

JOSÉ ALFREDO STURION

VARIAÇÃO GENÉTICA DE CARACTERÍSTICAS DE
CRESCIMENTO E DE QUALIDADE DA MADEIRA
EM PROGÊNIES DE *Eucalyptus viminalis* LABILL.

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau e título de "Doutor em Ciências Florestais".

Orientador: Prof. José Geraldo de Araújo Carneiro

CURITIBA

1993

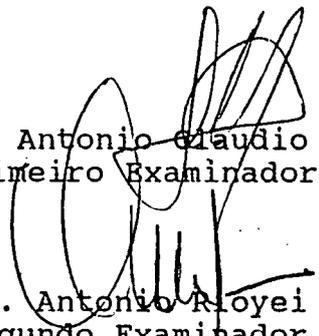
paresil2

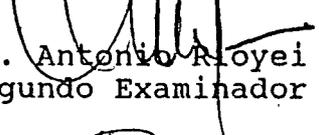
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

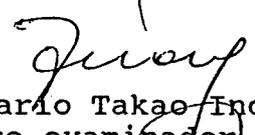
P A R E C E R

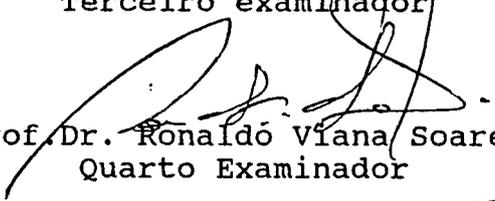
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Tese de Doutorado apresentada pelo candidato JOSÉ ALFREDO STURION, sob o título "VARIÇÃO GENÉTICA DE CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO E DE QUALIDADE DA MADEIRA EM PROGÊNIES DE *Eucalyptus viminalis* LABILL., para obtenção do grau de Doutor em Ciências Florestais do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em SILVICULTURA, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato são de parecer pela "APROVAÇÃO" da Tese com média final: (9,58), correspondente ao conceito: (A).

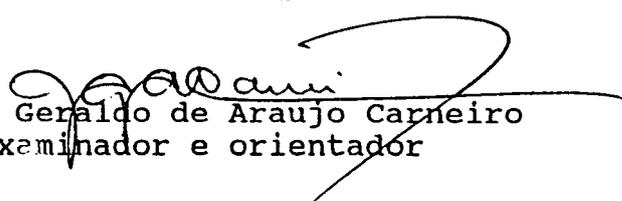
Curitiba, 17 de dezembro de 1993


Prof. Dr. Antonio Claudio Davide
Primeiro Examinador


Prof. Dr. Antonio Roney Higa
Segundo Examinador


Prof. Dr. Mario Takao Inoue
Terceiro examinador


Prof. Dr. Ronaldo Viana Soares
Quarto Examinador


Prof. Dr. José Geraldo de Araujo Carneiro
Quinto Examinador e orientador

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Prof. Dr. José Geraldo de Araújo Carneiro, pelo estímulo e dedicação na orientação deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Antonio José de Araújo e ao Prof. Dr. Sidon Keinert Junior, pela co-orientação e sugestões.

Ao Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, pela oportunidade e apoio financeiro para a realização deste trabalho.

À Empresa Papel e Celulose Catarinense S.A. - PCC, pela cessão do material experimental.

Ao engenheiro-agrônomo Edilson Batista de Oliveira e ao estatístico Osmir José Lavoranti, pela orientação prestada na elaboração das análises estatísticas.

Ao técnico florestal José Amauri Moreira Antunes, pelo auxílio na coleta do material experimental e aos técnicos de laboratório Mieceslau Stefankowski e Sidney Vicente Scheffer, pelo auxílio na execução das análises de laboratório.

À Sra. Carmen Lucia Cassilha Stival, técnica da área de informação e documentação do CNPFlorestas/EMBRAPA,

pela colaboração prestada na normatização de apresentação da literatura.

À Sra. Clarice Foggiatto de Andrade, pelo trabalho de digitação.

Ao Sr. José Nogueira Júnior, pela assistência prestada na revisão do idioma português.

A todos os colegas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e, em especial, ao engenheiro-agrônomo Marcos Deon Vilela de Resende.

BIOGRAFIA DO AUTOR

JOSÉ ALFREDO STURION, filho de Alfredo Sturion e Valentina Ana Angeli Sturion, nasceu em Piracicaba, SP, a 29 de janeiro de 1952.

Realizou seus estudos primários no Grupo Escolar Dr. João Conceição e os secundários no Colégio Estadual Dr. Jorge Coury, ambos em Piracicaba, SP.

Em 1972, iniciou o Curso de Engenharia Florestal na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, da Universidade de São Paulo, em Piracicaba, SP, graduando-se em 1975.

De junho de 1976 a janeiro de 1978, foi responsável técnico pela implantação e manejo de projetos de reflorestamento da Companhia Agrícola Santa Helena do Grupo Votorantin, no município de Itapetininga, SP.

Em março de 1978, ingressou na Unidade Regional de Pesquisa Florestal Centro-sul-URPFCS, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA, onde foi responsável pela área de pesquisa denominada "Viveiro e Técnicas de Plantio".

