

**ADRIANO EMANUEL AMARAL DE ALMEIDA**

**Avaliação Direta e Indireta de Rendimento Depurado e de  
Produção de Celulose em Clones de Eucalipto**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2001

**ADRIANO EMANUEL AMARAL DE ALMEIDA**

**Avaliação Direta e Indireta de Rendimento Depurado e de  
Produção de Celulose em Clones de Eucalipto**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**APROVADA:** 26 de março de 2001

---

Prof. Aloisio Xavier  
(Conselheiro)

---

Prof. Pedro Crescêncio S. Carneiro  
(Conselheiro)

---

Prof. Cosme Damião Cruz

---

Prof<sup>a</sup> Rita de Cássia G. Borges

---

Prof. Ismael Eleotério Pires  
(Orientador)

A Deus, pela vida.

A meus pais, pela dedicação e por tudo que sou.

A minha noiva Priscila, pelo amor e carinho.

A meus irmãos Amaury, Alexandre, Toninho,

Andrea, Gisele, Kiko, Lara e André, pela alegria

A meus amigos, pela convivência fundamental.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal, pela oportunidade de cursar o mestrado em Ciência Florestal.

À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Professor Ismael Eleotério Pires, pelos ensinamentos, orientação e amizade.

Aos Professores Aloisio Xavier e Pedro Crescêncio Souza Carneiro, pelas sugestões, conselhos e orientação durante a realização deste trabalho.

Aos professores Cosme Damião Cruz e Rita de Cássia G. Borges pelas sugestões atribuídas a tese.

A empresa Jarcel, pela concessão dos dados, que permitiram a realização deste trabalho, em especial ao Engenheiro Osvaldo N. Câncio.

Aos amigos de Lorena, Subhojit e Waldir, pela amizade de muitos anos.

Aos amigos Graça e Júpiter, pela grande amizade e companheirismo em todos os momentos.

Aos amigos Fernanda e Acyr, pela grande amizade e companheirismo.

A todos Los Maledytus do tempo de república, que ajudaram na minha formação pessoal.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, Chiquinho, Imaculada, Jamile, Ritinha da Pós, pela atenção e ajuda atribuída.

Aos demais professores, funcionários e colegas do Departamento de Engenharia Florestal da UFV que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

A todos aqueles que, de alguma forma, colaboraram para que este trabalho pudesse ser realizado.

A você.

## **BIOGRAFIA**

Adriano Emanuel Amaral de Almeida, filho de Amaury José Gomes de Almeida e Carmem Amaral de Almeida, nasceu em Lorena – SP, no dia 15 de outubro de 1975.

Em março de 1994, iniciou o curso de Engenharia Florestal, graduando-se em março de 1999, na Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa – MG.

Em abril de 1999, ingressou no curso de Mestrado em Ciência Florestal, na UFV, defendendo tese em março de 2001.

## ÍNDICE

	Página
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. <i>Eucalyptus urophylla</i> .....	3
2.2. <i>Eucalyptus grandis</i> .....	5
2.3. Qualidade da Madeira.....	6
2.3.1. Parâmetros Genéticos.....	9
2.4. Correlação entre Caracteres.....	11
2.5. Estratégias de Seleção.....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1. Material Experimental.....	14
3.2. Características Avaliadas.....	14
3.2.1. Análise de Variância.....	17
3.2.2. Estimativas dos Parâmetros Genéticos.....	19
3.2.3. Teste de Médias.....	20
3.2.4. Estimadores dos Coeficientes de Correlação Genotípica, Fenotípica e de Ambiente.....	20

3.2.5. Estimacão das Correlaces.....	22
	Página
3.3. Diagnóstico de Multicolinearidade.....	22
3.4. Avaliaco de Combinaes Lineares de Caracteres para Avaliaco Indireta da Característica Produo de Celulose.....	25
3.4.1. Índices de Classificao Genotípico.....	25
3.4.1.1. Índice Clássico Proposto por Smith e Hazel.....	25
3.4.1.2. Índice Base.....	27
3.4.1.3. Índice com Base em Soma de Postos.....	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1. Análise de Variância.....	28
4.2. Características Silviculturais.....	28
4.2.1. Estimativas de Parâmetros Genéticos.....	29
4.3. Características Tecnológicas.....	30
4.3.1. Análise de Variância.....	30
4.3.2. Estimativas de Parâmetros Genéticos.....	32
4.3.3. Teste de Médias.....	34
4.3.4. Correlaces.....	35
4.3.5. Diagnóstico de Multicolinearidade.....	38
4.4. Avaliaco de Combinaes Lineares de Caracteres para a Avaliaco Indireta da Característica Produo de Celulose.....	42
4.4.1. Índices de Classificao Genotípico.....	42
5. CONCLUSÕES.....	46
6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	47

## RESUMO

ALMEIDA, Adriano Emanuel Amaral de, M.S. Universidade Federal de Viçosa, março de 2001. **Avaliação direta e indireta de rendimento depurado e de produção de celulose em clones de eucalipto.** Orientador: Ismael Eleotério Pires. Conselheiros: Aloisio Xavier e Pedro Crescêncio Souza Carneiro.

Este trabalho teve como objetivos avaliar a variabilidade genética e a importância das características silviculturais e tecnológicas; realizar a avaliação direta e indireta da característica produção de celulose e classificar os clones com base na avaliação direta e indireta em produção de celulose. Foram utilizados, no presente estudo, 18 clones com 72 meses de idade, sendo os 5 primeiros *Eucalyptus urophylla* e os demais clones híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. O delineamento utilizado foi blocos casualizados, com 3 repetições e 16 plantas por parcela, num espaçamento de 3 x 3 m. Por se tratar de clones, não foi considerada a informação dentro de parcela, sendo utilizada a média da mesma para a avaliação das características de crescimento. Já para as características tecnológicas, foi utilizada uma árvore representativa da parcela, com valores próximos às médias das características de crescimento. Foram realizadas medições de crescimento quanto à altura total da árvore (Ht), diâmetro à altura do peito (DAP) e volume com casca (Vcc). Para a caracterização tecnológica, foram avaliadas as características densidade básica (DB), comprimento de fibra (CF),

largura da fibra (LF), diâmetro do lúmen (DL), espessura da parede da fibra (EP), índice de runkel (IR), índice de enfiamento (IE), coeficiente de flexibilidade (CoF), fração parede (FP), teor de lignina (LI), extrativos (EX), rendimento depurado de celulose (RD) e produção de celulose (PC). Os resultados indicaram que todas as características silviculturais e tecnológicas apresentaram variabilidade genética, com exceção das características EP e IE. A classificação dos clones com base na avaliação direta em PC diferiu da classificação dos clones quando a avaliação direta foi realizada com base nas características que determinam PC, evidenciando a necessidade da avaliação indireta em PC, para uma caracterização mais precisa dos clones. Na avaliação indireta, a característica RD foi substituída por um conjunto de características tecnológicas, de menor custo e tempo de análise do que RD. Tais características foram definidas com base no estudo de correlações e diagnóstico de multicolinearidade, resultando em DL, EX e LI. A avaliação indireta classificou os melhores clones com teores de EX e LI abaixo da média dos 18 clones e PC acima da média, em todos os índices de classificação genotípicos utilizados neste trabalho. A avaliação direta classificou os melhores clones, com teores de LI, EX e PC acima da média dos 18 clones avaliados, sendo PC na avaliação direta superior do que na avaliação indireta. Em virtude dos resultados obtidos, deve-se realizar estudos de custo x benefício, com base nas características utilizadas na avaliação indireta e determinar o ponto ótimo entre a maior produtividade encontrada na avaliação direta e os menores teores de lignina e extrativos encontradas na avaliação indireta.

## ABSTRACT

ALMEIDA, Adriano Emanuel Amaral de, M. S., Universidade Federal de Viçosa, march 2001. **Direct and indirect evaluation of debugged revenue and of cellulose production in *Eucalyptus* clones**. Adviser: Prof. Ismael Eleotério Pires. Committee members: Aloisio Xavier and Pedro Crescêncio Souza Carneiro.

This work had as objective to evaluate the genetic variability and the importance of growth and technological characteristic; to accomplish the direct and indirect evaluation of the characteristic cellulose production and to classify the clones with base in the direct and indirect evaluation in cellulose production. Were used, in the present study, 18 clones with 72 months of age, being the first 5 *Eucalyptus urophylla* and the other hybrid clones of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. The experimental design used were randomized blocks, with 3 replications and square plots with 16 plants, in 3 x 3 m spacing. For treating of clones, the information was not considered inside of portion, being used the average of the same for the evaluation of the growth characteristics. Already for the technological characteristics, a representative tree of the portion was used, with close values the averages of the growth characteristics. Growth measurements were accomplished with relationship to the total height of the tree (Ht), diameter to the height of the chest (DAP) and volume with peel (Vcc). To the technological characterization, they were appraised the characteristics

basic density (DB), fiber length (CF), width of the fiber (LF), diameter of the lumen (DL), thickness of the wall of the fiber (EP), runkel index (to GO), index of Enfeltramento (IE), coefficient of Flexibility (CoF), fraction Wall (FP), lignina tenor (LI), extractive (EX), debugged revenue of cellulose (RD) and cellulose production (PC). The results indicated that all the growth characteristics and technological presented genetic variability, except for the characteristics EP and IE. The classification of the clones with base in the direct evaluation in PC differed of the classification of the clones when the direct evaluation was accomplished with base in the characteristics that determine PC. Evidencing the need of the indirect evaluation in PC, for a best characterization of the clones. In the indirect evaluation, the characteristic RD was substituted by a group of technological characteristics, of smaller cost and time of analysis than RD. Such characteristics were defined with base in the study of correlations and diagnosis of linear dependence, resulting in DL, EX and LI. The indirect evaluation classified the best clones with tenors of extractive and lignina below the average of the 18 clones and PC above the average. The direct evaluation classified the best clone, with tenors of LI, EX and PC above the average of the 18 appraised clones, being PC in the larger direct evaluation than in the indirect evaluation. By virtue of the obtained results, should take place studies of cost x benefit, with base in the characteristics used in the indirect evaluation and to determine the great point among the largest productivity found in the direct evaluation and the smallest lignina tenors and extractive found in the indirect evaluation.

## 1. INTRODUÇÃO

Os estudos sobre a variabilidade genética das características silviculturais apresentam-se amplamente documentadas para as mais diversas espécies florestais, com destaque para as espécies de Eucaliptos e Pinus (XAVIER et al.,1997). Entretanto, estudos para as características de qualidade da madeira (características anatômicas e químicas) ainda são escassos, principalmente para as folhosas. Segundo PIRES e PAULA (1997), a maioria das avaliações realizadas até o presente momento basearam-se em amostragens restritas e sem repetição.

Inicialmente os programas de melhoramento visavam apenas as características silviculturais como o crescimento, a forma, a adaptação e a resistência a doenças. Atualmente estão sendo incluídas aos programas de melhoramento, além da característica densidade básica, uma série de outras características que influenciam a qualidade final dos diversos produtos florestais. Hoje, o número de estudos sobre as características que definem a qualidade da madeira de *Eucalyptus* é crescente. Entretanto, há muita informação conflitante no que se refere aos parâmetros genéticos, pois não há uma padronização da amostragem, idade do material genético, testes experimentais e, principalmente, características que devem ser consideradas.

Um fator que dificulta o estudo da qualidade da madeira para produção de celulose, é o número de características envolvidas, sendo que muitas apresentam duplicidade e ou explicam a mesma coisa. Assim, é necessário definir quais características da madeira são realmente relevantes para a produção de celulose.

Além deste problema, o custo e o tempo na polpação da madeira para se obter a produção de celulose, muitas vezes inviabiliza a análise de todos os genótipos de interesse, sendo avaliados apenas aqueles que apresentam os melhores rendimentos volumétricos, que muitas vezes não são os que apresentam as maiores produções em celulose. Em virtude disso, é necessário que estudos das características silviculturais e tecnológicas da madeira sejam realizados, no âmbito de se obter estratégias de seleção indireta, que possibilitem a avaliação de um maior número de genótipos, a um baixo custo e em um curto espaço de tempo.

