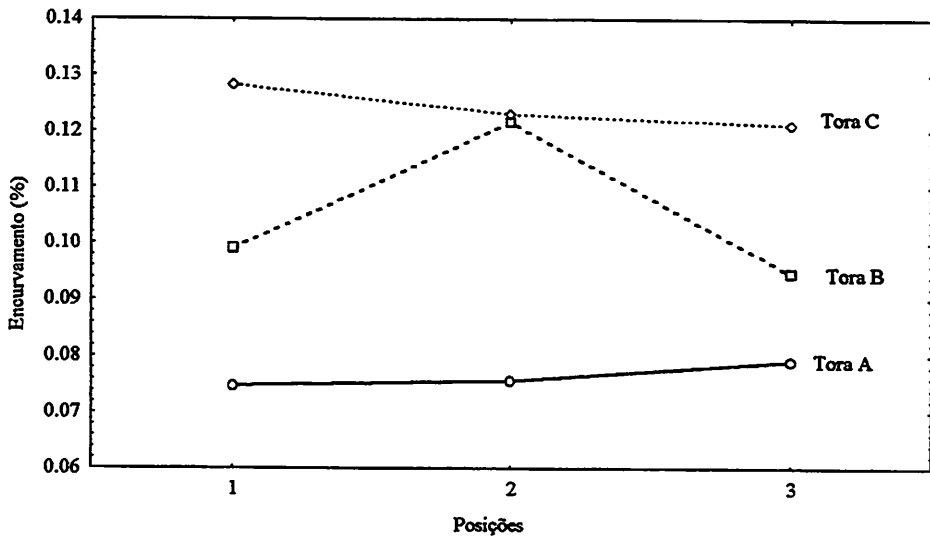


FIGURA 5. Encurvamento no sentidos longitudinal e radial em diferentes posições e toras de genótipos de *Eucalyptus*.

5 CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos, pôde-se concluir que:

- O volume médio dos genótipos utilizados na pesquisa foi $1,81 \text{ m}^3$ e o fator de forma médio 0,40, permitindo a seleção de material genético de alto incremento anual.
- As toras utilizadas para o desdobro da madeira apresentaram volume médio de $0,923 \text{ m}^3$ e as porcentagens de achatamento, conicidade e rendimento foram, respectivamente, de 89,27, 1,51 e 59,32%.
- A análise discriminante propiciou uma melhor definição na alocação dos genótipos dentro de três classes de qualidades, por meio da análise conjunta das características avaliadas. As classes e respectivos genótipos ficaram assim definidas: **I)** 05 14 15 20 28 44 06 09 12 16 17 19; **II)** 03 04 07 08 21 26 40 42 01 38 39 e; **III)** 25 02 10 11 13 18 22 23 24 27 29 30 31 32 33 34 35 36 37 41 e 43.
- A soma total de defeitos das classe I, II e III foi, respectivamente, de 6,57, 16,57 e 28,34%, sendo que as perdas na classe II e III, em relação à classe I representam, respectivamente, 152,2 e 331%. A classe III apresentou 71% de perda a mais, em relação a classe II.
- Os genótipos da classe I foram os mais indicados para a seleção e devem ser utilizados em testes clonais no programa de melhoramento florestal da CMM e verificação do seu potencial de crescimento.
- O estudo da variação nas características de pós-secagem revelou que existe uma grande diferença de comportamento, tanto nos sentidos longitudinal como radial, entretanto, a variação radial apresentou uma tendência mais específica

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS

- AGUIAR, O.J.R.; JANKOWSKY, I.P. Prevenção e controle das rachaduras de topo em tora de *Eucalyptus grandis*. IPEF, Piracicaba, n.33, p.39-46, 1986.
- AMARAL, A.C.B. Defeitos na madeira de *Eucalyptus*: suas causas e possibilidades de redução (revisão bibliográfica). Piracicaba: ESALQ/LCF, 1991. 25p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1997. **Annual book of ASTM**. Denvers, 1997. 679p. D 143 – 94. Standards methods of testing small, clear specimens of timber, p.23-53.
- BARISKA, M. A. A method for predicting timber quality in eucalyptus, In: "Management of *Eucalyptus grandis* in South Africa". Proceedings of a Symposium at Stellenbosch, June 1990. P. 215-228.
- BAUER, K; BUX, M, RODRIGUEZ, A. V. "Secagem solar de madeira de eucalipto em escala industrial". In: WORKSHOP TÉCNICAS DE ABATE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1999, Viçosa, Anais ... Viçosa, UFV, 1999. p.34-38.
- BOYD, J. D. Tree growth stresses. II – The development of shakes and other visual failures in timber. *Australian Journal of Applied Science*, Melbourne, v.1, p.296-312, 1950.
- CONRADIE, W.E; 1980. Utilization of South African grown eucalyptus grandis (W. Hill ex Maiden) as veneer logs – Part I. Control of end-splitting in veneer logs. Pretoria, South Africa: National timber Research Institute, 1980. 27p. (CSIR Special Report HOUT 206)
- DEL MENEZZI, C.H.S.; NAHUIZ, M.A.R. Técnicas de desdobro utilizadas para madeira de *Eucalyptus* - uma revisão de literatura. *Revista Árvore*, Viçosa, v.22, n.3, p.415-28, 1998.
- FERNANDES, P.S.; FERREIRA, M. C. Tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus saligna* Smith, e suas relações com os diâmetros. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 5., 1986, Olinda, PE.; *Boletim Técnico IF*, São Paulo, 40^A:639-655. Pt. 2 (Edição Especial).