Em março de 1982, iniciou o Curso de Pós-Graduação

em Engenharia Florestal, área de concentração Silvicultura, na Universidade Federal do Paraná, concluindo os requisitos para a obtenção do grau e título de Mestre em Ciências Florestais, em março de 1984.

De abril de 1984 a fevereiro de 1990, exerceu suas atividades profissionais como pesquisador, junto ao Centro Nacional de Pesquisa de Florestas-EMBRAPA.

Em março de 1990, iniciou o Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração Silvicultura, na Universidade Federal do Paraná, concluindo os requisitos para a obtenção do grau e título de Doutor em Ciências Florestais, em dezembro de 1993.

SUMÁRIO

	Página
<u>LISTA DE TABELAS</u>	xi
<u>RESUMO</u>	xiii
1. <u>INTRODUÇÃO</u>	1
1.1. OBJETIVOS.....	3
2. <u>REVISÃO DE LITERATURA</u>	4
2.1. A ESPÉCIE.....	4
2.2. ENSAIOS DE PROGÊNIES DE POLINIZAÇÃO LIVRE EM ESPÉCIES FLORESTAIS.....	7
2.3. ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS EM ES- PÉCIES FLORESTAIS.....	8
2.3.1. Variância Fenotípica e Genética.....	8
2.3.2. Herdabilidade.....	11
2.3.3. Correlações e Respostas Correlacionadas entre Caracteres.....	13
2.3.4. Progresso na Seleção.....	16
2.3.4.1. Fatores que interferem no progresso esperado com seleção.....	18
2.4. IMPORTÂNCIA DA DENSIDADE E DA CONSTITUIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA PARA A PRODUÇÃO DE ENER- GIA.....	21

	Página
2.4.1. Densidade Básica da Madeira.....	21
2.4.1.1. Comparação entre métodos e posições de amostragem de densidade básica da madeira para a seleção de árvores.....	27
2.4.2. Constituição Química da Madeira.....	31
2.4.2.1. Teor de extrativos.....	32
2.4.2.2. Teor de lignina.....	34
2.4.2.3. Teor de holocelulose.....	36
2.4.2.4. Correlações entre densidade e constituição química da madeira.....	38
3. <u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	42
3.1. MATERIAL GENÉTICO.....	42
3.2. LOCAL DE INSTALAÇÃO.....	43
3.3. DELINEAMENTO ESTATÍSTICO.....	43
3.4. COLETA E ANÁLISE DO MATERIAL.....	44
3.4.1. Determinação da Densidade Básica.....	45
3.4.2. Determinação da Constituição Química da Madeira.....	45
3.5. ANÁLISE DE VARIÂNCIA E ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS E FENOTÍPICOS.....	47
3.5.1. Análise de Variância.....	47
3.5.2. Estimativas de Parâmetros Genéticos e Fenotípicos.....	48
3.5.2.1. Estimativas de coeficientes de herdabilidade.....	49

	Página
3.5.2.2. Estimativas dos coeficientes de varia- ção genética e fenotípica.....	50
3.6. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA E ESTIMATIVAS DE CORRELAÇÕES ENTRE CARACTERES.....	51
3.6.1. Análise de Covariância.....	51
3.6.2. Correlações.....	52
3.7. PROGRESSO GENÉTICO ESPERADO COM SELEÇÃO...	53
3.7.1. Progresso Genético com a Seleção Entre e Dentro de Progênies de Meios-Irmãos.....	53
3.7.2. Progresso Genético com a Seleção Combinada	54
3.8. RESPOSTAS CORRELACIONADAS NA SELEÇÃO.....	54
3.9. COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DE DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA PARA SELE- ÇÃO DE ÁRVORES.....	55
4. <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	57
4.1. RESULTADOS GERAIS DO EXPERIMENTO.....	57
4.2. PARÂMETROS GENÉTICOS E FENOTÍPICOS.....	63
4.2.1. Variâncias Genéticas, Fenotípicas e Am- bientais.....	63
4.2.2. Coeficientes de Variação.....	66
4.2.3. Estimativas de Coeficientes de Herdabi- lidade.....	69
4.2.4. Estimativas de Ganhos Genéticos Com a Seleção Combinada e Com a Seleção Entre e Dentro de Progênies.....	77

	Página
4.2.4.1. Ganho genético com a seleção entre e dentro de progênies.....	79
4.2.4.2. Ganho genético com a seleção combinada.....	82
4.2.5. Correlações Genéticas e Fenotípicas Entre Pares de Características.....	83
4.2.6. Resposta Correlacionada.....	89
4.2.7. Comparação Entre os Diferentes Métodos de Determinação da Densidade Básica da Madeira Para Seleção de Árvores.....	93
5. <u>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</u>	96
<u>SUMMARY</u>	98
6. <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	99
<u>ANEXOS</u>	110
1. Médias de características de crescimento e de qualidade da madeira de 30 progênies de meios-irmãos de <i>Eucalyptus viminalis</i> , aos 43 meses de idade, em Santa Cecília, SC.....	111
2. Quadrado médio para as características de crescimento e de qualidade da madeira entre as procedências de SW Bendoc, SE Bendoc e Bombala de <i>E. viminalis</i> , aos 43 meses de idade, em Santa Cecília, SC.....	112