Este trabalho teve como objetivos:

- 1) Avaliar a variabilidade genética e a importância das características silviculturais e tecnológicas;
- 2) Avaliação direta e indireta da característica produção de celulose;
- 3) Classificar os clones com base na avaliação direta e indireta em produção de celulose.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. *Eucalyptus urophylla*

O gênero *Eucalyptus* foi introduzido no Brasil a partir do início do século XX, devido às características de rápido crescimento e capacidade de adaptação aos reflorestamentos. Algumas das espécies mais empregadas no reflorestamento no país, em seqüência de importância econômica, são o *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden, *Eucalyptus saligna* e o *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. As indústrias utilizam a madeira deste reflorestamento para celulose, papel, chapas duras, carvão, madeira serrada, postes e etc, com destaque para o *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake (FERREIRA, 1992).

Esta espécie ocorre particularmente no arquipélago das ilhas da Sonda, englobando as ilhas de Timor, Flores, Adonara, Lomblen, Pantar, Alor, se estendendo por uma faixa de latitude de 8° 10' a 10° Sul, em altitudes de 350 a 2.960m (PÁSZTOR et al., 1990). Seus primeiros exemplares foram introduzidos no Brasil, em Rio Claro, SP, sob o nome de *Eucalyptus alba* no ano de 1919 por Navarro de Andrade. A partir de então, despertou grande interesse para o uso no reflorestamento em razão da sua rusticidade, boa qualidade da madeira para carvão, celulose e serraria, altos incrementos volumétricos e resistência a pragas e doenças, destacando-se, principalmente, quanto ao cancro causado

pela fungo *Cryphonectria cubensis* (Hodgis) em regiões climáticas onde o *Eucalyptus grandis* e o *Eucalyptus saligna* revelam alta susceptibilidade a esse patógeno (SANTOS, 1990).

O *Eucalyptus urophylla* é uma espécie de grande potencial adaptativo, é passível de cultivo sob condições ambientais diversas, abrangendo amplas faixas climáticas, ocorrendo quase sempre sozinho em todos os aspectos de topografia e variações altitudinais, com exceção para determinadas áreas das ilhas Timor, Flores, Alor, Lomblen e Wetar, onde o *Eucalyptus urophylla* ocorre associada ao *Eucalyptus alba* (BROOKER e KLEINING, 1990). Sua descrição botânica foi primeiramente publicada na Austrobailya (1977). Esta espécie de *Eucalyptus* pode apresentar indivíduos com cerca de 55 m de altura e 2 m de diâmetro e com o tronco reto até dois terços da altura da árvore. Nas altitudes maiores, as árvores podem ser baixas, retorcidas e com alguns poucos metros de altura. Em regiões mais áridas, as árvores se apresentam mais baixas, com troncos tortuosos e dominância apical bem menos pronunciada ou ausente. Altitude acima de 2.500 m as árvores são pequenas e de má forma (MARTIN e COSSCELTER, 1975)

PRYOR et al. (1995), utilizando componentes principais, propôs a formação de mais dois grupos dentro da espécie de *Eucalyptus urophylla*. Os autores sugeriram a separação das procedências de maiores altitudes de Timor, como uma nova espécie: *Eucalyptus orophylla*; e as procedências dos sítios mais secos de Wetar como *Eucalyptus wetarensis*.

PINTO JÚNIOR (1984), trabalhando com *Eucalyptus urophylla*, constatou que os parâmetros genéticos e não genéticos estimados para as características de crescimento de plantas, nos diversos locais e idades avaliadas, não mostraram tendência comum para as progênies de uma mesma procedência, explicando a presença dessas variações entre procedências, quanto à sua estrutura genética. Segundo o autor, as análises ao nível de características, idades e locais individuais, mostraram variações genéticas entre progênies, mas sem um padrão comum de variação dos parâmetros genéticos de local para local. E para locais em conjunto, também foram detectadas variações genéticas entre progênies e expressivo efeito de locais, que tendeu a decrescer com a idade. O autor verificou que os coeficientes de herdabilidade, no sentido restrito, ao nível de média de progênies de meios-

irmãos, e os coeficientes de variação genética, obtidos para as características de crescimento nos diferentes locais, indicam boas perspectivas de ganhos genéticos através da seleção.

## 2.2. *Eucalyptus grandis*

O *Eucalyptus grandis* é natural da Austrália e apresenta limites de distribuição natural desde o sul de Nova Gales do Sul, com distribuição contínua pela costa até o sul de Queensland, com latitude variando de 32°52'S a 26°S (PRYOR, 1971). Ressalta-se ainda que as florestas naturais desta espécie nessas regiões ocorrem, em sua maioria, em terras costeiras com altitude variando desde o nível do mar até cerca de 600 metros (ELDRIDGE et al., 1993).

Esta espécie cresce em vários tipos de solos, mas geralmente ocupa terras de moderada fertilidade e baixa declividade, freqüentemente adjacentes às florestas chuvosas, sendo, com freqüência, encontrada em povoamentos puros, mas, às vezes, junto com outras espécies do gênero, como o *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus pilularis* e *Eucalyptus saligna* (ELDRIDGE et al., 1993).

O *Eucalyptus grandis* apresenta crescimento rápido, podendo alcançar 75 metros de altura, e pertence ao subgênero *Symphiomirtus*, bastante relacionado ao *Eucalyptus saligna* (PRYOR, 1971).

Segundo BORGES et al. (1980), o *Eucalyptus grandis* é uma espécie que apresenta um desenvolvimento excepcional em regiões subtropicais. A alta qualidade da celulose e a facilidade de se obter sementes puras, tornaram esta espécie a mais plantada e conhecida.

O *Eucalyptus grandis*, além de apresentar uma alta produtividade com elevados incrementos volumétricos por hectare, ainda apresenta ramificações finas, uma boa desrama natural, baixos teores de casca e características de polpação excelentes.

KAGEYAMA (1969) em um estudo pioneiro indicou o *Eucalyptus grandis* como uma importante matéria prima fibrosa para a produção de celulose e papel, tendo verificado um rendimento depurado de 54,4 por cento, um baixo consumo de reagentes químicos e boas propriedades físico-mecânicas da celulose.

### **2.3. Qualidade da Madeira Para Produção de Celulose**

A questão na produção de celulose consiste, basicamente, na degradação e remoção da lignina da madeira, que funciona como uma substância “cimento”, que une as fibras, possibilitando a separação e individualização delas. A formação de uma lâmina úmida com as fibras individualizadas e sua posterior secagem, após a adição de algumas substâncias para melhoria da qualidade, resulta na folha de papel (GOMIDE, 1997). Segundo o autor, para a produção de celulose e de papel de alta qualidade, é indispensável que a madeira utilizada apresente características físicas, químicas e anatômicas, compatíveis com o produto final a ser confeccionado. Essas características dependem tanto da espécie como das práticas silviculturais e do manejo dos povoamentos florestais.

O conceito de qualidade da madeira não é novo. Já em 1664 John Evelyn escreveu que toda pessoa que avaliar uma característica da madeira pensando num padrão universal de qualidade, freqüentemente cometerá enganos, pois um determinado valor de madeira pode representar baixa importância para um determinado produto final e alto para outro (ENGLERTH, 1966).

Um refinamento do conceito de Evelyn é a base para a moderna definição de qualidade de madeira, proposto por MITCHELL (1960): Qualidade de madeira é uma combinação das características físicas, químicas, e anatômicas de uma árvore ou de suas partes que permitem melhor utilização da madeira para um determinado uso.

Segundo FOELKEL (1997), os parâmetros relacionados à madeira que devem ser analisados ou incluídos em um programa de melhoramento das características de qualidade da madeira para celulose são a densidade básica, o teor de lignina total e insolúvel em ácido, o teor de cinzas e o teor de extrativos. Enquanto as características de polpa da celulose são o álcali ativo aplicado, o álcali consumido, o rendimento bruto, o rendimento depurado, o teor de rejeitos, a alvura, a viscosidade, toneladas equivalentes de celulose/dia em função da unidade industrial alvo, toneladas de celulose/1000 m<sup>3</sup> de digestor e os sólidos orgânicos e inorgânicos por toneladas de celulose.

FOELKEL (1997) também relata que as características de qualidade da celulose para atender o mercado de papeis de impressão e escrita são o teor de hemicelulose na celulose branqueada, o coarseness ou número de fibras por grama de celulose, o teor de vasos e os testes físicos. Já as características de qualidade da celulose para atender o mercado de papeis sanitários (tissue) são o teor de hemicelulose (expresso como S5 ou teor de pentosanas), a energia de refino (expresso pelo número de revoluções do PFI), a resistência à tração, o volume específico da folha e a absorção de água pela folha (absorção klemm, por exemplo). Existem inúmeros outros produtos provenientes da celulose, que apresentam características próprias, ou seja, as características que devem ser incluídas nos programas de melhoramento florestal estão vinculados ao produto final.

FOELKEL et al. (1990) verificaram que diferentes espécies comportam-se distintamente quanto à variação de características da madeira, como densidade básica, índice de runkel e fração parede. Entretanto, quando se trabalha com a mesma espécie de sítios relativamente similares, mesmo com diferentes idades, tais características podem ser usadas como indicadores confiáveis, principalmente pela sua facilidade de determinação.

Segundo GOMIDE (1997), dentre as espécies de *Eucalyptus* existentes no Brasil, apenas algumas são utilizadas industrialmente para a produção de celulose e papel, destacando-se o *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e o *E. urophylla*.

Segundo PIRES (1997), a maioria das avaliações genéticas até então realizadas para qualidade da madeira, baseia-se em amostragens restritas sem repetição, tornando-se de fundamental importância a implementação de estudos de amostragem.

TEIXEIRA e VARGAS FILHO (1994) não encontraram diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) entre os diferentes pontos de amostragem ao longo do eixo longitudinal da árvore, em suas avaliações sobre o comportamento de variação do teor de lignina e densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* aos 6 anos de idade.

RAYMOND et al. (1998), estudando métodos de amostragem em um teste de progênies de *Eucalyptus regnans* aos nove anos de idade, determinou que para as características densidade básica, comprimento de fibra e

coarseness, a amostragem ao DAP apresentou elevada relação com o valor médio da árvore, revelando ser um potencial ponto de amostragem para prever o valor real da árvore.

Segundo MALAN (1991), a variação da densidade ao longo do tronco é menos consistente do que na direção radial, ou seja, direção medula-casca. Em *Eucalyptus grandis*, a densidade comumente aumenta no sentido base – topo, podendo ocorrer um decréscimo e depois voltar a aumentar. A variação na densidade da madeira ocorre, em grande parte, devido à proporção de madeira juvenil, que geralmente, apresenta uma densidade menor do que a da madeira madura. A maior porção da variabilidade dentro de árvores ocorre no sentido radial, do centro para a casca, em relação a variação longitudinal. Segundo MALAN (1988) maior eficiência de amostragem pode ser conseguida pela tomada de um maior número de árvores do que em diferentes posições dentro da árvore, bastando pelo menos duas posições no sentido radial e duas no sentido longitudinal das árvores.

Segundo FOELKEL (1997), há muita carência de estudos sobre o número de árvores que devem ser amostradas para a determinação da qualidade de madeira. O autor sugere alguns procedimentos, para povoamentos de plantio sexuado, como segue: 1) inventariar o povoamento quanto a diâmetro (DAP) das árvores (usar parcelas de 20 x 20) 2) construir curva de distribuição de frequências para diâmetro (DAP) e 3) amostrar ao acaso entre 12 e 15 árvores cujos diâmetros sigam distribuição próxima à distribuição da parcela previamente medida. Segundo o autor, para testes clonais, ainda há pouca informação quanto ao número de árvores a ser amostrada, mas o mesmo sugere no mínimo 5 árvores, verificando também a distribuição de diâmetros e procurando escolher árvores próximas à média.

FOELKEL (1990) determinou que, para uma boa amostragem para as análises das características de qualidade da madeira, deve-se coletar 2 discos de 2 cm nas seguintes posições: a) na base (cerca de 0,5 m do solo); b) a 25% da altura comercial (H); c) a 50% H; d) a 75% H e e) a 100% H.

### 2.3.1. Parâmetros Genéticos

Por meio do estudo da variabilidade genética e estimação dos coeficientes de herdabilidades das características de qualidade da madeira, é possível identificar e determinar a magnitude do controle genético das mesmas e, com isso, determinar quais características são importantes para o melhoramento genético.