- FERNANDES, P.S.; FLORSHEIM, S.M.B.; ROCHA, F.T.; MONTAGNA, R.G.; COUTO, H.T.Z. Tensoes de crescimento em procedências de *Eucalyptus grandis* e suas relações com as características das fibras e densidade. *Revista do Instituto Florestal*, São Paulo, v.1, n.1, p.215-34, jul.1989.
- GALVAO, A.P.M.; JANKOWSKY, I.P. *Secagem racional da madeira*. São Paulo: Nobel, 1985. 111p.
- GROSSER, D. Defeitos da madeira. *Série Técnica FUPEF*, n.2, p.1-62, mar.1980.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORETAL (IBDF). *Norma para classificação de madeira serrada de folhosas*. Brasília, 1983. 67p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORETAL (IBDF). *Norma para classificação de toras de madeira folhosas*. Brasília, 1984. 42p.
- JANKOWSKY, I.P. Equipamentos e processos para secagem de madeiras. In: SEMINARIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. *Anais...* São Paulo: IPEF/IPT, 1995. p.109-118.
- JOHNSON, R.A; WICHERN, D.W. *Applied multivariate statistical analysis*. New Jersey: Prentice-Hall, 1992. 607p.
- KIKUTI, P.; FIER, I.S.N.; CALORI, J.V. Produção de madeiras de reflorestamento de alta qualidade. *Revista da Madeira*, Caxias do Sul v.5, n.30, p.8-13, 1996.
- MALAN, F.S. The reduction of high levels of growth stress in *Eucalyptus grandis* – Is tree breeding our only solution? *Wood S.^a* (08/1987): 19-20.
- MENDES, L.M; SILVA, J.R.M; LIMA, J.T.; TRUGILHO, P.F.; REZENDE, E.C. Secagem da madeira ao ar livre e alguns pontos básicos para a compra de madeira serrada. *Boletim Agropecuário*, Lavras, n.21, p. 16-29, 1996.
- NICHOLSON, J.E. ; HILLIS, W.E. Some tree growth – wood property relationships of *Eucalypts*. *Canadian Journal of Forest Research*, Ottawa, v.5, p.424-432, 1975.

SANTOS, J.A. Secagem da madeira de Eucalyptus. *Revista Florestal*, v.11, n.2, p.37-45, jul./dez.1998.

SCHACHT, L. **Varição de caracteres e suas implicações para o melhoramento genético da madeira serrada em *Eucalyptus urophylla*.** Piracicaba: ESALQ, 1998. 74p. (Dissertação – Mestrado em Tecnologia da Madeira)

SCHACHT, L.; GARCIA, J.N. **Varição genética de indicadores de tensões de crescimento em clones de *Eucalyptus urophylla*.** In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 1997, Salvador. *Anais...* Colombo: EMBRAPA/CNPQ, 1997. v.3, p.405-10.

SIAU, J.F. **Flow in wood.** Syracuse: Syracuse University, 1971. 131p.

UPRICHAARD, J.M. **Wood extractives.** In: WALKER, J.C.F.; BUTTERFIELD, B.G.; HARRIS, J.M.; LANGRISH, T.A.G.; UPRICHARD, J.M. **Primary wood processing: principles and practice.** London: Chapman & Hall, 1993. 611p.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento.** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 494p.

VILLIERS, A.M. **Utilisation problems with some Eucalypts in South Africa.** In: IUFRO MEETING DIVISION, 5., 1973, Pretoria. *Proceedings...* Pretoria, 1973. v.2, p.479-512.

WALKER, J.C.F. **Water and wood.** In: WALKER, J.C.F.; BUTTERFIELD, B.G.; HARRIS, J.M.; LANGRISH, T.A.G.; UPRICHARD, J.M. **Primary wood processing: principles and practice.** London: Chapman & Hall, 1993. cap.3, p.68-94.

CAPITULO 3

VARIAÇÕES GENÉTICAS EM GENÓTIPOS DE *Eucalyptus* DETECTADAS POR MEIO DE MARCADOR MOLECULAR

RESUMO

CAIXETA, R.P. Variações genéticas em genótipos de *Eucalyptus* detectadas por meio de marcador molecular. Lavras: UFLA, 2000. Cap.3, p. 69-89 (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal)¹.

A tecnologia de marcadores moleculares aliada às técnicas clássicas do melhoramento pode contribuir significativamente para o conhecimento básico da cultura e do caráter estudado, e para a geração e desenvolvimento de produtos melhorados. O objetivo deste trabalho é utilizar marcadores RAPD para detectar e maximizar a variabilidade genética em genótipos *Eucalyptus*, identificando cruzamentos favoráveis para um programa de melhoramento florestal, visando o uso múltiplo. Foram analisados 44 genótipos híbridos naturais do gênero *Eucalyptus*, plantados na região noroeste de Minas Gerais. Os marcadores moleculares RAPD apresentaram poder de discriminação eficiente entre os 44 genótipos avaliados, constatando-se uma distância genética média entre os genótipos de *Eucalyptus* de 54% e divergência genética variando de 24 a 73%. Esse fato indica que, entre os indivíduos analisados, existe uma ampla base genética, o que possibilita a manipulação desse material em programas de melhoramento. A distância genética entre os genótipos 5 e 9, 9 e 10, 9 e 19, 9 e 25, 9 e 33, 9 e 35, 9 e 36, 9 e 44, 10 e 33, 12 e 19, 12 e 33, 12 e 39 apresentou-se maior ou igual a 70%. Análise de agrupamento estabelecida pelo dendrograma, método UPGMA, utilizando como critério o corte de 80% da distância genética total, permitiu a formação de nove grupos distintos. Esses grupos apresentaram divergência genética média superior a 60%. A maior média de distância ocorreu entre o grupo I e os demais, com 67%. A avaliação por marcadores moleculares RAPD forneceu uma identificação direta da variação genética dos genótipos e, nesse sentido, novos cruzamentos para produção de híbridos específicos poderão ser gerados, aumentando-se assim, a divergência genética e a produtividade de derivados de madeira de qualidade superior para usos múltiplos em programas de melhoramento florestal.

¹ Comitê Orientador: Paulo Fernando Trugilho - UFLA (Orientador), Dulcinéia de Carvalho - UFLA e Sebastião Carlos da Silva Rosado - UFLA.

Palavras chave: marcador molecular, genótipos de *Eucalyptus* e variações genéticas.