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Procedências coletadas na Austrália de <i>E. viminalis</i>	42
2. Esquema de análise de variância, ao nível de indivíduo.....	48
3. Estimativas dos componentes de variância e do erro.....	49
4. Esquema de análise de covariância baseada em dados obtidos planta a planta.....	51
5. Resultados das análises de variância para características de crescimento e de qualidade da madeira em progênies de meios-irmãos de <i>E. viminalis</i> , aos 43 meses de idade, em Santa Cecília, SC.....	57
6. Estimativas de variâncias genéticas, fenotípicas e ambientais para características de crescimento e de qualidade da madeira de <i>E. viminalis</i> , aos 43 meses de idade em Santa Cecília, SC.....	63
7. Correspondência em porcentagem das estimativas de variância dos métodos de densidade em relação à estimativa de variância da densidade básica média da árvore de <i>E. viminalis</i> , aos 43 meses de idade, em Santa Cecília, SC.....	65
8. Coeficientes de variação, em porcentagem, para características de crescimento e de qualidade da madeira de <i>E. viminalis</i> , aos 43 meses de idade, em Santa Cecília, SC.....	66
9. Estimativas de coeficientes de herdabilidade no sentido restrito ao nível de plantas individuais (h^2_i), dentro de progênies (h^2_d) e ao nível de médias de progênies (h^2_F), para características de crescimento e de qualidade da madeira de <i>E. viminalis</i> ,	

	Página
aos 43 meses de idade, em Santa Cecília, SC.....	69
10. Coeficiente de variação multiplicado pela herdabilidade entre e dentro de progênies de meios-irmãos de <i>E. viminalis</i> , aos 43 meses de idade, em Santa Cecília, SC.....	75
11. Estimativas de ganhos genéticos, em porcentagem, com a seleção combinada e com a seleção entre e dentro de progênies de meios-irmãos para características de crescimento e de qualidade da madeira de <i>E. viminalis</i> , aos 43 meses de idade, em Santa Cecília, SC.....	77
12. Estimativas das correlações genéticas aditivas ao nível de plantas (r_A) e fenotípicas ao nível de médias de progênies ($r_{\bar{F}}$) entre pares de características de crescimento e de qualidade da madeira de <i>E. viminalis</i> aos 43 meses de idade, em Santa Cecília, SC.....	83
13. Estimativas de resposta correlacionada, em porcentagem, para a seleção entre e dentro de progênies de meios-irmãos de <i>E. viminalis</i> , aos 43 meses de idade, em Santa Cecília, SC.....	90
14. Coeficiente de correlação de Spearman (r_S) entre a densidade básica média da árvore com a densidade determinada no DAP e na metade da altura da árvore de <i>E. viminalis</i> , aos 43 meses de idade, em Santa Cecília, SC.....	94
15. Densidade básica média da árvore de <i>E. viminalis</i> , em função da densidade básica determinada no DAP, por meio de cunha e de bagueta, e na metade da altura da árvore, por meio de cunha, aos 43 meses de idade, em Santa Cecília, SC.....	95

RESUMO

O trabalho foi conduzido em um teste de progênies de meios-irmãos de *Eucalyptus viminalis*, instalado em Santa Cecília, SC, a partir de três procedências australianas (Bombala, SE Bendoc, SW Bendoc), reunidas em uma única população de melhoramento, com os seguintes objetivos: estimar parâmetros genéticos para características de crescimento e de qualidade da madeira; verificar como as características se correlacionam; comparar os ganhos genéticos estimados por seleção combinada com aqueles estimados por seleção entre e dentro de progênies e comparar a eficiência do método não destrutivo com a do método destrutivo de determinação da densidade básica da madeira, para a seleção de árvores. Para tanto, em 30 progênies obtidas ao acaso da população, avaliaram-se, aos 43 meses de idade: altura, DAP, volume cilíndrico, densidade básica e teores de extrativos, lignina e holocelulose da madeira de cada árvore. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso. A seleção de árvores deve ser realizada para as características de crescimento e densidade básica da madeira por apresentarem boas perspectivas de ganhos genéticos. Os constituintes químicos da madeira não devem ser incluídos como critério de seleção, já que os ganhos genéticos estimados foram pouco expressivos. A seleção de árvores para as características de crescimento não ocasionou alterações de ordem prática na densidade básica e nos teores dos constituintes químicos da madeira. Igualmente, a seleção para a densidade básica não esteve relacionada com alterações significativas nos teores dos constituintes químicos da madeira. A densidade básica da madeira determinada no DAP ou a 50% da altura total da árvore foi adequada para a seleção, em virtude do alto coeficiente de correlação genética aditiva com a densidade básica média da árvore. A densidade básica média da árvore foi estimada com boa precisão, por equações de regressão linear, tendo como variáveis independentes as densidades básicas determinadas no DAP ou a 50% da altura total da árvore. Baguetas obtidas ao nível do DAP, constituíram-se na alternativa mais viável para selecionar árvores para a densidade básica da madeira. Para a transformação do teste de progênie em Pomar de Sementes por Mudas, recomendou-se a seleção de árvores por meio da seleção combinada e formular um índice de seleção, com base no volume da árvore e na densidade básica da madeira.