XAVIER (1997) estimou parâmetros genéticos para as características de qualidade de madeira em progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus grandis*, aos 84 meses de idade, encontrando diferenças genéticas significativas pelo teste F ( $P < 0,05$ ) para as características densidade básica, comprimento de fibra e índice de enfeltramento. As estimativas de herdabilidade ao nível de média de família foram 0,44, 0,59 e 0,35, respectivamente, indicando que há possibilidades de melhoramento e de obtenção de ganhos consideráveis com a seleção para qualidade de madeira. As características que não apresentaram diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) foram: largura da fibra, diâmetro do lúmen, espessura da parede da fibra, índice de runkel, coeficiente de flexibilidade e fração parede. O autor ressaltou a característica comprimento de fibra como a que apresentou os maiores valores quanto aos quatro tipos de herdabilidades calculadas (a nível de bloco -  $h^2_b$ , a nível de experimento -  $h^2_e$ , dentro da parcela -  $h^2_d$  e a nível de médias de famílias -  $h^2_m$ ).

Segundo COTTERILL (1997), ganhos substanciais podem ser obtidos da seleção dentro de espécies de *Eucalyptus*, tal como *Eucalyptus globulus*. Propriedades da madeira incluindo densidade básica, comprimento de fibra, coarseness, teor de celulose e hemicelulose parecem ser herdáveis, em maior ou menor grau, dependendo da característica para *Eucalyptus globulus* ( $h^2 = 0,30$  a  $0,69$ ), em particular local de Portugal. E o teor de lignina de *Eucalyptus globulus* parece ser pouco herdável ( $h^2 = 0,09$ ).

As estimativas de herdabilidade, em nível de médias de famílias, de nove híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com 60 meses de idade, em três locais da região da Aracruz – ES, obtidas por DEMUNER e BERTOLUCCI (1993), foram de 0,81, 0,86, 0,93, 0,79 e 0,75 para largura de fibras, diâmetro de vasos, espessura de parede celular, densidade básica e teor de extrativos, respectivamente. Tal fato indica que essas características

são relevantes para o melhoramento genético. Para a característica teor de lignina, a herdabilidade em nível de médias de família, obtida com a análise conjunta dos locais, foi de 0,83, o que indica que o teor de lignina é uma característica herdável e, portanto, importante nos programas de melhoramento, contrariando o resultado encontrado por COTTERILL (1997). Para a característica rendimento depurado de celulose, a estimativa de herdabilidade ao nível de médias de famílias, foi de 0,23, evidenciando que, mesmo sendo importante para a polpação, a seleção nessa característica não resultaria em ganhos significativos na qualidade da madeira. A viscosidade da polpa, obtida do mesmo material citado acima, apresentou herdabilidade, em nível de médias de famílias, de 0,45.

MALAN (1988), usando 18 famílias de *Eucalyptus grandis* selecionadas para rápido crescimento, de um teste de 71 famílias de polinização controlada, determinou os parâmetros genéticos das características de crescimento e propriedades da madeira. Os resultados evidenciaram variação significativa de famílias para as características diâmetro a altura do peito, altura total, densidade básica, porcentagem de fibras, porcentagem de raios, porcentagem de vasos, frequência de vasos e comprimento de fibras e as respectivas estimativas de herdabilidade foram, 0,30; 0,45; 0,45; 0,30; 0,25; 0,14; 0,31 e 0,54.

RAYMOND et al. (1998a), estudando a variação dentro de famílias meios-irmãos e o controle genético para as características densidade básica, comprimento de fibra e coarseness em um teste de progênies de *Eucalyptus regnans* aos nove anos de idade, encontrou estimativas de herdabilidades na ordem de 0,15, 0,17 e 0,36, respectivamente.

A herdabilidade das propriedades químicas da madeira tem sido pouco estudadas, mas há indícios de que tais características apresentam baixo controle genético, como encontrado por DEMUNER e BERTOLUCCI (1993) para rendimento depurado de celulose e por ALMEIDA (1993) e COTTERILL (1997), para teor de lignina e extrativos, não se recomendando maiores investimentos no melhoramento genético de tais características.

## 2.4. Correlação entre Caracteres

Segundo CRUZ e REGAZZI (1997), o conhecimento da associação entre caracteres é de grande importância nos trabalhos de melhoramento, principalmente se a seleção em um deles apresenta dificuldades, em razão da baixa herdabilidade e, ou problemas de medição e identificação.

XAVIER (1997), avaliando as relações entre características de qualidade da madeira em progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus grandis*, aos 84 meses de idade, quanto a densidade básica, comprimento de fibra, índice de enfiletramento, largura da fibra, diâmetro do lúmen, espessura da parede da fibra, índice de runkel, coeficiente de flexibilidade e fração parede, encontrou estimativas de correlações fenotípica, genotípica e ambiental não muito elevadas. Quanto às correlações genéticas, observou-se, que na maioria dos casos, estas apresentaram valores de estimativas acima da unidade ( $> 1,0$ ), não permitindo assim, qualquer tipo de conclusão a seu respeito. As correlações fenotípicas, genéticas e de ambiente entre as características silviculturais e de qualidade da madeira, de modo geral, apresentaram valores relativamente de baixa magnitude.

RAYMOND (1998), estudando a variação dentro e controle genético para as características densidade básica, comprimento de fibra e coarseness em um teste de progênies de *Eucalyptus regnans* aos nove anos de idade, determinou que as correlações entre as características de crescimento e propriedades da madeira apresentaram valores baixos.

MALAN (1991), em seu estudo sobre os efeitos da taxa de crescimento sobre as propriedades da madeira, encontrou não-significância para a correlação fenotípica entre taxa de crescimento e propriedades da madeira. Já segundo GARLET (1994), a densidade básica é uma importante característica ligada à qualidade da madeira que se correlaciona com o comprimento e o diâmetro do lúmen das fibras. Assim, quando a seleção é baseada na densidade, variações poderão ocorrer em função das características anatômicas, afetando as propriedades da polpa.

Segundo MALAN (1993), a ausência de elevada correlação entre características morfológicas e tecnológicas e entre características de crescimento e tecnológicas, mostra que será difícil achar um clone que tenha

excelente qualidade para todas as características. Assim, é necessário selecionar um grande número de árvores nos testes de progênies para obter um clone com o máximo número de características favoráveis para o ciclo final de seleção.

## **2.5. Estratégias de Seleção**

Segundo PIRES (1997), qualquer programa de melhoramento genético deve centrar-se em características que apresentam variabilidade genética. Assim, torna-se necessário definir quais características da madeira afetam a qualidade do produto final e os níveis de controle genético para as mesmas. O autor lista uma gama de exemplos na literatura sobre o efeito de tratamentos silviculturais na qualidade da madeira. No entanto, resultados experimentais sobre técnicas e métodos de melhoramento para as propriedades físicas, químicas e anatômicas da madeira são raros.

XAVIER (1996), utilizando análise multivariada para determinar a divergência genética entre progênies de *Eucalyptus spp*, concluiu que as características de qualidade da madeira foram as que mais contribuíram. Segundo o autor, o cruzamento de progênies com alta divergência pode maximizar a heterose e aumentar a probabilidade de ocorrência de segregantes superiores em gerações avançadas de melhoramento.

FONSECA (1996), realizando estudo para seleção da “árvore industrial”, encontrou que as características rendimento de polpa, crescimento volumétrico e densidade básica são as principais características para seleção, quanto a capacidade e ao custo de produção da indústria e dentre estas características, a densidade básica é a que exerce maior influência sobre a qualidade da polpa produzida. FONSECA (1996) encontrou resultados semelhantes aos de WRIGHT (1991) e para o autor os dois parâmetros mais importantes na seleção de clones de *Eucalyptus* são a densidade básica e o crescimento. Bom crescimento é o resultado das características adaptativas, o que resultará em alta produção volumétrica, enquanto densidade é o indicador de numerosas propriedades do papel.

GOUVÊA et al. (1997) estudando a correlação entre o padrão de proporção de casca com características de qualidade da madeira, concluiu, que

do ponto de vista prático, a utilização de padrões fenotípicos de casca, não possibilitaram uma eficiente seleção para as características de qualidade da madeira.

Um parâmetro potencial de seleção foi determinado por ALMEIDA et al. (1997), o qual estudaram a importância do diâmetro de lúmen na seleção de *Eucalyptus* para produção de celulose. Os autores relataram que o maior volume de licor para cozimento no interior do lúmen das fibras permite uma maior homogeneidade de concentração do licor no interior das mesmas, pois a difusão de álcali através da parede celular é um processo moroso e incapaz de suprir na mesma proporção às necessidades de álcali consumido por reações com os componentes da madeira à temperatura de polpação. Um maior diâmetro de lúmen mantém uma maior quantidade de massa de álcali no licor em direção à parede celular e, conseqüentemente, facilitando a deslignificação. Segundo os autores, a relação volume médio de lúmen/área interna média das fibras parece estar diretamente relacionada à facilidade de deslignificação da madeira e, conseqüentemente, diretamente relacionada ao rendimento depurado. Por fim, os autores concluíram que a densidade básica, apesar de ser um parâmetro de qualidade importante, é insuficiente para indicar o possível comportamento da madeira frente ao processo de polpação, mesmo estando associada à composição química.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Material Experimental**

Foram utilizados, no presente estudo, 18 clones com 72 meses de idade, pertencentes a Empresa Jarcel – PA, sendo os cinco primeiros *Eucalyptus urophylla* e os demais híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. O delineamento utilizado foi blocos casualizados, com três repetições e 16 plantas por parcela. O experimento foi instalado em solo do tipo Latossolo Amarelo Ácrico, textura muito argilosa e relevo plano. O espaçamento utilizado foi o de 3 x 3 m.

Por se tratar de clones, não foi considerada a informação dentro de parcela, sendo utilizada a média da mesma para a avaliação das características de crescimento. Já para as características tecnológicas, foi utilizada uma árvore representativa da parcela, com valores próximos as médias das características de crescimento.

#### **3.2. Características Avaliadas**

Aos 72 meses de idade foram avaliadas as características silviculturais e tecnológicas, conforme descrito a seguir:

## **Características Silviculturais**

Foram obtidas medições de crescimento relativas à altura total da árvore (Ht) e diâmetro à altura do peito (DAP), a partir destas variáveis foi obtida o volume individual com casca (Vcc), utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Volume com casca: } V_{cc} = \frac{\pi (DAP)^2}{4} (Ht) (ff)$$

em que:

$\pi = 3,1416$ ;

ff = fator de forma (0,5)

## **Características Tecnológicas**

Para a caracterização tecnológica, foram obtidos cavacos, por meio de equipamento industrial, utilizando como amostras, discos obtidos a partir de seções coletadas a altura de 0, DAP, 25, 50, 75 e 100 % da altura comercial (até o diâmetro mínimo de 8 cm com casca).

### **a. Densidade Básica**

Obtida pelo método do máximo teor de umidade, desenvolvido por SMITH (1954). Este método de determinação baseia-se na relação entre a densidade básica e o máximo teor de água que a madeira pode conter, assumindo como constante 1,53 g/cm<sup>3</sup> a densidade da substância madeira. Assim, tem-se:

$$DB = \frac{1}{(P_u - P_s)^{-0,346}}$$

em que:

DB = densidade básica (g/cm<sup>3</sup>);

Pu = peso úmido saturado da madeira;

Ps = peso seco em estufa da madeira.

## **b. Fibras**

Determinaram-se as seguintes dimensões:

- Comprimento de fibra (mm) – CF
- Largura da fibra ( $\mu\text{m}$ ) – LF
- Diâmetro do lúmem ( $\mu\text{m}$ ) – DL
- Espessura da parede da fibra – EP.

Na dissociação das fibras, as macerações das amostras foram realizadas por meio do processo nítrico-acético conforme descrito por BARRICHELO e FOELKEL (1983). Nas mensurações das fibras, foi feita uma lâmina por árvore e foram medidas 20 fibras/lâminas. A medição do comprimento (mm) foi realizada por meio de um projetor; a largura da fibra ( $\mu\text{m}$ ) e o diâmetro do lúmem da fibra, por meio de um microscópio óptico; e a espessura da parede ( $\mu\text{m}$ ) foi calculada pela diferença entre a largura e o diâmetro do lúmem da fibra, dividida por 2.

Com as dimensões das fibras, foram ainda calculados os seguintes fatores:

- Índice de Runkel:  $IR = 2 EP/DL$
- Índice de Enfeltramento:  $IE = (CF/LF) \times 1000$
- Coeficiente de Flexibilidade:  $CoF = (DL/LF) \times 100$
- Fração Parede:  $FP = (2 EP/LF)/100$

## **c. Características Químicas da Madeira**

As características químicas teor de lignina e de extrativos, em %, foram obtidas de acordo com as normas TAPPI (Quadro 1).

Quadro 1 – Métodos utilizados na determinação das características químicas da madeira.