CHAPTER 3

GENETIC VARIATIONS IN *Eucalyptus* GENOTYPES DETECTED BY MEANS MOLECULAR MARKER

CAIXETA, Ronaldo Pereira. Genetic variations in *Eucalyptus* genotypes detected by means molecular marker. Lavras: UFLA, Cap.2, p. 69-89. (Dissertation – Master in Forest Engineering)¹.

ABSTRACT

Molecular marker technology associated with the classic techniques of breeding can contribute significantly to the basic knowledge of the crop and character investigated and for the generation and development of improved products. the objective of this work is to utilize RAPD markers to detect and maximize the genetic variability in eucalyptus genotypes, identifying crossings favorable for a forest breeding program, aiming at the multiple use. Forty four natural hybrid genotypes of the eucalyptus genus, planted in the northwestern region of Minas Gerais were analyzed. The RAPD molecular markers presented efficient discriminating power among the 44 evaluated genotypes, finding an average genetic distance among the eucalyptus genotypes of 54% and genetic divergence ranging from 24 to 73 %. That fact points out that, among the analyzed individuals, there is a wide genetic basis, which enables the manipulation of this material in breeding programs. The genetic distance among the genotypes 5 and 9, 9 and 10, 9 and 19, 9 and 25, 9 and 33, 9 and 35, 9 and 36, 9 and 44, 10 and 33, 12 and 19, 12 and 33, 12 and 39 proved to be either larger or equal to 70%. Grouping analysis established by the dendrogram, UPGMA method, utilizing as a criterion the cut of 80% of the total genetic distance allowed the formation of nine distinct genetic groups. those groups presented average genetic divergence superior to 60%. The highest mean of

¹ Advising Committee: Paulo Fernando Trugilho - UFLA (Major Professor), Dulcinéia de Carvalho – UFLA e Sebastião Carlos da Silva Rosado – UFLA.

distance occurred between group I and the others, with 67%. The evaluation by RAPD molecular markers provided an indirect identification of the genetic variation of the genotypes and in this sense, new crosses for the production of specific hybrids will be able to be generated, thus increasing the genetic divergence and yield of wood products of superior quality for multiple uses in forest breeding programs.

Key words: molecular markers, *Eucalyptus* genotypes and genetic variations.

1 INTRODUÇÃO

Muitos são os investimentos e benefícios gerados pelo setor florestal brasileiro. As florestas plantadas, principalmente com o gênero *Eucalyptus* sp merecem destaque, pois, nos últimos anos, o Brasil desenvolveu com eficiência as técnicas de viveiro, plantio e condução destas. Neste avanço tecnológico, destaca-se o melhoramento genético que propiciou ganhos de grande magnitude principalmente na produtividade volumétrica. No entanto, alguns desafios têm surgido como, por exemplo, o conhecimento do grau de divergência genética das populações de *Eucalyptus*. Estes materiais foram introduzidos no Brasil, principalmente a partir de populações de plantios naturais da Austrália e plantios da África do Sul, e aqui pode ou não ter ocorrido um processo de redução desta diversidade em razão de cruzamento entre indivíduos aparentados.

Diante dessa possível realidade, torna-se necessário estabelecer estudos da divergência genética em populações de *Eucalyptus* com o objetivo de:

- identificar clones ou genótipos superiores para instalação de pomares de sementes clonais;
- maximizar distância genética para recombinar genes ou complexos gênicos em novas combinações gênicas favoráveis;

- seleção indireta e precoce para características da madeira para avaliar as propriedades físicas, mecânicas, químicas e anatômicas;
- tornar a seleção precoce mais eficiente aumentando o ganho genético por unidade de tempo.

Uma forma muito eficaz de detectar a variabilidade genética é por meio do uso marcadores moleculares, sendo o RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA), um dos mais utilizados. Esta técnica baseia-se na amplificação do fragmento de DNA, o qual é flanqueado por um par de oligonucleotídeos (pequenas moléculas de DNA de fita simples utilizadas como iniciadores, denominados “primers”) que hibridizam em direções opostas à sequência-alvo, por meio de ciclos de desnaturação, anelamento do primer e extensão pela enzima taqpolimerase (Ferreira e Grattapaglia, 1996).

A avaliação utilizando marcadores moleculares RAPD pode fornecer uma identificação direta da variação genética dos genótipos e, nesse sentido, novos cruzamentos para produção de híbridos específicos poderão ser gerados, aumentando, assim, a divergência genética e a produtividade de produtos de madeira de qualidade superior para usos múltiplos em programas de melhoramento florestal.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade genética em genótipos de *Eucalyptus* e identificar genitores divergentes para cruzamentos preferenciais na geração de híbridos em programas de melhoramento genético, pela utilização de marcador molecular RAPD.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Marcadores de DNA

Marcadores genéticos são quaisquer características, processos bioquímicos ou fragmentos de DNA que permita a distinção de indivíduos

geneticamente diferentes (Borém 1997). Os principais usos dos marcadores moleculares, de acordo com o mesmo autor, são: estimar a diversidade genética, facilitar a seleção genotípica, identificar germoplasma, construir mapas genéticos, estimar a proporção relativa de alogamia e autofecundação de uma espécie e também para obter informações sobre a estrutura das características quantitativas.

Os principais tipos de marcadores moleculares podem ser classificados em dois grupos, conforme a metodologia utilizada, para identificá-los: hibridação ou amplificação do DNA.

Entre os identificados por hibridação estão os marcadores RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism) e minissatélites ou locos VNTR (Variable Number of Tandem Repeats). Já aqueles revelados por amplificação incluem os marcadores do tipo: PCR (Polymerase Chain Reaction), RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA), SCAR ("Sequence Characterized Amplified Regions), Microssatélites e AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) (Milach, 1998).