1. INTRODUÇÃO

Eucalyptus viminalis Labill. é uma das poucas espécies de folhosas plantada em escala comercial em áreas sujeitas a geadas, na região Sul do Brasil (HIGA & CARVALHO, 1990 p.461). A sua madeira é destinada principalmente para lenha e produção de carvão. Os plantios dessa espécie caracterizam-se por apresentar problemas de forma e baixa produtividade. As sementes atualmente disponíveis para o plantio apresentam uma base genética restrita, impossibilitando a sua utilização em programas de melhoramento (EMPRESA BRASILEIRA..., 1986 p.38 e 1988 p.38). Assim sendo, o CNPF-EMBRAPA coletou sementes de *E. viminalis*, de populações australianas, com o propósito de estabelecer, no Brasil, um programa de melhoramento dessa espécie. Para dar cumprimento a esse programa de produção de sementes melhoradas, foi instalada na região Sul do Brasil, uma ampla rede de experimentos, constituída de bancos de conservação e de testes de progênies.

Na transformação dos testes de progênies em Fomares de Sementes por Mudas, é importante obter estimativas de coeficientes de herdabilidade, de progressos genéticos, bem como verificar de que modo o melhoramento de uma característica pode alterar outra característica desejável (VENCOVSKY, 1969 p.34; 1978 p. 164, p. 185; DEAN et al., 1983 p.271; FALCONER, 1987 p.128, p.237). Esse conhecimento per-

mite estabelecer a melhor estratégia de seleção (GOLDENBERG, 1968 p.4; VENCovsky, 1978 p.164; VENCovsky & BARRIGA, 1992 p.335). É importante também, maximizar os ganhos em cada ciclo de seleção. Nesse sentido, RESENDE & HIGA (1992) afirmaram que o método denominado de seleção combinada permite realizar uma seleção mais efetiva que o esquema de seleção entre e dentro de progênies.

Entre as características relacionadas com a qualidade da madeira, a densidade básica consiste naquela mais utilizada para seleção de árvores. Entretanto, VITAL et al. (1986 p.157) ressaltaram que alterações na densidade podem estar associadas com alterações na constituição química da madeira. Essas alterações podem ser prejudiciais, dependendo de seu uso final. Portanto, é necessário conhecer o controle genético dos constituintes químicos, bem como suas relações com outras características da madeira. Ressalte-se que o controle genético dos constituintes químicos da madeira é pouco estudado.

Quando se pretende verificar se é necessária a inclusão de características relativas à qualidade da madeira, como critério de seleção, ou quando tal inclusão é necessária, é essencial investigar a possibilidade de se trabalhar com amostras que não impliquem no corte da árvore. O método não destrutivo é mais viável na prática, de menor custo e permite conservar a árvore selecionada, sem a necessidade de regenerá-la através da condução da touça.

Cumpra esclarecer que o presente trabalho constitui parte integrante de um amplo programa para produção de sementes melhoradas de *E. viminalis* e visa subsidiá-lo.

1.1. OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivos:

- a) estimar parâmetros genéticos para características de crescimento e de qualidade da madeira.
- b) verificar a magnitude da alteração em uma determinada característica, quando a seleção é efetuada para outra característica.
- c) comparar os ganhos genéticos estimados por seleção combinada com aqueles estimados por seleção entre e dentro de progênies.
- d) estabelecer equações para estimar a densidade básica média da árvore, em função da densidade determinada no DAP ou a 50% da altura da árvore, por meio do método destrutivo, e no DAP por meio do método não destrutivo.
- e) comparar a eficiência do método não destrutivo com a do método destrutivo de determinação da densidade básica da madeira, para a seleção de árvores.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A ESPÉCIE

Na Austrália, a área de ocorrência de *E. viminialis* estende-se desde a ilha da Tasmânia (43°S) até a divisa entre Nova Gales do Sul e Queensland (28°S), em altitudes que variam desde próximas ao nível do mar até 1.400 m. Na área de ocorrência natural, o clima varia de temperado a subtropical e de subúmido a úmido, com temperatura média das máximas do mês mais quente entre 20° e 32°C e média das mínimas do mês mais frio entre -4° e 8°C. O número de geadas varia desde zero, nas proximidades da costa, a mais de 100 por ano, nas altitudes maiores, onde pode nevar algumas vezes. A precipitação média anual varia de 500 a 2.000 mm, com distribuição uniforme no centro de Nova Gales do Sul e concentrada no verão ao norte. A espécie prefere solos úmidos, bem drenados, principalmente aluviais ou podzólicos arenosos com subsolo argiloso (EMPRESA BRASILEIRA..., 1986 p.38; 1988 p.38; GOLFARI et al., 1978 p.42; FERREIRA, 1979 p.25).