Características	Abreviatura	Unidade	Método*
Lignina	LG	%	Método Klason – TAPPI 222 om – 83 (Acid Insoluble Lignin in Wood and Pulp).
Extrativos	ET	%	TAPPI T 264 om – 82 (Preparation of Wood for Chemical Analysis), com extração por meio de etanol – toluene 1:2.

\* Fonte: Technical Association of the American Pulp and Paper Industry (TAPPI - 1991).

#### d. Características da Polpa

As características rendimento depurado de celulose – RD (%) e Produção de Celulose (PC), foram obtidas de acordo com as normas TAPPI (Quadro 2).

Quadro 2: Métodos utilizados na determinação das características químicas da madeira.

Características	Abreviatura	Unidade	Método*
Rendimento Depurado de Celulose	RD	%	Razão entre o peso da celulose produzida pelo peso da madeira processada.
Produção de Celulose	PC	Kg	Produto entre as variáveis Vcc (m <sup>3</sup> ), DB (Kg/m <sup>3</sup> ) e RD (adimensional).

Fonte: Technical Association of the American Pulp and Paper Industry (TAPPI - 1991).

A determinação dessas características foi realizada pelo Laboratório da Empresa Jarcel, utilizando os procedimentos e equipamentos do próprio laboratório.

#### 3.2.1. Análise de Variância

A análise de variância foi feita para cada uma das características, adotando o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = m + G_i + \beta_j + e_{ij}$$

em que:

$Y_{ij}$  = valor do  $i$  – ésimo clone no  $j$  – ésimo bloco;

$m$  = média geral;

$G_i$  = efeito do genótipo  $i$ ,  $i = 1, 2, \dots, g$  e  $\sum_{i=1}^g G_i = 0$ ;

$\beta_j$  = efeito do bloco  $j$ ,  $j = 1, 2, \dots, r$ ;

$e_{ij}$  = erro experimental,  $e_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ .

Considerou-se o efeito de genótipos como sendo fixo.

O Quadro 3 apresenta o esquema da análise de variância segundo o modelo acima.

Quadro 3: Esquema da Análise de Variância Individual

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	E(QM)	F
Blocos (B)	$r - 1$	SQB	QMB		
Genótipos (G)	$g - 1$	SQG	QMG	$\sigma^2 + r \Phi_g$	QMG/QMR
Resíduo (R)	$(r - 1)(g - 1)$	SQR	QMR	$\sigma^2$	
Total (To)	$gr - 1$	SQTo			
Média	M				
$CV_{\text{exp}} (\%)$	$\frac{(100 \sqrt{QMR})}{m}$				

Em que:

$r$  = número de repetições;

$g$  = número de clones;

SQ = soma de quadrados;

QM = quadrado médio;

E(QM) = esperança do quadrado médio;

$\sigma^2$  = componente de variância devido ao erro experimental;

$\hat{\sigma}_g^2$  = componente quadrático associado à variabilidade genotípica

$$\hat{\sigma}_g^2 = \frac{\sum_{i=1}^g G_i^2}{(g-1)};$$

CV<sub>exp</sub> % = coeficiente de variação experimental.

### 3.2.2. Estimadores dos Parâmetros Genéticos

A partir das esperanças dos respectivos quadrados médios, obteve-se os seguintes componentes:

$$\hat{\sigma}_f^2 = \frac{QMG}{r}$$

$$\hat{\sigma}_e^2 = \frac{QMR}{r}$$

$$\hat{\sigma}_g^2 = \frac{QMG - QMR}{r}$$

$$h^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_f^2}$$

em que:

$\sigma_f^2$  = variância fenotípica média;

$\sigma_e^2$  = variância ambiental média;

$\hat{\sigma}_g^2$  = componente quadrático associado à variabilidade genotípica entre médias;

$h^2$  = coeficiente de determinação genotípico;

### 3.2.3. Teste de Médias (Tukey)

O teste de Tukey pode ser utilizado para comparar a totalidade dos contrastes entre duas médias, ou seja, para os  $n_1(n_1-1)/2$  contrastes do tipo  $Y_i = m_i - m_j$ ; para  $n_1 \geq j \geq i \geq 1$ , em que  $n_1$  é o número de níveis do fator em

estudo. Este teste basea-se na diferença mínima significativa (d.m.s) representada por  $\Delta$ , dada por:

$$\Delta = q\sqrt{\frac{1}{2}\hat{V}(\hat{Y})}$$

$q = q_{\alpha}(n_1, n_2)$  é o valor tabelado da amplitude total estudentizada, que é obtido em função do nível  $\alpha$  de significância do teste, número de níveis do fator em estudo ( $n_1$ ) e número de graus de liberdade do resíduo ( $n_2$ ) da análise de variância.

$$\hat{V}(\hat{Y}) = QMR \left( \frac{1}{r_i} + \frac{1}{r_j} \right)$$

Realizou-se o teste de médias com base na característica produção de celulose (PC) e nas características que determinam PC, ou seja, densidade básica (DB), rendimento depurado de celulose (RD) e volume com casca (Vcc). Haja visto que,  $PC = DB \times Vcc \times RD$ . Este estudo foi realizado com o intuito de verificar a necessidade de se proceder a avaliação indireta da característica produção de celulose. A avaliação indireta será considerada necessária, se houver diferença acentuada na classificação dos clones, por meio do teste de médias, com base em PC em relação à classificação dos clones com base nas características que determinam PC.

#### **3.2.4. Estimadores dos Coeficientes de Correlações Genotípicas, Fenotípicas e de Ambiente**

Para a obtenção das estimativas dos coeficientes de correlação, realizou-se previamente uma análise para cada par de caracteres, com o objetivo de estimar as covariâncias (Quadro 4). Para cada par, foram somados seus respectivos valores e os novos valores utilizados para a análise de variância, considerando as médias de progênies. Segundo KEMPTHORNE (1966), quando se tem duas observações X e Y, pode-se considerar a soma  $X + Y = Z$  e fazer a análise de variância de forma análoga às realizadas para X e Y, separadamente. A variância da soma de duas variáveis quaisquer (Z) é igual

à soma das variâncias das variáveis individuais (X e Y) mais duas vezes a covariância ou produtos médios associados a cada fonte de variação. Assim as covariâncias são estimadas por meio de:

$$Cov(X,Y) = \frac{V(Z) - V(X) - V(Y)}{2}$$

O Quadro 4 apresenta o esquema da análise de variância das variáveis X, Y e Z (X + Y) para obtenção dos produtos médios (PM), estimados com base nos quadrados médios das fontes de variações.

Quadro 4: Esquema da análise para a obtenção dos produtos médios de cada par de caracteres

FV	GL	QM			PM	E(PM)
		X	Y	X+Y		
Blocos	r - 1	-	-	-	-	-
Genótipos	g - 1	QMGx	QMGy	QMGxy	PMGxy	$\hat{\sigma}_{xy} + r \hat{\sigma}_{gxy}$
Resíduo	(r - 1)(g - 1)	QMRx	QMRy	QMRxy	PMRxy	$\hat{\sigma}_{xy}$

em que:

$$PMG_{xy} = \frac{QMG_{xy} - QMG_x - QMG_y}{2}$$

$$PMR_{xy} = \frac{QMR_{xy} - QMR_x - QMR_y}{2}$$

### 3.2.5. Estimação das Correlações

As estimativas das correlações fenotípicas, genotípicas e de ambiente entre os caracteres foram obtidas a partir da estrutura apresentada no Quadro 4, conforme procedimento relatado por CRUZ e REGAZZI (1997).

As estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica ( $r_f$ ), de ambiente ( $r_e$ ) e genotípica ( $r_g$ ) foram determinadas pelas expressões:

$$r_f = \frac{PMG_{xy}}{\sqrt{QMG_x QMG_y}}$$

$$r_e = \frac{PMR_{xy}}{\sqrt{QMR_x QMR_y}}$$

$$r_g = \frac{\hat{\Phi}_{gxy}}{\sqrt{\hat{\Phi}_{gx} \hat{\Phi}_{gy}}}$$

em que:

$\hat{\Phi}_{gxy}$  é a covariância genotípica entre os caracteres X e Y;

$\hat{\Phi}_{gx}$  e  $\hat{\Phi}_{gy}$  são os componentes quadráticos associados à variabilidade genotípica entre médias dos caracteres X e Y, respectivamente.

dada por:

$$\hat{\Phi}_{gxy} = \frac{PMG_{xy} - PMR_{xy}}{r}$$

$$\hat{\Phi}_{gx} = \frac{QMG_x - QMR_x}{r}$$

$$\hat{\Phi}_{gy} = \frac{QMG_y - QMR_y}{r}$$

### 3.3. Diagnóstico de Multicolinearidade

Para avaliar a multicolinearidade na matriz de correlação genotípica (matriz X) foram utilizados três procedimentos:

- a) análise descritiva das correlações;
- b) fatores de inflação da variância (VIF's);
- c) análise dos autovalores;

d) análise dos autovetores.

A análise da multicolinearidade foi baseada nos quatro métodos simultaneamente, porque alguns deles são complementares.

O diagnóstico de multicolinearidade foi realizado sobre o conjunto de características tecnológicas, que apresentaram significância pela análise de variância, com coeficiente de variação experimental aceitável.

### **Análise Descritiva das Correlações Genotípicas**

Foram analisados os elementos não – diagonais ( $r_{ij}$ ) da matriz de correlação genotípica. Neste caso, se as variáveis independentes ( $x_i, x_j$ ) apresentarem dependência linear, então  $r_{ij}$ , em valor absoluto, será próximo da unidade. Contudo, a ausência de altos valores de correlação entre duas variáveis quaisquer não evidencia ausência de multicolinearidade.

### **Fatores de Inflação da Variância**

Por esse método foi considerada a magnitude dos elementos diagonais  $v_{ij}$  da inversa da matriz  $R_{X'X}^{-1} = (X'X)^{-1}$ , denominados VIF's ou fatores de inflação da variância. A ocorrência de qualquer VIF com valor superior a 10 constitui indicativo de multicolinearidade (NETER et al., 1983).

### **Análise dos Autovalores da Matriz X'X**

Foram obtidos os autovalores, ou raízes características da matriz X'X, identificados por  $\lambda_j$ , para  $j = 1, 2, \dots, p$ , sendo  $p$  o número de caracteres em estudo. Fazendo-se o determinante de  $(X'X - \lambda I_p)$  igual a zero, isto é,  $|(X'X) - \lambda I_p| = 0$ , determinou-se  $\lambda_j$ . A seguir foi estabelecido o número de condição (NC), referente à matriz em estudo, dado pela expressão:

$$NC = \frac{\lambda_{máx.}}{\lambda_{min.}}$$

Segundo MONTGOMERY e PECK (1981), o número de condição (NC) consiste na razão entre o maior e o menor autovalor. De acordo com os autores,  $NC < 100$  implica que a multicolinearidade não consiste em um problema sério, podendo ser considerada fraca. Se estiver entre 100 e 1000 ( $100 < NC < 1000$ ), a multicolinearidade é considerada de moderada a forte, e se  $NC > 1000$  constitui indício de multicolinearidade severa.

### **Análise dos Autovetores da Matriz $X'X$**

Tomando-se  $(X'X - \lambda_p)V$  e fazendo esta expressão identicamente nula, isto é,  $(X'X - \lambda_p)V = \Phi$ , obtém-se o autovetor  $v$ , associado a cada autovalor  $\lambda_j$ .

Fazendo-se  $X'X = V\Lambda V'$ , sendo  $\Lambda$  uma matriz diagonal de dimensões  $p \times p$ , cujos elementos da diagonal são os autovalores  $\lambda_j$  da matriz  $X'X$ , e  $V$  uma matriz ortogonal, também de dimensões  $p \times p$ , cujas colunas são os autovetores normalizados de  $X'X$ , tem-se que um autovalor ( $\lambda_j$ ) com valor próximo de zero constitui indício de dependência linear aproximada entre os dados, enquanto os maiores elementos do autovetor ( $V_j$ ), associado a esse autovalor, correspondem as variáveis que apresentam multicolinearidade entre si. Assim foi possível não só conhecer a intensidade da multicolinearidade em cada caso, como também identificar as variáveis envolvidas. O autovetor ( $V$ ) normalizado foi obtido dividindo-se seus elementos pela norma, dada por:

$$\|V\| = \sqrt{\sum_{j=1}^p V_j^2}$$

Em que  $V_j$  representa os elementos do autovetor  $V$ .