2.2 Marcadores PCR e RAPD

A técnica de PCR (Polymerase Chain Reaction) tem sido aprimorada com a descoberta do DNA polimerase termoestável e com o desenvolvimento de equipamentos programáveis, que alternam ciclos com diferentes intervalos de tempo e temperatura, imprimindo grande automatização ao processo. A técnica consiste na síntese enzimática *in vitro* de um segmento de DNA, delimitado por um par de primers de seqüências específicas de nucleotídeos de fita simples. Cada ciclo do PCR envolve três etapas: (1) desnaturação da fita dupla de DNA, (2) pareamento dos primers com as seqüências complementares que flanqueiam o sítio-alvo, e (3) síntese da nova fita de DNA a partir das extremidades 3'-OH

livres dos primers. A extensão da fita envolve a incorporação dos nucleotídeos pela DNA polimerase, tendo a seqüência alvo como molde. O ciclo é repetido várias vezes, gerando uma amplificação do DNA-alvo em projeção geométrica. Assim, as técnicas baseadas em PCR requerem uma quantidade muito pequena de DNA-molde, o que é, muitas vezes, desejável (Mullis e Faloona, 1987).

Devido a facilidade, rapidez, versatilidade e sensibilidade da técnica de PCR, surgiu uma nova geração de marcadores moleculares baseados em primers mais curtos e de seqüência arbitrária, não havendo necessidade do conhecimento prévio da seqüência do DNA. A técnica de RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) (Williams et al., 1990) difere da técnica de PCR basicamente por utilizar um único primer de dez nucleotídeos de seqüência arbitrária. Assim, para que um fragmento de DNA seja amplificado, duas regiões complementares ao primer devem estar separadas por 2.000 pb e em orientações opostas. A detecção do produto de amplificação é feita em gel de agarose tratado com brometo de etídio e visualizado sob luz ultravioleta. As bases moleculares do polimorfismo de RAPD são mutações de ponto ou deleções no sítio de pareamento do primer, ou inserções entre os sítios de pareamento, deixando-os a uma distância tal que impossibilita a amplificação (Williams et al., 1990).

Os marcadores RAPD são dominantes, uma vez que o segmento de DNA pode ou não ser amplificado. O fato de o RAPD utilizar primers aleatórios torna esta técnica extremamente simples e aplicável a qualquer tipo de organismo. Isto permitiu uma rápida difusão desta técnica com ampla utilização em análise genéticas (Ferreira e Grattapaglia 1996).

2.3 Seleção assistida por marcadores (SAM)

O maior obstáculo no melhoramento florestal é o tempo necessário para completar uma geração de melhoramento. Desta forma, métodos para melhorar a

eficiência da seleção precoce poderão ter um valor considerável para aumentar o ganho genético por unidade de tempo (Grattapaglia et al., 1994).

A seleção assistida por marcadores apresenta um potencial em situações especiais, como a seleção de indivíduos em estágio juvenil (antes de manifestar a característica em questão), o que poderia preceder outro estágio de seleção utilizando métodos convencionais (Lande e Thompson, 1990).

Segundo os mesmos autores, as simulações mostraram que o ganho genético adicional fornecido pela seleção assistida por marcadores, comparado com a seleção fenotípica, diminui rapidamente quando se consideram vários ciclos de seleção e que, a longo prazo, a seleção assistida por marcadores pode tornar-se menos eficiente.

Resultados obtidos por Hospital et al. (1997) mostraram que a relação entre a eficiência esperada da seleção assistida por marcadores sobre a eficiência da seleção puramente fenotípica (R/E) geralmente aumenta quando se considera populações maiores, características com valores de h^2 mais baixos e maior risco de cometer erro tipo I na regressão.

Wittaker et al., (1995) ressaltam que a principal conclusão de trabalhos anteriormente citado, baseados na R/E na 1ª geração, foi que a seleção assistida por marcadores é somente interessante para a seleção de caracteres quantitativos com baixas herdabilidades. No entanto, resultados de seu trabalho mostram que essa conclusão deve ser reconsiderada. Os autores se baseiam na justificativa de que, se o ganho genético adicional fornecido pela seleção assistida por marcadores, comparado com a seleção fenotípica, é em média mais elevado e variável para valores de baixa h^2 (0,1 a 0,2). No uso de marcadores para características com valores médios de herdabilidade (0,5 a 0,7), os ganhos em média são menores, mas são seguros.

O estudo em gerações sucessivas de taxas de fixação de QTLs (locos de caracteres quantitativos) mostrou que a maior eficiência da seleção assistida por

marcadores em QTLs de grandes efeitos em gerações precoces é balanceada pela maior taxa de fixação de alelos desfavoráveis a aqueles com pequenos efeitos em gerações posteriores. Isto pode explicar porque a seleção assistida por marcadores pode se tornar menos eficiente que a seleção fenotípica a longo prazo (Hospital et al., 1997).

Grattapaglia et al. (1994) ressaltam que, ao lado do aumento da precisão da seleção no âmbito do indivíduo para características de baixa herdabilidade, a eficiência da seleção assistida por marcadores pode ser aumentada pelo decréscimo do intervalo de geração. Além disso, seleção indireta para características de difícil mensuração pode também se beneficiar do melhoramento assistido por marcadores.

Nessas situações, não só características de baixa herdabilidade podem ser consideradas, mas também características de alta herdabilidade como, por exemplo, a densidade da madeira. No entanto, em *Eucalyptus*, que possui rápido crescimento, esta característica requer alguns anos para alcançar sua completa expressão. Desta forma, a seleção precoce combinada para características como densidade da madeira e CAP (circunferência à altura do peito) usando marcadores, proporcionaria um aumento significativo na intensidade de seleção, numa idade mais jovem (Grattapaglia et al., 1994).

É importante enfatizar que a perspectiva para o uso da seleção assistida por marcadores em melhoramento florestal é promissora. Entretanto, eles não devem ser superestimados até que sejam comparados os ganhos da seleção assistida por marcadores e os ganhos obtidos seleção tradicional.

Deve-se, portanto, identificar os marcadores associados às características de interesse, sendo necessário, para isso, um mapeamento molecular. Uma vez disponível esta informação, é possível selecionar os indivíduos com o marcador de interesse, sem que haja a necessidade de avaliar o fenótipo dos mesmos (Milach, 1999).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material biológico

Foram analisados 44 genótipos híbridos naturais do gênero *Eucalyptus*, provenientes da Fazenda Bom Sucesso, propriedade da Companhia Mineira de Metais (CMM-AGRO), pertencente ao grupo Votorantim. A Fazenda Bom Sucesso está localizada no município de Vazante- MG, a latitude de 17°36'09'' S e longitude de 46°42'02'' oeste de Greenwich, e altitude de 550m. O clima da área é do tipo Aw, tropical úmido de savana, com inverno seco e verão chuvoso, segundo a classificação climática de Koppen. A temperatura média anual é de 24°C e precipitação média anual de 1450 mm.