Segundo PRYOR (1961 p.297), *E. viminialis* tem um padrão de variação clinal bem definido correlacionado com a altitude e com a latitude da área de ocorrência,

principalmente para características de crescimento, morfológicas e resistência à geadas. De acordo com FERREIRA (1982 p.37), a variação clinal é consequência de um gradiente ambiental em populações contínuas.

No Brasil, *E. viminalis* é tolerante a geadas, susceptível à deficiência hídrica e apresenta boa capacidade de regeneração por brotação das touças (EMPRESA BRASILEIRA..., 1986 p.38; 1988 p.38; FERREIRA, 1979 p.25). Devido a estas características, *E. viminalis* é uma das espécies mais importantes para o planalto Sul dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, a altitudes superiores a 600 metros (GOLFARI et al., 1978 p.42). No Paraná, *E. viminalis*, é uma das espécies mais recomendadas para plantio nas regiões bioclimáticas 1 e 2 e, em Santa Catarina, é recomendada para plantios comerciais em toda a região 1. Essas regiões foram delimitadas de acordo com o zoneamento ecológico para plantios florestais elaborado pela EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (1986 p.38; 1988 p.38). Segundo FERREIRA (1979 p.25), essa espécie é, também, altamente potencial para a região bioclimática 3 do estado de São Paulo, principalmente nas áreas onde ocorrem geadas severas.

No Brasil, os plantios mais antigos estão em Canela, RS, com uma idade de mais de 50 anos. Suas sementes são amplamente utilizadas, embora desconheça-se sua origem na Austrália (GOLFARI et al., 1978 p.42). Entretanto, a procedência de Canela, RS, apresenta crescimento e forma insatisfatórios. Seu melhoramento genético é improvável, pois pos-

sivelmente, sua base genética é restrita (EMPRESA BRASILEIRA..., 1986 p.38; 1988 p.38).

A madeira de *E. viminalis* pode ser utilizada para caixotaria, escora de construção, mourões e lenha (FERREIRA, 1979 p.25). Na Austrália, é utilizada na produção de móveis, celulose, aglomerado, chapas de fibras e madeira serrada. No Brasil, é utilizada principalmente como postes, mourões, lenha e para a produção de carvão. Na África do Sul, é considerada espécie melífera (EMPRESA BRASILEIRA..., 1986 p.29, p.38; 1988 p.38, p.45).

HIGA & CARVALHO (1990 p.459) ressaltaram que a procura por informações sobre espécies de eucalipto para a Região Sul do Brasil tem aumentado de forma acentuada, provavelmente em consequência do agravamento da falta de madeira para lenha. Esses autores analisaram a sobrevivência e o crescimento de 12 espécies de eucaliptos plantadas no município de Dois Vizinhos, PR, e entre elas *E. viminalis*. Concluíram que essa espécie é altamente potencial para plantio na região.

STURION et al. (1988 p.55, p.58), avaliaram a qualidade da madeira de *E. viminalis*, para fins energéticos, aos quatro e sete anos de idade, implantado sob espaçamentos variando de 1 m² a 6 m² por planta. Concluíram que essa espécie pode ser plantada em espaçamentos iguais ou maiores que 3 m² por planta e cortada aos sete anos de idade, tanto para a produção de lenha como de carvão. O carvão produzido apresentou teores de cinza e de carbono fixo compatí-

veis com as exigências para queima direta ou utilização em altos fornos.

2.2. ENSAIOS DE PROGÊNIES DE POLINIZAÇÃO LIVRE EM ESPÉCIES FLORESTAIS

Os mais importantes objetivos dos testes de progênies são: a) conservação genética de populações; b) determinação da estrutura genética de populações; c) produção de sementes melhoradas; d) determinação do valor genético de matrizes selecionadas; e) determinação de parâmetros genéticos e f) gerar indivíduos para seleção recorrente (SHIMIZU et al., 1982 p.10).

O teste de progênie de polinização livre é o que mais vem sendo utilizado em espécies florestais. Isso ocorre devido a sua facilidade de produzir progênies, em relação aos testes de progênies que exigem polinização controlada, além de permitir obter estimativas tanto da capacidade geral de combinação como de parâmetros genéticos (KAGEYAMA, 1980 p.9, p.11). A validade deste método deve estar fundamentada na pressuposição de que todas as árvores selecionadas contribuem equitativamente com seus pólenes e que elas estejam igualmente receptivas à fecundação no mesmo período (SHIMIZU et al., 1982 p.12).

Dentre os vários trabalhos sobre estimação de parâmetros genéticos, através de progênies de polinização livre para espécies do gênero *Eucalyptus*, no Brasil, podem-se

citar: BORGES (1980), KAGEYAMA (1980; 1983), ONUKY et al. (1986), MORAES (1987), todos para *E. grandis*, PINTO JUNIOR (1984) e MORI et al. (1988), ambos para *E. urophylla*, TORGLER (1987) para *E. saligna* e CASTRO (1992) para *E. camaldulensis*.