As análises estatísticas e genéticas foram realizadas pelo Programa GENES, aplicativo computacional em genética e estatística, (CRUZ, 1997).

### 3.4. Avaliação de Combinações Lineares de Caracteres para Avaliação Indireta da Característica Produção de Celulose (PC)

#### 3.4.1. Índices de Classificação Genotípica

##### 3.4.1.1. Índice Clássico Proposto por Smith (1936) e Hazel (1943)

Segundo CRUZ e REGAZZI (1997), o índice de classificação genotípica proposto por Smith (1936) e Hazel (1943) consiste numa combinação linear dos vários caracteres de importância econômica, cujos coeficientes de ponderação são estimados de modo a maximizar a correlação entre o índice e o agregado genotípico. Este agregado é estabelecido por uma outra combinação linear, envolvendo os valores genéticos, os quais são ponderados por seus respectivos valores econômicos.

Sejam o índice (I) e o agregado genotípico (H) descritos como a seguir:

$$I = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n = \sum_{i=1}^n b_i x_i = b' x$$
$$H = a_1g_1 + a_2g_2 + \dots + a_ng_n = \sum_{i=1}^n a_i g_i = a' g$$

em que:

n: número de caracteres avaliados;

g': vetor de dimensão 1 x n de valores genéticos desconhecidos dos n caracteres considerados;

x': vetor de dimensão 1 x n de médias dos caracteres;

a: vetor de dimensão n x 1 de pesos econômicos previamente estabelecidos; e

b: vetor de dimensão n x 1 dos coeficientes de ponderação do índice, a serem estimados.

Sejam também:

P: matriz de dimensão n x n de covariâncias fenotípicas entre os caracteres;

G: matriz de dimensão n x n de covariâncias genéticas entre os caracteres.

Uma vez estabelecido o índice, avalia-se o ganho de seleção em cada carácter avaliado e, ou, no conjunto. O ganho esperado para o carácter j, quando a seleção é praticada sobre o índice, é expresso por:

$$\Delta g_{j(I)} = DS_{j(I)} h_j^2$$

em que  $DS_{j(I)}$  é o diferencial de seleção indireto. Em certos estudos teóricos tem-se optado por estimar o ganho indireto pela expressão:

$$\Delta g_{j(I)} = \hat{\beta}_{gl} DS = G_j \hat{b} \frac{DS}{\hat{V}(I)}$$

em que:

$\hat{\beta}_{gl}$  : estimador do coeficiente de regressão dos valores genéticos do carácter j

em função do índice I;

$DS = \bar{I}_s - \bar{I}_o$ ;  $\bar{I}_s$  representa a média dos indivíduos selecionados e

$\bar{I}_o$  representa a média original das progênes em relação ao índice;

$G_j = j$  – ésima linha da matriz G, cujos elementos são a variância genética do carácter j e as covariâncias genéticas entre este carácter e os demais.

Simplificando a notação  $\Delta g_{j(I)}$  para  $\Delta g_j$  e considerando que:

$$\Delta g' = [\Delta g_1 \Delta g_2 \dots \Delta g_n]$$

tem-se:

$$\Delta g = \frac{G \hat{b} i}{\hat{\sigma}_I}$$

em que  $i$  é o diferencial de seleção, em unidades de desvios-padrão ( $\hat{\sigma}_i$ ) do índice  $I$ . O ganho esperado em  $H$ , quando a seleção é praticada sobre o índice, é expresso por:

$$\Delta H = a' \Delta g$$

### 3.4.2. Índice Base

Segundo CRUZ e REGAZZI (1997), Willians (1962) propôs o índice base com o objetivo de evitar a interferência de imprecisões das matrizes de covariâncias fenotípicas e genotípicas na estimação dos coeficientes que constituem o índice. Desta forma, propõe-se o estabelecimento de índices mediante a combinação linear dos valores fenotípicos médios dos caracteres, os quais são ponderados diretamente pelos seus respectivos pesos econômicos, conclui o autor.

Algebricamente, tem-se:

$$I_b = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n = a' x$$

em que  $x$  e  $a$  são vetores  $n \times 1$ , cujos elementos são as médias e os pesos econômicos dos caracteres estudados, respectivamente.

### 3.4.3. Índice com Base em Soma de Postos (ou “Ranks”)

Segundo CRUZ e REGAZZI (1997), o índice proposto por Mulamba e Mock (1978) consiste em classificar os materiais genéticos em relação a cada um dos caracteres, em ordem favorável ao melhoramento. Uma vez classificados, são somadas as ordens de cada material genético referente a cada caráter, resultando em uma medida adicional tomada como índice de classificação genotípica.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Análise de Variância

### 4.2. Características Silviculturais

Os resultados das análises de variância individuais para as características de crescimento: diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (Ht) e volume com casca (Vcc) dos 18 clones avaliados aos 72 meses de idade, são apresentados no Quadro 5. Observou-se que todas as características de crescimento apresentaram efeito significativo pelo teste F, o que é um indicativo da diversidade genética entre os clones avaliados. Os coeficientes de variação experimental para DAP e Ht apresentaram valores relativamente baixos, indicando boa precisão experimental para estas características; enquanto que a característica Vcc apresentou valor de coeficiente de variação experimental com magnitude mais elevada. Entretanto, de modo geral, estes resultados obtidos para as características silviculturais estão em concordância com os comumente reportados na literatura, para *Eucalyptus*, revelando boa precisão experimental.

Quadro 5: Resumo das análises de variância para diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (Ht) e volume com casca (Vcc) dos 18 clones de *Eucalyptus urophylla* e “*E. urograndis*”, avaliados aos 72 meses de idade.

F.V.	G.L.	Quadrados Médios		
		DAP	Ht	Vcc
Blocos	2	13,5046	5,0739	0,02759
Genótipos	17	9,5198 *	25,7428 **	0,02526 **
Resíduo	34	3,7587	8,3386	0,008935
Média		17,23	26,99	0,3476
CV <sub>exp</sub> (%)		11,25	10,70	27,19

\*\* e \* - significativo em nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

#### 4.2.1. Estimativas de Parâmetros Genéticos

As estimativas dos coeficientes de determinação genotípica, ao nível de médias de parcela, para as características de crescimento, apresentaram valores semelhantes e relativamente elevados (Quadro 6), indicando que as mesmas encontram-se sob elevado controle genético, fazendo com que o desempenho da população formada por meio de propagação vegetativa dos clones superiores seja reflexo destes.

Apesar da estimativa do coeficiente de determinação genotípica ser no sentido amplo, a propagação vegetativa permite que o genótipo seja transmitido integralmente para a progênie. Assim, a discussão sobre o coeficiente de determinação genotípico à razão entre o componente quadrático associado à variabilidade genotípica e a variância fenotípica, não sendo importante, se o componente quadrático associado à variabilidade genotípica é composta em sua maior parte pelos desvios devido à dominância ou pela variância genética aditiva.

Quadro 6: Estimativas de parâmetros genéticos e componentes de variância: coeficiente de determinação genotípico em nível de média de parcela em % ( $h_m^2$ ), variância fenotípica ( $\hat{\sigma}_f^2$ ), variância ambiental ( $\hat{\sigma}^2$ ) e componente quadrático associado à variabilidade genotípica entre médias ( $\hat{\sigma}_g^2$ ) para as características diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (Ht) e volume com casca (Vcc).

Parâmetros Genéticos e Não Genéticos	DAP	Ht	Vcc
$\hat{\sigma}_f^2$	3,1733	8,5809	0,008421
$\hat{\sigma}^2$	1,2529	2,7795	0,002978
$\hat{\sigma}_g^2$	1,9204	5,8014	0,005443
$h_m^2$ (%)	60,5166	67,6081	64,6313

### 4.3. Características Tecnológicas

#### 4.3.1. Análise de Variância

Os resultados das análises de variância individuais para as características tecnológicas densidade básica (DB), comprimento de fibra (CF), largura de fibra (LF), diâmetro de lúmen (DL), espessura de parede (EP), coeficiente de flexibilidade (CoF), índice de enfiamento (IE), fração parede (FP), índice de runkel (IR), extrativos (EX), teor lignina (LI), rendimento depurado de celulose (RD) e produção de celulose (PC) dos 18 clones avaliados aos 72 meses de idade, são apresentados nos Quadros 7, 8 e 9.

Verifica-se pelos Quadros 7, 8 e 9 que, com exceção das características EP e IE, que todas as demais apresentaram efeito significativo, pelo teste F, reforçando a diversidade genética entre os clones avaliados.

XAVIER (1997), trabalhando com progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus grandis*, encontrou significância ( $P < 0,05$ ) apenas para as características DB, CF e IE, não encontrando significância para as características LF, DL, EP, IR, CoF e FP. Estas diferenças de resultados podem ser atribuídas a diferença de material genético e a estrutura genética da

população em questão, evidenciando que a importância das características pode variar entre populações.

DEMUNER e BERTOLUCCI (1993), trabalhando com híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, encontrou significância ( $P < 0,05$ ) para as características LF, DL, EP, DB, EX e LI. Entretanto, não encontrou significância apenas para a característica RD. Pode-se observar que a diferença de resultados foi menor, confirmando mais uma vez a influência do material genético nos resultados das análises.

Os coeficientes de variação experimental para todas as características tecnológicas da madeira apresentaram valores abaixo de 9, indicando boa precisão experimental. Já a característica PC apresentou valor de coeficiente de variação experimental com magnitude mais elevada, à semelhança da característica volume com casca (Vcc). Entretanto, de modo geral, estes resultados estão em concordância com os comumente reportados na literatura, para *Eucalyptus*, revelando boa precisão experimental.

Quadro 7: Resumo das análises de variância para as características densidade básica (DB), comprimento de fibra (CF), largura de fibra (LF), diâmetro de lúmen (DL) e espessura de parede (EP) dos 18 clones de *Eucalyptus urophylla* e "*Eucalyptus urograndis*", avaliados aos 72 meses de idade.

FV	GL	Quadrados Médios				
		DB	CF	LF	DL	EP
Blocos	2	0,000034	0,00012	0,06185	0,0458	0,0053
Genótipos	17	0,000839*	0,004**	2,14**	2,00**	0,0168 <sup>ns</sup>
Resíduo	34	0,000438	0,0016	0,5178	0,4325	0,0163
Média		0,5320	0,9704	16,5220	8,9115	3,8048
$CV_{exp}$		3,9351	4,0954	4,3555	7,3796	3,3552

\*\* e \* - significativo em nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.  
<sup>ns</sup> - F não significativo.

Quadro 8: Resumo das análises de variância para as características coeficiente de flexibilidade (CoF), índice de enfiamento (IE), fração parede (FP) e índice de Runkel (IR) dos 18 clones de *Eucalyptus urophylla* e "*Eucalyptus urograndis*", avaliados aos 72 meses de idade.

FV	GL	Quadrados Médios			
		CoF	IE	FP	IR
Blocos	2	0,4460	0,000006	0,4460	0,00067
Genótipos	17	14,7173**	0,000017 <sup>ns</sup>	14,72**	0,017**
Resíduo	34	3,9639	0,000012	3,9639	0,0050
Média		53,80	0,0594	53,8002	0,8630
$CV_{exp}$		3,7006	5,7700	3,7006	8,1964

\*\* significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F e <sup>ns</sup> - F não significativo

Quadro 9 Resumo das análises de variância para as características extrativos (EX), teor de lignina (LI), rendimento depurado de celulose (RD) e produção de celulose (PC) dos 18 clones de *Eucalyptus urophylla* e "*Eucalyptus urograndis*", avaliados aos 72 meses de idade.

FV	GL	Quadrados Médios			
		EX	LI	RD	PC
Blocos	2	0,3428	0,5327	2,6943	1963,61
Genótipos	17	0,636**	21,89**	20,32**	1584,06*
Resíduo	34	0,2462	3,0178	5,4014	675,01
Média		5,7843	31,43	47,16	
$CV_{exp}$ (%)		8,5779	5,5271	4,9281	

\*\* e \* - significativo em nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

#### 4.3.2. Estimativas dos Parâmetros Genéticos

As estimativas do coeficiente de determinação genotípico ( $h_m^2$ ), ao nível de médias de parcelas, para as características tecnológicas da madeira apresentaram valores de magnitude moderada a alta, indicando que as mesmas encontram-se sob controle genético (Quadros 10 e 11). Assim, como

para as características silviculturais, a discussão em relação ao coeficiente de determinação genotípico para as características tecnológicas da madeira pode ser feita ao nível de variação genotípica, pois toda a constituição genotípica de um clone será transmitida a população clonal.