O material para análise do DNA constou de folhas coletadas nas mudas feitas por estaquia oriundas de brotações das árvores remanescentes no campo após o corte. As folhas recém-colhidas foram identificadas e mantidas no gelo para o transporte e o DNA foi extraído em seguida.

3.2 Extração do DNA

As extrações de DNA foram feitas de acordo com o procedimento descrito por Nienhuis et al. (1995) por maceração do material vegetal com nitrogênio líquido, utilizando-se 1,0g de folhas, sendo adicionados 10ml de tampão de extração CTAB, 20µl de 2-β-mercaptoetanol para retardar a oxidação de metabólitos secundários, permanecendo em banho-maria a 65°C por 60 minutos.

Após este período, foram adicionados 5ml de mistura de clorofórmio álcool isoamílico (24:1) e os tubos foram agitados lentamente 50 vezes para obtenção de uma emulsão, e, posteriormente, centrifugadas a 7000 rpm, em

centrífuga Hitachi por 30 minutos. O sobrenadante foi pipetado, vertido em 15ml de propanol e condicionado no freezer (-20°C) por uma noite para a precipitação dos ácidos nucléicos.

Posteriormente, foram adicionados 100µl de EtOH(70%) deixando-se 10 minutos em temperatura ambiente, e aí procedeu-se a uma nova centrifugação por 10 minutos a 4000 rpm, sendo assim possível retirar o sobrenadante e secar o pellet em capela de fluxo laminar. Após a secagem, adicionou-se TE (70µl) para a solubilização do DNA.

A quantificação da concentração de DNA das amostras foi determinada por um fluorímetro (DYNA Quant 200). Para cada amostra foram utilizados 2µl de DNA e 2mL de tampão TNE 10x (Tris base 100mM; Na₂EDTA, N₂, 2H₂O 10mM e NaCl 2M, sendo o pH= 7,4).

3. 3 Análise RAPD

As reações RAPD foram baseadas no método descrito por Williams et al. (1990) usando primers de 10 bases de seqüência arbitrária com algumas modificações, tendo as reações sido otimizadas para a obtenção de produtos de amplificação de melhor qualidade. Foram empregados 23 primers da marca (Operon Technologies Inc., Alameda, Califórnia) para geração de polimorfismo.

Os produtos da amplificação foram separados em géis de 1,0% de agarose e, posteriormente, corados com brometo de etídio (0,5µg/ml) e visualizados em transiluminador de luz ultravioleta. Os géis foram fotografados utilizando-se filme Polaroid 667.

3.4 Análise dos dados moleculares

Na avaliação dos géis, cada banda foi tratada como um caráter único, sendo a sua presença em um indivíduo designada por 1 (um) e a ausência em outro indivíduo, por 0 (zero). De posse desses dados, foi construída uma matriz de zero e um. A presença de uma banda entre os dois genótipos comparados foi considerada como similaridade e a presença em um dos genótipos e ausência no outro considerada como diferente.

A distância genética foi calculada aos pares, utilizando-se o Índice de Similaridade de Jaccard (Jaccard, 1908), segundo a expressão:

$$d_{ii'} = (1 - S_{ii'}) \times 100$$

em que:

$d_{ii'}$ = distância genética entre os genótipos i e i'

$S_{ii'}$ = o Índice de Similaridade de Jaccard,

sendo:

$$S_{ii'} = \frac{a}{a + b + c}$$

em que:

a = número de bandas presentes nos dois genótipos analisados;

b = número de bandas presentes apenas no genótipo i ;

c = número de bandas presentes apenas no genótipo i' .

Os erros associados a cada distância foram estimados segundo Skroch, Tivang e Nienhuis (1992) pela seguinte expressão:

$$V = \frac{nd(1-d)}{(n-1)}$$

sendo:

V = variância da distância genética entre cada par de populações;

d = distância genética entre cada par de populações;

n = número total de bandas utilizadas na estimativa da distância genética.

Erro padrão estimado = $(V/n)^{1/2}$

A representação simplificada das distâncias genéticas foi efetuada por meio de dendrograma obtido pelo método hierárquico aglomerativo da média aritmética entre os pares não ponderados (UPGMA).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Quantificação de DNA

A partir da extração foram obtidas as quantidades médias de DNA por genótipo conforme Figura 1. Em média foram encontrados 311 ng/ml de DNA e o coeficiente de variação foi de 37,56. Com base nos valores obtidos, foram feitas as diluições para 10 ng/ml por genótipo, pois estas apresentam valores diferentes de DNA, o que é percebido pelo coeficiente de variação alto.

4.2 Reação de RAPD

Neste estudo, foram utilizados 23 iniciadores (“primers”), escolhidos de acordo com informação obtidas na literatura, os quais geraram pelo menos uma banda polimórfica entre os indivíduos analisados (Tabela 1). Estes iniciadores de síntese de cadeia curta (10 nucleotídeos) podem encontrar-se aleatoriamente em regiões de homologia no DNA do genótipo analisado, fornecendo, assim, um