2.3. ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS EM ESPÉCIES FLORESTAIS

As estimativas dos parâmetros genéticos prestam-se para obter informações sobre o tipo de ação dos genes em caracteres quantitativos, orientar sobre o esquema mais adequado de seleção a ser adotado e estimativa do progresso esperado com a seleção (ROBINSON & COCKERHAM, 1965 p.24; VENCOVSKY, 1969 p.17).

Segundo KAGEYAMA (1980 p.15), tais estimativas são de particular interesse para o melhoramento florestal devido à grande responsabilidade da seleção, à dificuldade de realizar a mesma a curto prazo e ao desconhecimento quase total da resposta à seleção praticada para as várias características de uma árvore.

2.3.1. Variância Fenotípica e Genética

O desdobramento da variação total e a estimativa dos seus componentes, obtidos em um teste de progênie, possibilitam ao melhorista o conhecimento da estrutura genética

do material em estudo, a contribuição da variação genética na variação total de cada característica, bem como o progresso na seleção em determinado método de melhoramento (FONSECA, 1979 p.H10).

Na variação de um caráter, os seguintes componentes podem ser considerados essenciais: a) diferenças ambientais dentro de parcela; b) diferenças genéticas entre plantas dentro de parcelas; c) diferenças ambientais entre parcelas e d) diferenças genéticas entre progênes. Desses componentes, somente os relativos à diferenças genéticas podem ser favoráveis ao melhorista. Ambos, em conjunto, compõem a variação genética total do material (VENCOVSKY, 1978 p.148, p.149; VENCOVSKY & BARRIGA, 1992 p.84).

A variância fenotípica pode ser dividida em três partes principais: a) uma, devido às variações produzidas pelo ambiente; b) outra, como resultado dos efeitos genotípicos e c) devido a uma interação do genótipo com o ambiente. A variância genotípica, por sua vez, pode ser desdobrada em variância genética aditiva, variância de dominância e variâncias epistáticas (VENCOVSKY, 1969 p.22, p.25). A variância genética aditiva é o componente mais importante, pois é a principal causa de semelhança entre parentes e determinantes das propriedades genéticas da população e da resposta da população à seleção (FALCONER, 1987 p.106). O efeito aditivo dos genes que controlam a maioria dos caracteres de importância econômica das árvores tem possibilitado, pelo uso da seleção como principal método de melhoramen-

to genético, grandes avanços no aumento da produtividade das florestas implantadas (SHIMIZU et al., 1982 p.10).

Para a interpretação dos parâmetros genéticos através dos componentes da variância, deve-se considerar que esses são estimados, normalmente baseados em modelos fundamentados nos seguintes pré-requisitos: a) parâmetros de indivíduos tomados ao acaso na obtenção de progênes experimentais; b) distribuição ao acaso dos genótipos nos distintos ambientes; c) ausência de efeitos maternos; d) herança regular diplóide; e) equilíbrio de ligação nas progênes amostradas e f) ausência de epistasia, segundo COMSTOCK & ROBINSON (1948)*, citados por ROBINSON & COCKERHAM (1965 p.31); STONECYPHER et al. (1973 p.13); SHIMIZU et al. (1982 p.21).

Para uma estimativa ampla e sem restrições dos componentes da variância genética, é essencial que, tanto os indivíduos aparentados que constituem o material experimental, como os da população base, não sejam endocruzados (VENCOVSKY, 1969 p.27). Nesse sentido, NAMKOONG (1966)**, citado por SHIMIZU (1982 p.21), levanta restrições sobre a estimativa de variâncias genéticas aditivas da população através da utilização de sementes de polinização livre. Se a endogamia ocorrer, o teste de progênie de polinização livre proporcionará uma superestimativa da variância genética.

* COMSTOCK, R.E.; ROBINSON, H.F. The components of genetic variance in population of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. Biometrics, n.4, p.254-266, 1948.

** NAMKOONG, G. Inbreeding effects on estimation of genetic additive variance. Forest Science, n.12, p.8-13, 1966.

A variância genética também fica superestimada, quando o experimento for instalado em um só local e ano. Porém, se o material for utilizado em condições semelhantes às daquelas do ensaio, este fato não traz grandes implicações. Os efeitos decorrentes do ano de plantio parecem não ser importantes em plantas perenes. Entretanto, em áreas sujeitas à ocorrência de geadas, esses efeitos podem ser importantes. Porém, maiores cuidados devem ser dispensados aos efeitos de locais, já que as extrapolações são comuns na área florestal e os plantios de um modo geral, abrangem grandes áreas. Para contornar este problema, é preciso estimar a variância devida às interações dos efeitos aditivos com os ambientes, realizando experimentos em amostras de ambientes. O conhecimento deste componente não somente é importante para uma estimativa do coeficiente de herdabilidade, como também para fornecer subsídios para um zoneamento da área em que os materiais serão utilizados ou recomendados (FONSECA, 1979 p.H10 e H13).

2.3.2. Herdabilidade

A herdabilidade corresponde à proporção da variabilidade total que é de natureza genética, ou ao quociente entre a variância genética e a variância total (ALLARD, 1971 p.67; FALCONER, 1987 p.128; WRHIGHT, 1976 p.243).