Quadro 10: Estimativas dos coeficientes de determinação genotípico ( $h_m^2$ ) e componentes de variância para as características densidade básica (DB), comprimento de fibra (CF), largura de fibra (LF), diâmetro de lúmen (DL) e coeficiente de flexibilidade (CoF) dos 18 clones de *Eucalyptus urophylla* e "*Eucalyptus urograndis*", avaliados aos 72 meses de idade.

Parâmetros Genéticos e Não Genéticos	DB	CF	LF	DL	CoF
$\hat{\sigma}_f^2$	0,0003	0,0013	0,7145	0,6680	4,9058
$\hat{\sigma}^2$	0,0002	0,0005	0,1726	0,1442	1,3213
$\hat{\Phi}_g$	0,0001	0,0008	0,5418	0,5238	3,5845
$h_m^2$ (%)	47,79	59,34	75,84	78,42	73,07

Quadro 11: Estimativas dos coeficientes de determinação genotípico ( $h_m^2$ ) e componentes de variância para as características fração parede (FP), índice de Runkel (IR), extrativos (EX), teor de lignina (LI), rendimento depurado de celulose (RD) e produção de celulose (PC), dos 18 clones de *Eucalyptus urophylla* e "*Eucalyptus urograndis*", avaliados aos 72 meses de idade.

Parâm. Genéticos e Não Genéticos	FP	IR	EX	LI	RD	PC
$\hat{\sigma}_f^2$	4,9058	0,0056	0,21	7,2960	6,77	528
$\hat{\sigma}^2$	1,3213	0,0017	0,08	1,0060	1,80	225
$\hat{\Phi}_g$	3,5845	0,0039	0,13	6,2900	4,97	303
$h_m^2$ (%)	73,06	70,04	61,30	86,21	73,4	57,39

### 4.3.3. Teste de Médias (Tukey)

Conforme foi apresentado no item material e métodos, foi realizado o estudo das médias com a característica produção de celulose (PC) e com as características que determinam PC, ou seja, DB, RD e Vcc. Este estudo foi realizado com o intuito de verificar a necessidade de se proceder a avaliação indireta da característica produção de celulose. A avaliação indireta será considerada necessária, se houver diferença acentuada na classificação dos clones, por meio do teste de médias, com base em PC em relação a classificação dos clones com base nas características que determinam PC.

Pode-se observar pelo teste de Tukey (Quadro 12), que os clones com as maiores médias para as características DB, RD e Vcc, não são os mesmos; e também se diferem dos clones com as maiores médias para PC (Quadro 12). Estes resultados indicam que os clones com as maiores médias em produção de celulose (PC), são resultado de uma combinação favorável entre DB, RD e Vcc, sem que necessariamente as médias de DB, RD e Vcc sejam as maiores simultaneamente. Alguns exemplos podem ser citados para comprovar esta constatação. O clone 5, apresentou a maior produção de celulose (PC) devido, exclusivamente, a produção volumétrica muito superior aos demais clones, pois as médias para DB e RD foram inferiores em relação a maioria dos 18 clones. O clone 7, apresentou a terceira maior produção de celulose, devido em grande parte, ao elevado rendimento depurado de celulose (RD), pois a DB e o Vcc foram apenas a sétima e a quinta maiores médias, respectivamente. Outro bom exemplo é o clone 9, que apesar de apresentar as maiores médias para DB e RD, apresentou apenas a quinta maior produção de celulose, devido a baixa produção volumétrica.

Quadro 12: Teste de Médias (Tukey) entre os 18 clones para as características densidade básica (DB), rendimento depurado de celulose (RD), volume com casca (Vcc) e produção de celulose (PC).

DB (kg/m <sup>3</sup> )			RD (%)			Vcc (m <sup>3</sup> )			PC (Kg)		
Clones	Médias	*	Clones	Médias	*	Clones	Médias	*	Clones	Médias	*
9	566,70	a	9	50,1500	a	5	0,6021	a	5	140,7493	a
14	551,30	ab	7	50,0967	ab	8	0,4324	ab	8	114,4202	ab
10	548,30	ab	17	49,7833	ab	12	0,4055	ab	7	107,0012	ab
12	546,00	ab	2	49,3167	ab	16	0,4003	ab	12	103,9970	ab
1	544,70	ab	16	49,2750	ab	7	0,3988	ab	9	103,5920	ab
11	544,00	ab	18	49,2600	ab	4	0,3766	ab	16	102,6620	ab
7	537,00	ab	8	49,0000	ab	10	0,3712	ab	10	94,3813	ab
8	536,00	ab	1	48,3100	ab	9	0,3638	ab	18	86,6963	ab
13	531,70	ab	3	47,5600	abc	14	0,3362	ab	14	85,6982	ab
6	529,00	ab	12	46,8100	abc	18	0,3344	ab	17	84,3460	ab
2	527,70	ab	10	46,4000	abc	17	0,3261	ab	2	83,1539	ab
18	526,00	ab	11	46,3700	abc	13	0,3182	ab	4	82,5821	ab
15	522,00	ab	5	46,2967	abc	2	0,3059	b	13	75,9618	ab
4	521,00	ab	14	46,2667	abc	6	0,3008	b	11	73,1697	ab
17	520,00	ab	15	45,6000	abc	11	0,2898	b	1	69,1533	ab
16	519,30	ab	13	44,8900	abc	15	0,2875	b	15	68,4487	ab
5	506,30	ab	6	43,0000	bc	1	0,2619	b	6	68,4200	ab
3	498,70	b	4	40,4867	c	3	0,1452	b	3	34,8736	b

\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Apesar da avaliação utilizando DB, Vcc e RD fornecer uma avaliação mais precisa em PC, esta acarreta os mesmos custos e tempo de análise do que quando a avaliação é realizada diretamente em PC. Pois, para se obter o RD, tem-se que realizar o cozimento da madeira. Sendo assim, foram determinadas, por meio do estudo das correlações e diagnóstico de multicolinearidade, as características tecnológicas importantes para a produção de celulose que poderiam substituir o RD na avaliação indireta em PC.

#### 4.3.4. Correlações

As estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica, de ambiente e genotípica estão apresentados no Quadro 13. Verifica-se que, de modo geral,

houve concordância de sinais entre as estimativas das correlações fenotípicas e genotípicas. Em relação às magnitudes, observou-se uma forte tendência das correlações genotípicas superarem as fenotípicas, indicando que os componentes genotípicos têm maior influência na determinação das correlações que os de ambiente.

As correlações ambientais apresentaram, em relação as genotípicas, diferenças de magnitude. Entretanto, houve boa concordância de sinais. Este fato indica que há possibilidade de avaliação indireta, baseada nas correlações genotípicas, pois a ação do ambiente sobre as variáveis envolvidas não é diferencial, ou seja, todas as variáveis respondem de forma semelhante, sendo favorecidas ou desfavorecidas pela ação ambiental.

Os caracteres tecnológicos FP, CoF e IR são características redundantes, pois são derivadas da combinação de outras. A FP é função da EP e LF, o CoF é função do DL e LF, o IR é função da EP e DL. Tais características são importantes para a avaliação da produção e qualidade da celulose, mas para estudos genéticos, em que várias características são consideradas simultaneamente, devem ser evitadas, pois produzem altas correlações (Quadro 13) que irão prejudicar os resultados e as interpretações das análises. Sendo assim, tais características foram, a priori, excluídas do estudo de correlações e, conseqüentemente, da avaliação indireta em produção de celulose (PC). Entretanto, caracteres que não foram calculados com base em outros, podem apresentar dependência linear e causar os mesmos problemas em estudos genéticos, em que várias características são consideradas simultaneamente. Neste caso, esta dependência pode ser avaliada pelo diagnóstico de multicolinearidade.

A característica tecnológica EP e IE também foi descartada, pois as mesmas não apresentaram variabilidade genética (Quadros 7 e 8), não causando variação sobre outras características e conseqüentemente, sobre PC.

De modo geral, houve elevada correlação genotípica entre as características de fibras (LF, CF e DL) e as características derivadas destas (FP, CoF e IR). Tais resultados já eram previstos, visto que, tais características são interdependentes, este fato indica que as mesmas podem estar explicando a mesma variação sobre as demais características. Tal constatação pode ser

verificada através do diagnóstico de multicolinearidade, que será apresentada mais adiante.

A característica teor de extrativos (EX), apresentou elevada correlação genotípica com diâmetro de lúmem, resultado este também esperado, pois EX é de origem intracelular. E o teor de lignina (LI), não apresentou correlação acima de 0,50 com nenhuma característica.

QUADRO 13: Estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica ( $r_f$ ), de ambiente ( $r_e$ ) e genotípica ( $r_g$ ) entre as características tecnológicas dos 18 clones de *Eucalyptus urophylla* e “*Eucalyptus urograndis*”.

		LF	DL	EP	CoF	IF	FP	IR	EX	LI
CF	$r_F$	0,68	0,72	-0,4	0,73	-0,20	-0,73	-0,73	0,24	0,31
	$r_E$	0,01	0,12	-0,29	0,24	0,56	-0,24	-0,24	0,13	-0,09
	$r_G$	0,99	0,99	0,95	0,99	-0,99	-0,99	-0,99	0,32	0,47
LF	$r_F$		0,98	0,27	0,92	-0,65	-0,92	-0,93	0,50	0,31
	$r_E$		0,94	0,41	0,70	-0,51	-0,70	-0,71	-0,29	-0,21
	$r_G$		0,99	0,45	0,99	-0,93	-0,99	-0,99	-0,86	0,43
DL	$r_F$			0,10	0,98	-0,58	-0,98	-0,98	0,48	0,31
	$r_E$			0,06	0,91	-0,43	-0,91	0,90	-0,24	-0,18
	$r_G$			0,42	0,99	-0,87	-0,99	-0,99	0,80	0,42
EP	$r_F$				-0,11	-0,50	0,11	0,10	0,21	0,04
	$r_E$				-0,35	-0,36	0,35	0,33	-0,20	-0,11
	$r_G$				0,41	-0,99	-0,41	-0,47	0,99	0,44
CoF	$r_F$					-0,49	-1	-0,99	0,4	0,30
	$r_E$					-0,27	-1	-0,99	-0,14	-0,17
	$r_G$					-0,80	-1	-0,99	0,72	0,42
IF	$r_F$						0,49	0,50	-0,43	-0,25
	$r_E$						0,27	0,29	0,41	0,16
	$r_G$						0,80	0,82	-0,99	-0,60
FP	$r_F$							0,99	-0,43	-0,30
	$r_E$							0,99	0,14	0,17
	$r_G$							0,99	-0,72	-0,42
IR	$r_F$								-0,43	-0,30
	$r_E$								0,15	0,21
	$r_G$								-0,73	-0,44
EX	$r_F$									0,14
	$r_E$									0,06
	$r_G$									0,17

#### 4.3.5. Diagnóstico de Multicolinearidade

A técnica de diagnóstico de dependência linear ou multicolinearidade na matriz de correlação genotípica, dependência essa que pode levar à formação de matrizes singulares, permite, identificar características redundantes ou de pouca importância e que não são facilmente identificadas como as anteriormente citadas. Para o possível descarte destas características foram considerados a análise descritiva das correlações, os fatores de inflação da variância e as magnitude dos autovalores e autovetores.

A análise descritiva da matriz de correlação genotípica baseou-se nas seguintes características tecnológicas: CF, LF, DL, EX e LI. Logo, a matriz de correlação genotípica entre as características citadas, bem como o resultado da análise descritiva, são apresentados nos quadros 14 e 15, respectivamente.

Quadro 14: Correlações genotípicas entre as características compr. fibra (CF), larg. fibra (LF), diâm. lúmem (DL), extrativos (EX) e teor de lignina (LI).

	LF	DL	EX	LI
CF	1,0155	0,9969	0,3166	0,4692
LF		0,9995	0,8644	0,4302
DL			0,7952	0,4185
EX				0,1686

Quadro 15: Análise descritiva da matriz de correlações genotípicas entre as características comprimento de fibra (CF), largura de fibra (LF), diâmetro de lúmem (DL), extrativos e teor de lignina (LI).