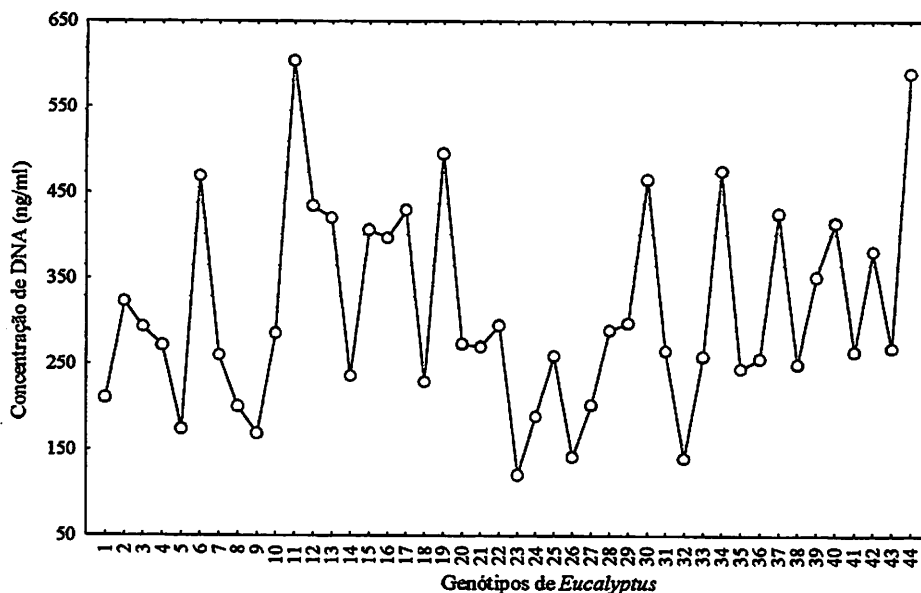


FIGURA 1. Quantificação do DNA extraído (ng/ml) das amostras referentes aos 44 genótipos de *Eucalyptus* estudados.

ponto de início de síntese para a DNA polimerase.

Os 23 iniciadores geraram 132 produtos de amplificação (bandas), com uma média de 5,74 bandas por iniciador. Desse total, 101 bandas foram polimórficas, igual a 76,52%, sendo 4,39 bandas por iniciador, e 31 foram monomórficas, igual a 23,48%, sendo 1,35 bandas por iniciador. O número de bandas amplificadas variou de acordo o iniciador, tendo alguns propiciado a amplificação de três bandas e outros de até dez bandas. Observa-se, na Tabela 1, que os resultados indicam um alto grau de polimorfismo entre os genótipos de *Eucalyptus*, fato que pode ser observado pelo padrão de fragmentos amplificados com a utilização do primer OPJ-17, conforme demonstração apresentada na Figura 2. Segundo Esbrisse (1998), o alto grau de polimorfismo pode ser um reflexo da alogamia, aliado ao fato de as árvores matrizes analisadas serem provenientes da primeira geração de seleção.

TABELA 1. Iniciadores utilizados e respectiva seqüência de bases, número de banda polimórficas e monomórficas para os 44 genótipos estudados

Iniciador	Seqüência (5'-3')	N ^o bandas polimórficas	N ^o bandas monomórficas
OPA-18	AGGTGACCGT	4	2
OPB-01	GTTTCGCTCC	6	3
OPB-19	ACCCCGAAG	4	1
OPB-02	TGATCCCTGG	2	1
OPD-08	GTGTGCCCCA	3	1
OPJ-09	TGAGCCTCAC	4	1
OPJ-12	GTCCCGTGGT	5	0
OPJ-13	CCACACTACC	7	3
OPJ-16	CTGCTTAGGG	7	3
OPJ-17	ACGCCAGTTC	5	1
OPJ-18	TGGTCGCAGA	5	4
OPJ-19	GGACACCACT	2	1
OPJ-20	AAGCGGCCTC	2	2
OPM-14	AGGGTCGTTC	5	1
OPM-17	TCAGTCCGGG	5	0
OPN-01	CTCACGTTGG	3	0
OPN-02	ACCAGGGGCA	4	1
OPN-03	GGTACTCCCC	6	0
OPN-05	ACTGAACGCC	7	1
OPN-07	CAGCCCAGAG	5	2
OPN-09	TGCCGGCTTG	3	1
OPN-15	CAGCGACTGT	2	1
OPX-07	GAGCGAGGCT	5	1
Total		101	31

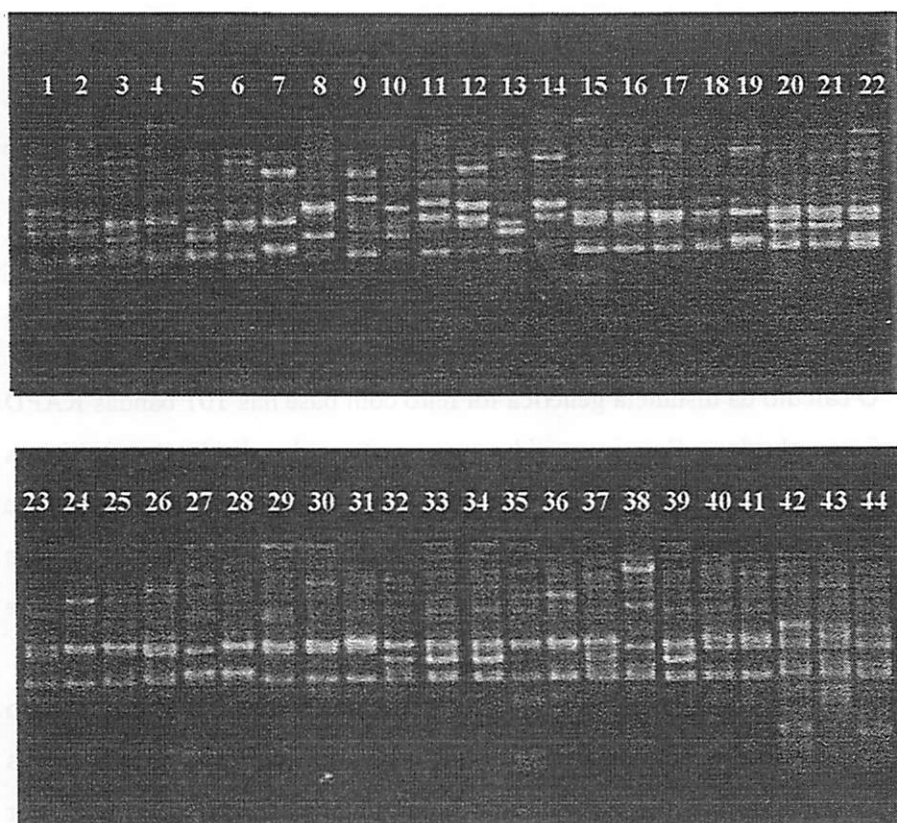


FIGURA 2. Eletroforese em gel de agarose mostrando padrões de bandejamento de fragmentos de DNA amplificados por PCR com uso do oligonucleotídeo OPJ-17. As canaletas de 1 a 44 representam os genótipos avaliados.