A herdabilidade pode ser estimada em sentido amplo ou em sentido restrito. No sentido amplo, expressa a pro-

porção de variância genética total em relação à variância fenotípica determinada (DUDLEY & MOLL, 1969 p.257). Tal coeficiente só tem significado no melhoramento florestal quando se está testando material propagado vegetativamente (FONSECA, 1979 p.H10). A herdabilidade no sentido restrito é determinada pela relação entre a variância genética aditiva e a variância fenotípica (DUDLEY & MOLL, 1969 p.25) e tem a finalidade de orientar o melhorista sobre a quantidade relativa da variância genética que é utilizável no melhoramento, em descendências propagadas sexualmente (VENCOVSKY, 1969 p.34).

Valores elevados de herdabilidade indicam que o controle genético é alto e que mudanças no ambiente influem pouco no fenótipo (SHEPHERD, 1977 p.55). Alto valor de herdabilidade indica boa possibilidade de ganho, já que o progresso esperado através de seleção depende diretamente da herdabilidade da característica, da intensidade da seleção e, inversamente, do desvio padrão fenotípico da característica (DUDLEY & MOLL, 1969 p.260).

As estimativas de herdabilidade são de grande interesse na adequação do esforço relativo que deve ser dispensado em cada uma das características que se está melhorando. Este aspecto reveste-se de maior importância para a seleção em espécies florestais devido ao seu longo ciclo (SQUILLACE et al., 1967*, citados por KAGEYAMA, 1980 p.16).

* SQUILLACE, A.E.; BINGHAM, R.T.; NAMKOONG, G. & ROBINSON, H.F. Heritability of juvenile growth rate and expected gain from selection in western pine. Silvae Genetica, n.16, p.1-6, 1967.

Entretanto, é importante ressaltar que a herdabilidade é uma propriedade da população e das circunstâncias de ambiente a que estão sujeitos os indivíduos que compõem a mesma. Assim, o valor da herdabilidade não é somente uma propriedade de um caráter, mas também da população, mais especificamente, da parte amostrada do germoplasma e do ambiente a que os indivíduos estão sujeitos (DUDLEY & MOLL, 1969 p.258, p.260; FALCONER, 1987 p.129).

KAGEYAMA (1980 p.24, p.25) e MORAES (1987 p.10 a 12) apresentaram estimativas de herdabilidade no sentido restrito, a nível de planta individual, para características de crescimento e de densidade básica da madeira de várias espécies florestais. Com base nas estimativas apresentadas, pode-se inferir que a altura, DAP e o volume das árvores são características geralmente sujeitas a um controle genético de fraco a moderado. A densidade, por sua vez, consiste numa característica de alta herdabilidade.

2.3.3. Correlações e Respostas Correlacionadas Entre Caracteres

A maioria dos caracteres de importância econômica são complexos quanto a sua herança e podem envolver diversos caracteres relacionados (ROBINSON et al., 1951 p.282).

Nos estudos genéticos, é necessário distinguir duas causas de correlação entre os caracteres: a causa genética e a causa ambiental. A correlação devida a causas gené-

ticas é causada, principalmente, pela pleiotropia. Através da pleiotropia, a segregação de um gene causa variação simultânea em caracteres por ele afetados. A ligação gênica pode ser uma causa transitória de correlação (FALCONER, 1987 p.237). O ambiente é uma causa de correlação quando dois caracteres são influenciados pelas mesmas variações ambientais (FALCONER, 1987 p.237; VENCovsky & BARRIGA, 1992 p.336).

Quando um caráter desejável é difícil de ser selecionado, devido à dificuldade de sua identificação, medição ou por possuir baixa herdabilidade, a utilização de um caráter correlacionado, com alta herdabilidade e facilmente mensurável, possibilita uma maior efetividade na seleção do mesmo (GOLDENBERG, 1968 p.2). O estudo das correlações entre os caracteres é importante para conhecer que tipo de mudança o melhoramento genético de um determinado caráter poderá acarretar em outros caracteres (FALCONER, 1987 p.241). O conhecimento da correlação genética pode determinar uma alteração nos planos de melhoramento. Permite, também, ganhar tempo e economizar esforço (GOLDENBERG, 1968 p.1, p.5).

O estudo de correlações entre caracteres é importante, também, na verificação de resposta correlacionada, ou seja, a mudança que se ocasiona na média do caráter Y quando se seleciona o caráter X. É possível melhorar o caráter Y, com mais eficiência através da seleção do caráter X, quando esse último caráter tem alta herdabilidade, o caráter Y, uma herdabilidade mais baixa e existir boa correlação gené-

tica aditiva entre ambos (VENCOVSKY, 1978 p.186). Outro aspecto relacionado com correlação entre caracteres é a teoria dos índices de seleção. Esses índices são utilizados quando a seleção precisa basear-se em muitos caracteres de difícil visualização direta pelo melhorista (VENCOVSKY, 1978 p.187).