---

Número de correlações pesquisadas	10	
Maior correlação	1,0155	Variáveis CF e LF
Menor correlação	0,1686	Variáveis EX e LI
Número de correlações $\geq$ abs (0,80)	4	

---

Pode-se observar que das 10 correlações obtidas, 4 apresentaram valores acima de 0,80, que é indicativo da presença de multicolinearidade na matriz de correlação. O maior valor de correlação foi superior à unidade

(1,0155), dado pelas características CF e LF. Isto ocorre porque a estimativa dos coeficientes de correlação genotípica é baseada em componentes de variância, que por sua vez também são estimativas e sujeitas a erros. Cabe ressaltar que estes altos valores de correlação apenas indicam a presença de multicolinearidade, mas nada dizem a respeito de sua magnitude e nem quais variáveis determinam esta dependência linear.

Os fatores de inflação da variância (VIF) são apresentados no Quadro 16. Conforme NETER et al. (1983), se qualquer um dos VIF's assume valor absoluto maior do que dez, é possível que os coeficientes de regressão associados a esses valores tenham estimativas de mínimos quadrados demasiadamente influenciados pela multicolinearidade.

Quadro 16: Análise dos fatores de inflação da variância

Diagonal	Elemento da inversa
1	3,1204
2	138,2348
3	197,6339
4	0,2149
5	1,3040
Número de VIF's $\geq$ abs(10)	2

No quadro 16, pode-se verificar que apenas dois VIF's superaram o valor absoluto de 10, mas sendo suficiente para acusar multicolinearidade. Como tais valores estão associados as características comprimento de fibra (CF) e diâmetro de lúmen (DL), pode-se deduzir que estas características estão causando multicolinearidade na matriz de correlação genotípica. Como foi verificado que há evidências de multicolinearidade, procedeu-se à análise dos autovalores da matriz de correlação genotípica, com o intuito de determinar o grau de multicolinearidade. Por esta análise, pode-se calcular o número de condição (NC). Como relatado no item material e métodos, segundo MONTGOMERY e PECK (1981), o número de condição consiste na razão entre o maior e o menor autovalor da matriz. De acordo com os autores,  $NC < 100$ , a multicolinearidade não consiste em problema sério, podendo ser

considerada fraca. Se estiver entre 100 e 1000 ( $100 < NC < 1000$ ), a multicolinearidade é considerada de moderada a forte, e se  $NC > 1000$  constitui indício de multicolinearidade severa.

No quadro 17, é apresentado o resultado da análise dos autovalores da matriz de correlação genotípica.

Quadro 17: Análise dos autovalores da matriz de correlação genotípica entre as características comprimento de fibra (CF), largura de fibra (LF), diâmetro de lúmen (DL), extrativos e teor de lignina (LI).

Ordem	Autovalores
1	3,7431
2	0,9207
3	0,5611
4	0,0029
5	0,2278
Número de condição	1300,4958
Colinearidade	Severa
Determinante da Matriz	-0,001268

Pode-se observar que o menor autovalor foi 0,0029 e o maior autovalor 3,7431, resultando em um número de condição de 1300,4958. Sendo assim, a multicolinearidade da matriz de correlação genotípicas, segundo critério de MONTGOMERY e PECK (1981), foi severa. Além destas análises, outra informação interessante é o valor do determinante da matriz de correlação genotípica. Sendo esta uma matriz de correlação, seu determinante pode variar de -1 a 1. Se for igual a 1 ou -1, as variáveis são ortogonais, ou seja, independentes. Valores próximos de zero indicam a existência de multicolinearidade ou dependência linear. No caso da matriz em estudo, o determinante foi de -0,001268, indicando que realmente há evidência que a matriz de correlação genotípica apresenta multicolinearidade.

Existem duas formas para solucionar o problema da dependência linear, uma forma é descartar a variável que está supostamente causando a dependência linear e a outra é trabalhar com os dados na presença de multicolinearidade, utilizando métodos alternativos ao de mínimos quadrados

na estimação de coeficientes de regressão (FERRARI, 1989). Dentre os métodos alternativos, destacam-se a regressão em componentes principais e a regressão em cristas ou em cumeeira (CARVALHO, 1995).

A decisão entre o descarte e o uso de métodos alternativos, poder ser baseada na importância das características problemáticas, que no caso são os caracteres comprimento de fibra (CF) e diâmetro de lúmen (DL). Para tal, foi realizado o estudo dos autovetores da matriz de correlações genóticas para determinar a importância relativa das características em questão.

Quadro 18: Autovetores da matriz de correlação genótica entre as características comprimento de fibra (CF), largura de fibra (LF), diâmetro de lúmen (DL), extrativos e teor de lignina (LI).

CF	LF	DL	EX	LI
0,4757	0,5300	0,5196	0,3890	0,2676
0,2547	-0,1126	-0,0844	-0,5727	0,7663
-0,5652	-0,0703	-0,1332	0,5631	0,5837
-0,1093	-0,6387	0,7613	-0,0206	0,0109
-0,6144	0,5418	0,3544	-0,4507	-0,0140

No Quadro 18 pode-se observar que a característica comprimento de fibra (CF) apresentou o maior elemento nos últimos autovetores, conferindo a esta característica pouca importância em relação as demais. Sendo assim, a característica que provoca dependência é o caráter CF, sendo, portanto, recomendável o seu descarte.

Os quatro procedimentos do diagnóstico de multicolinearidade foram repetidos na ausência da variável CF, revelando que a matriz de correlações genóticas não mais apresentava sérios problemas de dependência linear.

É importante ressaltar que a característica LF é o resultado da soma das características DL e EP, como EP não apresentou variabilidade genética, a LF é praticamente a soma do DL mais uma constante. Sendo assim, esta característica também pode ser descartada em virtude da invariância de EP. A escolha pelo descarte de LF e não de DL, é devido ao fato desta última apresentar maior importância relativa na análise dos autovetores quando as características foram avaliadas na ausência de CF.

Desta forma, as características DL, EX e LI, podem ser analisadas conjuntamente, conferindo resultados confiáveis, no objetivo de substituírem a característica RD na avaliação indireta em produção de celulose (PC).

#### **4.4. Avaliação de Combinações Lineares de Caracteres para Avaliação Indireta da Característica Produção de Celulose (PC)**

##### **4.4.1. Índices de Classificação Genotípica**

Foram considerados para a avaliação indireta da característica produção de celulose (PC) o índice Clássico de SMITH (1936) e HAZEL (1943), o índice Base (WILLIAMS, 1962) e o índice com base em Soma de Postos ou “Ranks” (MULAMBA e MOCK, 1978), todos citados por CRUZ e REGAZZI (1997).

Foram utilizados os coeficientes de variação genotípico como pesos econômicos, para se obter os índices na avaliação indireta dos clones. Como um dos interesses é a redução do teor de lignina (LI) e extrativos (EX), pois elevam a quantidade de reagentes necessários para a deslignificação da madeira e conseqüentemente o custo de produção, foram utilizados os coeficientes de variação genotípica com sinais negativos para estas características, nos índices de Smith e Hazel e Base. Pelo mesmo motivo, no índice com base na Soma de Ranks foi utilizado o critério de seleção inferior para as características EX e LI e superior para as demais.

No Quadro 19 é apresentada a classificação dos clones, obtidos por meio da avaliação indireta da produção de celulose (PC) com o auxílio dos seguintes índices de classificação genotípica: índice de Smith e Hazel, índice Base e índice com base na Soma de Ranks. Sendo estes compostos pelas características densidade básica (DB), diâmetro de lúmen (DL), extrativos (EX), teor de lignina (LI) e volume com casca (Vcc).

Quadro 19: Avaliação indireta da característica produção de celulose (PC), por meio de índices de classificação genotípico.

Índice de Smith e Hazel		Índice Base		Índice com Base na Soma de Ranks	
Clones	Médias (PC)	Clones	Médias (PC)	Clones	Médias (PC)
16	102,6620	16	102,6620	16	102,6620
17	84,3460	17	84,3460	5	140,7493
18	86,6963	4	82,5821	12	103,9970
4	82,5821	18	86,6963	10	94,3813
13	75,9618	13	75,9618	7	107,0012
5	140,7493	5	140,7493	4	82,5821
11	73,1697	11	73,1697	8	114,4202
12	103,9970	12	103,9970	9	103,5920
14	85,6982	10	94,3813	17	84,3460
9	103,5920	14	85,6982	13	75,9618
8	114,4202	9	103,5920	14	85,6982
10	94,3813	6	68,4200	18	86,6963
6	68,4200	7	107,0012	6	68,4200
3	34,8736	8	114,4202	11	73,1697
7	107,0012	3	34,8736	2	83,1539
15	68,4487	2	83,1539	15	68,4487
2	83,1539	15	68,4487	3	34,8736
1	69,1533	1	69,1533	1	69,1533

Pode-se observar no Quadro 19, que a classificação dos clones utilizando o índice de Smith e Hazel e o índice Base apresentaram resultados bastante similares e estes diferindo de forma mais pronunciada dos resultados obtidos pelo índice com base na Soma de Ranks. Entretanto, o clone que apresentou o maior valor na combinação linear entre as características DB, DL, EX, LI e Vcc, foi o mesmo para os três índices utilizados neste estudo, indicando haver concordância entre as metodologias utilizadas pelos índices para a obtenção de clones com elevados valores para DB, DL e Vcc e baixos valores para EX e LI.

Entretanto, o clone com o maior valor na combinação linear entre as características utilizadas nos índices (clone 16), diferiu do clone com a maior média em produção de celulose (clone 5). Esta diferença ocorre devido ao fato da classificação direta em produção de celulose (PC), não levar em consideração características como EX e LI, ou seja, a classificação é realizada com base apenas na média de PC, não levando em consideração se o clone com a maior média em PC apresenta elevado teor de lignina e extrativos,

podendo ocasionar nestes casos, elevado custo de produção, devido ao alto consumo de reagentes. Sendo assim, é apresentado no Quadro 20, a classificação dos índices para as médias das características DB, DL, EX, LI e Vcc, no intuito de verificar se os clones classificados pelos índices apresentam valores desejáveis, para estas características, que compensem a menor produtividade em relação aos clones classificados diretamente com base em PC.

Quadro 20: Médias das características utilizadas nos índices de classificação genotípica.

Clone	Índice de Smith e Hazel Índice					Clone	Índice de Soma de Ranks				
	DB	DL	EX	LI	Vcc		DB	DL	EX	LI	Vcc
16	0,52	8,52	5,50	25,20	0,40	16	0,52	8,52	5,50	25,20	0,40
17	0,52	8,27	5,50	26,09	0,33	5	0,51	9,94	6,06	32,27	0,60
18	0,53	7,96	5,84	28,69	0,33	12	0,55	8,97	6,17	31,04	0,41
4	0,52	10,41	6,35	30,40	0,38	10	0,55	10,29	5,59	32,93	0,37
13	0,53	8,72	5,80	30,33	0,32	7	0,54	9,19	5,50	33,67	0,40
5	0,51	9,94	6,06	32,27	0,60	4	0,52	10,41	6,35	30,40	0,38
11	0,54	8,49	5,89	30,18	0,29	8	0,54	8,21	5,77	32,95	0,43
12	0,55	8,97	6,17	31,04	0,41	9	0,57	8,20	4,96	31,61	0,36
14	0,55	8,24	5,96	30,66	0,34	17	0,52	8,27	5,50	26,09	0,33
9	0,57	8,20	4,96	31,61	0,36	13	0,53	8,72	5,80	30,33	0,32
8	0,54	8,21	5,77	32,95	0,43	14	0,55	8,24	5,96	30,66	0,34
10	0,55	10,29	5,59	32,93	0,37	18	0,53	7,96	5,84	28,69	0,33
6	0,53	8,56	4,88	32,85	0,30	6	0,53	8,56	4,88	32,85	0,30
3	0,50	10,06	6,75	33,44	0,15	11	0,54	8,49	5,89	30,18	0,29
7	0,54	9,19	5,50	33,67	0,40	2	0,53	9,77	5,98	34,82	0,31
15	0,52	8,23	5,44	34,02	0,29	15	0,52	8,23	5,44	34,02	0,29
2	0,53	9,77	5,98	34,82	0,31	3	0,50	10,06	6,75	33,44	0,15
1	0,54	8,37	6,17	34,60	0,26	1	0,54	8,37	6,17	34,60	0,26
Média	0,53	8,91	5,78	31,43	0,35	Média	0,53	8,91	5,78	31,43	0,35

No Quadro 20, o índice Base não está presente devido a este índice apresentar resultados muito semelhantes ao índice de Smith e Hazel.