Para os genótipos de *Eucalyptus* avaliados o kit de “primers” OPERON (OP) J e N foram responsáveis por, respectivamente, 36% e 29,7% das bandas polimórficas encontradas, sendo que o OPJ também foi o principal iniciador utilizados por Esbrisse (1998) em pesquisa feita com marcadores em RAPD em *Eucalyptus* spp.

As 101 bandas polimórficas utilizadas são consideradas suficientes, pois segundo Nienhuis et al. (1995), a partir de cem bandas, praticamente ocorre uma estabilização do coeficiente de variação das distâncias genéticas entre os genótipos.

4.3 Avaliação de divergência genética

O cálculo da distância genética foi feito com base nas 101 bandas RAPD polimórficas obtidas. Foi construída uma matriz de distâncias genéticas utilizando o programa GENES (1998), a partir do complemento de similaridade de Jaccard (Jaccard, 1908), que é dado pela razão entre o número de bandas comuns a dois genótipos e o número total de banda, comuns e não comuns entre os mesmos.

A distância genética média entre os genótipos foi de 54% , erro padrão médio de 4,93%, e a amplitude das distâncias variou de 24% a 73%. Estes resultados demonstraram que existem boas possibilidades de ganho genético por meio de cruzamentos entre os genótipos analisados, pois a distância entre eles pode ser considerada alta. Já a elevada amplitude das distâncias possibilita a manipulação desse material nos programas de melhoramento, inclusive permitindo selecionar genótipos que ampliam a base genética do material. Por exemplo, os genótipos 5 e 9, 9 e 10, 9 e 19, 9 e 25, 9 e 33, 9 e 35, 9 e 36, 9 e 44, 10 e 33, 12 e 19, 12 e 33, 12 e 39 apresentaram distâncias entre si iguais ou superiores a 70%, mostrando, assim, serem extremamente divergentes.

Os genótipos que apresentaram as menores divergências foram 2 e 8, 22 e 23, 31 e 34, 34 e 44 com distâncias genéticas de, respectivamente, 30, 24, 28 e 27%.

Com o propósito de avaliar o poder de discriminação dos marcadores RAPD, com base nas distâncias genéticas obtidas, procedeu-se a uma análise de

agrupamento pelo método UPGMA (Figura 3), o qual originou na formação de nove grupos distintos. A Tabela 2 apresenta os grupos formados, tendo sido utilizado como critério um corte a 80% da distância genética total, conforme o dendrograma mostrado pela Figura 3.

Pela Tabela 2, observa-se que os grupos formados apresentam, na sua composição, número distinto de indivíduos, mostrando, assim, que o poder de discriminação dos genótipos é bastante diferenciado.

Utilizando-se a composição do agrupamento obtido pelo dendrograma construído pelo método UPGMA, foi elaborada uma matriz de divergência genética entre e dentro dos nove grupos obtidos, e também foram identificados quais seriam os genótipos mais promissores para maximizar as distâncias entre os grupos (Tabela 3).

Os grupos que apresentam divergência genética superior a 60% de distância são os seguintes: Grupo I e os demais; grupo III com o V, VI, VII, VIII e IX e os grupos V e VIII. A maior distância genética média ocorreu entre os grupos I e IV. A maior média intergrupo foi obtida entre o grupo I e os demais, com 67% de distância. O genótipo 9 provavelmente poderá ser utilizado em programa de produção de híbridos em cruzamentos específicos com 14; 12; 10; 19; 33; 15; 06 e 05. Dentre esses deve-se priorizar aqueles com propriedades da madeira favorável a usos específicos.

Os grupos IV, V, VI, VII e VIII apresentam as menores distâncias genéticas em relação aos demais.

As distâncias intragrupos foram menores que as intergrupos, conforme mostra a Tabela 3 na diagonal principal, indicando desta forma que a variabilidade genética poderá ser aumentada quando proceder a cruzamentos entre grupos e não dentro do grupo. Esses híbridos poderão ser formados pela utilização proposta de cruzamentos de genótipos na diagonal acima da Tabela 3, que maximiza a distância genética entre grupos para os mais divergentes.

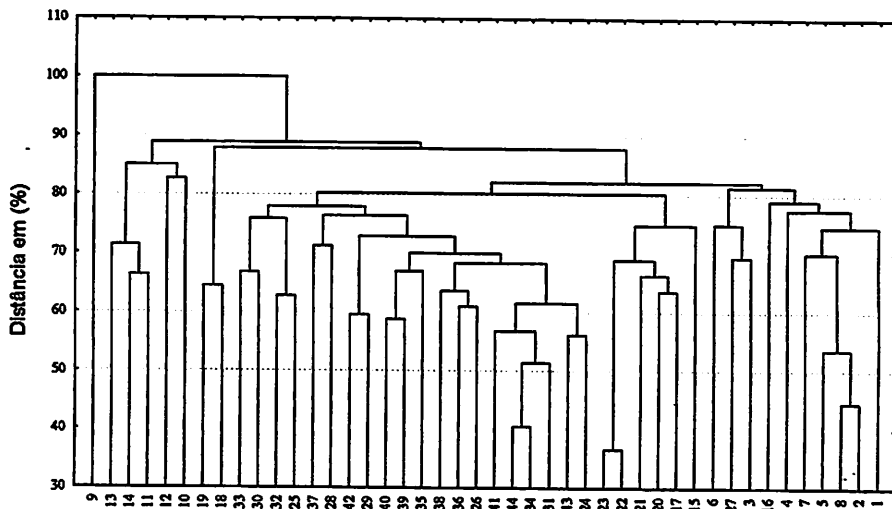


FIGURA 3. Dendrograma obtido pelo método de agrupamento UPGMA, baseado na dissimilaridade genética entre os 44 genótipos de *Eucalyptus* pesquisados.

TABELA 2. Agrupamento de genótipos de *Eucalyptus* formado por dendrograma obtido pelo método UPGMA, estabelecendo uma linha de corte a 80% de dissimilaridade.

Grupo	Genótipos
I	9
II	13 14 11
III	12
IV	10
V	19 18
VI	33 30 32 25 37 28 42 29 40 39 35 38 36 26 41 44 34 31 43 24
VII	23 22 21 20 17 15
VIII	6 27 3
IX	16 4 7 5 8 2 1

Tabela 3. Matriz de distância genética (%) entre os nove grupos definidos pelo dendrograma (abaixo da diagonal) e dentro do grupo (na diagonal), e maximização das distâncias entre os grupos através dos genótipos.

	G I	G II	G III	G IV	G V	G VI	G VII	G VIII	G IX
G I	-	9 x 14	9 x 12	9 x 10	9 x 19	9 x 33	9 x 15	9 x 6	9 x 5
G II	65	46	14 x 12	13 x 10	14 x 18 11 x 18	13 x 38 14 x 30	13 x 23	13 x 6 13 x 6	13 x 7
G III	68	57	-	12 x 10	12 x 19	14 x 33 12 x 39	12 x 21	12 x 27 12 x 3	12 x 7
G IV	72	55	55	-	10 x 18	10 x 33	10 x 21	10 x 27	10 x 7
G V	69	56	67	58	43	18 x 33	18 x 15	18 x 27 19 x 3	19 x 4
G VI	67	57	62	62	59	48	33 x 17	25 x 3 37 x 3	33 x 16 30 x 16
G VII	64	55	63	60	54	53	45	21 x 6	15 x 4
G VIII	63	62	63	59	62	54	54	49	27 x 4
G IX	65	58	57	50	59	54	56	59	50
Média	67	58	62	59	61	58	58	58	56

5 CONCLUSÕES

Constatou-se uma distância genética média entre os genótipos de *Eucalyptus* de 54%. Os genótipos 05 e 09, 09 e 10, 09 e 19, 09 e 25, 09 e 33, 09 e 35, 09 e 36, 09 e 44, 10 e 33, 12 e 19, 12 e 33, 12 e 39 apresentaram distâncias entre si iguais ou superiores a 70%, o que permite a seleção destes para a ampliação da base genética em programa de melhoramento .

Através da análise de agrupamento estabelecida pelo dendrograma método UPGMA, usando como critério de corte a 80% da distância genética

total ocorreu a formação de nove grupos distintos e com alta divergência entre si.

As estimativas de divergência genética entre os grupos encontrados permitiu definir progenitores para geração de híbridos para futuros programas de melhoramento genético de *Eucalyptus*.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. Viçosa: UFV, 1997. 547p.

CRUZ, C.D. **Genes versão 98.2.0: Programa para análise e processamento de dados baseado em modelos de genética e estatística experimental**. Viçosa, MG.: UFV, 1998.

ESBRISSE, E. J. **Associação entre distâncias genéticas, determinadas com marcadores moleculares RAPD e características fenotípicas em *Eucalyptus* spp.** Viçosa: UFV, 1998. 51p. (Dissertação – Mestrado em Genética e Melhoramento).

FERREIRA, M.E.; GRATTAPAGLIA, D. **Introdução ao uso de marcadores RAPD e RFLP em análise genética**. 2.ed. Brasília: EMBRAPA/CENARGEN, 1996. 220p.

GRATTAPAGLIA, D.; BERTOLUCCI, F.L.; PENCHEL, R.; SEDEROFF, R. **Molecular genetic mapping of economically important traits in *Eucalyptus grandis***. In: Biological Sciences Symposium, 1994.

HOSPITAL, F.; MOREAU, L.; LACOUDRE, F.; CHARCOSSET, A. ; GALLAIS, A. **More on the efficiency of marker-assisted selection. Theoretical and Applied Genetics**, New York, 95, n.8, p. 1181-1189, Dec. 1997.

JACCARD, P. **Nouvelles recherches sur la distribution florale. Bulletin de la Société Vandoise des Sciences Natureles**, Jausanne, v.44, p.223-270, 1908.

- LANDE, R.; THOMPSON, R. Efficiency of marker-assisted selection in the improvement of quantitative traits. **Genetics**, Austin, v.124, n.3, p.743-756, Mar. 1990.
- MILACH, S.C.K. Principais tipos de marcadores moleculares e suas características. In: MILACH, S.C.K. **Marcadores moleculares em plantas**. Porto Alegre: UFRGS, 1998. p.17-28.
- MILACH, S.C.K. Marcadores de DNA – aplicações no melhoramento de plantas (on line) disponível: millach@vortex.ufrgs.br (capturado em 15 de março de 1999).
- MULLIS, K; FALOONA, F. 1987. Specific synthesis of DNA in vitro via a polymerase catalyzed chain reaction. **Methods Enzymology**, v.155, p.335, 1987.
- NIENHUIS, J.; TIVANG, J.; SCKROCH, P.; SANTOS, J. B. dos . Genetic relationships among cultivars and lines of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) as measured by RAPD markers. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 120, n. 2, p. 300-306, Mar 1995.
- SKROCH, P.W.; TIVANG, J.; NIENHUIS, J. Analysis of genetic relationship using RAPD marker data. In: **IUFRO INTERNATIONAL CONFERENCE: "Breeding tropical trees"** Section 202-08, 1992, Cali, Colombia. **Proceedings...** Cali, colombia, 1992. p.26-30.
- WHITTAKER, J.; CURNOW, R.N.; HALEY, C.S.; THOMPSON, R. Using marker maps in marker-assisted selection. **Genet. Res.** v.66, p.255-265, 1995.
- WILLIAMS, J.G.K.; KUBELIK, A.R.; LIVAK, K.J.; RAFALSKI, J.A.; TINGEY, S.V. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. **Nucleic Acids Research**, Oxford, v. 18, n.22, p. 6531-6535, 1990.