Pode-se observar no Quadro 20, que o clone com o maior valor da combinação linear das características DB, DL, EX, LI e Vcc (clone 16), obtido tanto pelo índice de Smith e Hazel como pelo índice de Soma de Ranks, apresentou valores de teor de lignina (LI) e de extrativos (EX) abaixo da média dos 18 clones, com destaque para o teor de lignina (LI), que apresentou a

menor média dentre os 18 clones. Além disso, apresentou Vcc acima da média e com valores de DB e DL, apesar de abaixo da média, próximos da mesma.

Também no Quadro 20, observa-se que o clone de maior média para PC (clone 5), apresentou valores de LI, EX, Vcc e DL acima da média e com valor de DB, apesar de abaixo da média, próximo da mesma.

O ideal seria que o clone que apresentasse a maior produção de celulose, também apresentasse elevados valores para DB, DL e Vcc e baixos valores para EX e LI. Pois obteria-se clones com elevada produtividade de polpa celulósica a um baixo custo de produção. Como este fato na maioria das vezes não ocorre, a avaliação direta e indireta irá indicar, na maioria dos casos, diferentes clones como sendo superiores, para um mesmo conjunto de genótipos. Com isso, a escolha entre a avaliação direta e a indireta da produção de celulose (PC), vai depender se o menor custo de produção, proveniente do menor gasto de reagentes, devido ao menor teor de lignina (LI) e Extrativos (EX) encontrado na avaliação indireta, for mais compensador do que a maior produção de celulose encontrada na avaliação direta.

Sendo assim, é recomendado as empresas produtoras de celulose, que realizem este tipo de análise, para que se possa determinar de forma mais eficiente, o ponto ótimo entre a produção de celulose e o custo de produção que cada clone apresenta. De forma a determinar qual clone irá promover o maior lucro final, que muitas vezes não é o que apresenta a maior produção de celulose.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados indicaram que todas as características silviculturais e tecnológicas apresentaram variabilidade genética, com exceção das características EP e IE.

Em programas de melhoramento, em que várias características são consideradas simultaneamente para a classificação dos melhores genótipos, deve-se evitar características que são função direta de outras, por causar dependência linear na matriz de correlações genotípicas.

A avaliação direta e indireta dos clones em relação a característica produção de celulose, não proporcionaram a mesma classificação dos clones. Os melhores clones, segundo a avaliação indireta, apresentaram PC acima da média dos genótipos avaliados e LI e EX abaixo da média. Enquanto que os melhores clones, segundo a avaliação direta, apresentaram PC, LI e EX acima da média dos genótipos avaliados. Sendo que PC dos melhores clones na avaliação direta foi superior aos melhores clones na avaliação indireta.

Em virtude dos resultados obtidos, deve-se realizar estudos de custo x benefício, com base nas características utilizadas na avaliação indireta e determinar o ponto ótimo entre a maior produtividade encontrada na avaliação direta e os menores teores de lignina e extrativos encontradas na avaliação indireta.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, J. **Características de Crescimento e Qualidade da Madeira de Progênies de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.** Viçosa, UFV, 1993. 63 p. (Tese de Mestrado).
- ALMEIDA, J. M. e SILVA, D. J. Inclusão de um novo e importante parâmetro potencial de seleção de Eucalipto para produção de polpa Kraft. **Anais da Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos.** 24 – 29 de Agosto. Salvador - BA, Brasil. 1997. p. 228 – 233.
- BORÉM, A. Melhoramento de Plantas. **Editora UFV.** Viçosa-MG, 1997, 547 p.
- BORGES, R. C. G.; BRUNE, A.; SILVA, J. C.; REGAZZI, A. J. Estimativas de parâmetros genéticos em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, v. 4, n. 2, p. 134 – 45, 1980.
- BROOKER, M. I. H. e KLEINING, D. A. **Field guide to eucalypts Melbourne and Sydney.** Vol. I e II. (1990).
- CARVALHO, S. P. **Métodos alternativos de estimação de coeficientes de trilha e índices de seleção, sob multicolinearidade.** Viçosa, MG: UFV, 1995. 163 p. Dissertação. (Doutorado em Genética e Melhoramento), Universidade Federal de Viçosa.
- COTTERILL, P. e MACRAE, S. Improving *Eucalyptus* Pulp and Paper Quality Using Genetic Selection and Good Organization. **Tappi Journal**, June 1997. vol. 80, Nº 6, 82-89.
- CRUZ, C. D. **Programa GENES – aplicativo computacional em genética e estatístico.** Viçosa, MG: UFV, 1997. 442 p.

- CRUZ, C. D. e REGAZZI, A. J. **Modelos Biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 390 p., 1997.
- DEMUNER, B. J. e BERTOLUCCI, F. L. G. Seleção Florestal: Uma Nova Abordagem a Partir de Estimativas de Parâmetros Genéticos e Fenotípicos para Características da madeira e Polpa de Eucalipto. **26 ° Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP**, São Paulo – SP – Brasil, 22 a 26 novembro de 1993.
- ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARDWOOD, C.; VAN WYK, G. **Eucalypts domestication and breeding**. Oxford: Claderon Press, 1993. 288 p.
- ENGLERTH, G. H. Framework of qualitative relationships in wood utilization. 1° ed. Madison, **Forest Products Laboratory**; FPL 45, 1966. 1 v. 16 p.
- FALCONER, D. S. **Introdução à Genética Quantitativa**. Trad. e Martinho de Almeida e Silva e José Carlos Silva. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1987. 297 p.
- FERREIRA, M. E. Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal. Piracicaba: **IPEF**, v. 45, p. 22– 30, 1992.
- FOELKEL, C.; MORA, E. e MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. IN: **6° CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO**, 1990, CAMPOS DE JORDÃO. ANAIS, p. 719 a 728.
- FOELKEL, C. Qualidade da madeira de eucalipto para atendimento das exigências do mercado de celulose e papel. **ANAIS DA CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTO**, SALVADOR-BRASIL, 24 a 29 DE AGOSTO, 1997. p. 15-22.
- FONSECA, S. M.; OLIVEIRA, R. C. e SILVEIRA, P. N. Seleção da Árvore Industrial. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 20, n. 1, p. 69-85, 1996.
- GARCIA, S. L. R. **Importância de características de crescimento, de qualidade da madeira e da polpa na diversidade genética de clones de eucalipto**. Universidade federal de Viçosa. 1998, 47p. Tese MS.
- GARLET, V. N. **Influência do espaçamento de árvores de *Eucalyptus grandis* na qualidade da madeira para produção de polpa celulósica kraft**, Viçosa, UFV, 1994. 80 p. (Tese de Mestrado).
- GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Nobel. 11° ed. 1985, 466 p.
- GOMIDE, J. L. Utilização da madeira de eucalipto para produção de celulose e papel. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 186, 1997.

- GOUVÊA, C. F.; MORI, E. S.; BRASIL, M. A. M.; VALLE, C. F. e BONINE, C. A. V. Seleção fenotípico por padrão de proporção de casca rugosa persistente em árvores de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, visando formação de população base de melhoramento genético: qualidade da madeira. **Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos**. 1997.
- KAGEYAMA, P. Y. **Varição genética em progênie de um população de *Eucalyptus grandis*** (Hill) Maiden. ESALQ/USP, Piracicaba. 125p. (Tese de doutorado), 1980.
- KAGEYAMA, P. Y. **Seleção precoce a diferentes idades em progênies jovens de *Eucalyptus grandis*** w. Hill ex Maiden. Piracicaba: ESALQ, 1983. 147 p. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz. 1983.
- KEMPTHORME, O. **An introduction to the genetic statistics**. New York, John Willey, 1966. 545 p.
- MALAN, F. S. The wood properties and qualities of three south africa grown eucalypt hybrids. **South African Forestry Journal**, n° 167, December, 1993, p. 35-44.
- MALAN, F. S. Variation, association and inheritance of juvenile wood properties of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden with special reference to the effect of rate of growth. **South African Forestry Journal**, N° 157, June, 1991, 16-23.
- MALAN, F. S. Wood density variation in four trees of south african grown *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden). **South African Forestry Journal**, N° 144, March 1988, 36-42.
- MARTIN, B. e C. COSSALTER. Les *Eucalyptus* des Iles de la Sonde. **Bois et Foêst des tropiques**, Nogent-sur-Marne (163) : 3-25, set./out. (163): 3-14, nov./dez. 1975.
- MITCHELL, H. L. Development of an adequate concept of wood quality for the guidance of geneticists and forest managers. In: **Fifth World Forestry Congress**, Seatle, 1960. Proceedings. Seatle, 1960, p. 1341-1348.
- NETER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M. W. **Applied linear regression models**. Homewood, Richard D. Irwin, 1983. 547 p.
- PANSHIN, A. J. & de ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4° ed., New York, Mcgraw-Hill, 1980. 1° v. 722 p.
- PÁSZTOR, Y. P. C. et al. Teste internacional de procedências de *Eucalyptus urophylla*. **Revista Florestal**, 2(2): 207 – 214, 1990.

- PINTO JR., J. E. 1984. **Variabilidade genética em progênes de uma população de *Eucalyptus urophylla* S. T. BLAKE da ilha de flores - Indonésia.** ESALQ/USP, Piracicaba, SP, 165p. (Tese de Mestrado).
- PIRES, I. E., 1984. **Variabilidade genética de uma população de algaroba, *Prosopis juliflora* (S. W.) SC. - na região de sociedade – Paraíba.** ESALQ/USP, Piracicaba, 87p. (Tese de Mestrado).
- PIRES, I. E. & PAULA, R. C. Estado da arte do melhoramento genético para qualidade da madeira de eucalipto: uma revisão. **Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos.** 186-191p, 1997.
- PRYOR, L. D.; WILLIAMS, E. R. e GUNN, B. V. A morphometric analysis of *Eucalyptus urophylla* and related taxa with descriptions of two new species. **Australian Systematic Botany.** 8(1) 57-70. Canberra, Australia. (1995).
- PRYOR, L. D.; JOHNSON, L. A. S. **A classification of eucalypts.** Camberra: ANU, 1971. 102 p.
- RAYMOND, C. A.; BANHAM, P. e MacDONALD, A. C. Within tree variation and genetic control of basic density, fibre length and coarseness in *Eucalyptus regnans* in Tasmania. **Appita-Journal.** July 1998, 51: 4, 299-305.
- RAYMOND, C. A.; MUNERI, A. e MacDONALD, A. C. Non-destructive sampling for basic density in *Eucalyptus globulus* and *E. nitens*. **Appita-Journal.** 1998a, 51: 3, 224-228.
- SANTOS, P. E. T. et al. Potencial para programas de melhoramento, estimativas de parâmetros genéticos, interação genótipo x locais em populações de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake; **IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – Piracicaba – MG; (43/44), 1990.**
- SMITH, D. Maximum moisture content method for determining specific density of small wood samples. USDA/FPL **Report Madison**, n. 2014, p. 1-8, 1954.
- TEIXEIRA, M. L.; VARGAS FILHO, R. Estudo da variabilidade da madeira de *E. grandis* ao longo do tronco e sua influência nas características do carvão vegetal. **Ciência e Prática**, Lavras, V. 18, n. 1, p. 90-98, jan./mar. 1994.
- TRUGILHO, P. F.; REGAZZI, A. J.; VITAL, B. R. & GOMIDE, J. L. Aplicação de algumas técnicas multivariadas na avaliação da qualidade da madeira de eucalyptus e seleção de genótipos superiores para produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 21, N° 1, 113-130 p., 1997.
- WRIGHT, J. A. Impact of wood quality assessments on future fibre resources in the pulp and paper-marking industry. **South African Forestry Company Ltd**, Pretoria, N° 157, June 1991.

XAVIER, A.; BORGES, R. C. G.; CRUZ, C. D. & CECON, P. R. Aplicação da análise da divergência genética no melhoramento de *Eucalyptus* spp. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 20, N° 4, 495 – 505 p., 1996.

XAVIER, A.; BORGES, R. C. G.; CRUZ, C. D. & CECON, P. R. Parâmetros genéticos de características de qualidade da madeira em *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 21, N° 1, 71-78 p., 1997.

ZOBEL, B. & BUIJTENEN, J. P. Genetics of wood production. 1° ed. New York, **Springer-Verlag**, 1995. 337 p.

ZOBEL, B. J. Breeding for wood properties in forest trees. **World Consultation Forest Genetics Tree Improvement Stockholm**, Sweden, 31 p. 1963.

ZOBEL, B.; CAMPINHOS, E. Jr. E IKEMORI, Y. Selecting and breeding for desirable wood. **Tappi Journal**, January 1983, vol. 66, N° 1. 70-74.