As correlações genéticas são, também, usadas para seleção precoce em programas de melhoramento florestal como demonstram os estudos realizados por BORGES (1980) e KAGEYAMA (1983), para *Eucalyptus grandis*; MOHN & RANDALL (1970), para *Populus deltoides*; KRIEBEL et al. (1972) para *Pinus strobus*; MEIR & GOGGANS (1977), para *P. virginiana*; LOO et al. (1985), para *P. taeda* e TAUER & MCNEW (1967), para *P. echinata*.

Segundo KAGEYAMA (1980 p.32) a correlação, tanto genética como fenotípica, entre as características de crescimento são bastante fortes e próximas à unidade. É provável a existência de pleiotropia no controle genético dessas características. As correlações entre as características de crescimento e de densidade básica da madeira apresentaram resultados opostos para espécies diferentes e mesmo para uma mesma espécie. Correlações genéticas positivas e de alta magnitude entre características evidenciam que as mesmas podem ser consideradas como uma única na seleção, quando o sentido de seleção for o mesmo, sem muito prejuízo para qualquer das características. Correlações não significativas indicam a independência entre elas. Correlações negativas altas podem prejudicar a seleção simultânea e, portanto, merecem cuidado especial na seleção.

2.3.4. Progresso na Seleção

O melhoramento de uma população visa aumentar a frequência de alelos favoráveis e, conseqüentemente, a probabilidade de identificar combinações genotípicas superiores (CASTRO, 1992 p.4). A maioria dos programas de melhoramento florestal tem a finalidade de explorar os efeitos aditivos dos genes no aumento do desempenho de uma característica (BRIDGWATER & LEDIG, 1986 p.55).

A fórmula geral para predizer os ganhos genéticos é função do diferencial de seleção em unidades de desvio padrão, do desvio padrão fenotípico e da estimativa da herdabilidade (DUDLEY & MOLL, 1969 p.260). Entretanto, para cada processo de seleção existe uma expressão para se estimar o ganho na seleção (VENCOVSKY, 1978 p.165).

Mesmo quando as alternativas de manejo do material genético nos programas de seleção são muitas, elas podem reduzir-se a um número comparativamente pequeno e ordenadas nas seguintes categorias: a) seleção com base nos indivíduos (seleção massal); b) seleção dos progenitores com base no comportamento da descendência e c) seleção entre famílias (ROBINSON & COCKERHAM, 1965 p.33).

A predição do progresso alcançado, mediante os vários sistemas de seleção, depende da variância genética entre as unidades a selecionar e da variância fenotípica total entre os indivíduos ou famílias testadas. É necessário enfatizar que as estimativas de ganho referem-se à população

gerada pela recombinação do material selecionado da população em que foram obtidas as estimativas de variância genética e somente para um ciclo de seleção (ROBINSON & COCKERHAM, 1965 p.33). Nessa estimativa, é necessário definir a população original de genótipos e de ambientes para os quais as inferências serão válidas (VENCOVSKY, 1969 p.30).

Na seleção massal a planta individual é a unidade de seleção e a variância entre plantas individuais é a variância genética total. Quando a pressão de seleção é exercida somente sobre as árvores-mães, o numerador inclui metade da variância genética aditiva mais frações apropriadas de variâncias genéticas aditivas de componentes epistáticos (DUDLEY & MOLL, 1969 p.261).

No caso de progênies de meios-irmãos, há duas unidades de seleção: a primeira, constitui-se a seleção com base nas médias das progênies; a segunda unidade de seleção refere-se aos indivíduos fenotipicamente superiores, dentro das melhores progênies. Estes indivíduos podem ser inter-cruzados, produzindo os descendentes que constituirão a nova população. Nesse caso, a seleção atuou tanto sobre os pais como sobre as mães. Alternativamente, pode-se selecionar só os indivíduos mães, sendo os pais uma tomada ao acaso da população (VENCOVSKY, 1969 p.30).

RESENDE & HIGA (1991^a p.139) propuseram correções nas expressões usualmente utilizadas para estimação de progressos genéticos, entre e dentro de progênies de meios-irmãos. Isto porque tais expressões são indicadas para famí-

lias avaliadas com número muito alto de indivíduos. Essa situação não ocorre com frequência na prática.

2.3.4.1. Fatores que interferem no progresso esperado com seleção

A taxa de elevação das frequências gênicas, como efeito da seleção, depende da variabilidade presente na população original, que por sua vez é consequência da frequência gênica original; depende, também, do método de seleção empregado, do tamanho efetivo da população, da técnica e da precisão das avaliações dos genótipos, da influência e da interação com o ambiente, dos efeitos pleiotrópicos dos genes e das correlações fenotípicas e genotípicas, entre outros (PATERNIANI & MIRANDA FILHO, 1978 p.202, p.203).

O progresso está diretamente relacionado ao diferencial de seleção. Em uma seleção truncada, quanto maior a pressão de seleção maior será o diferencial de seleção. Entretanto, espera-se, a curto prazo, uma redução drástica da variabilidade genética sob alta pressão de seleção. Além disso, altas pressões de seleção em populações pequenas podem resultar em problemas relacionados ao tamanho efetivo da população, aumentando a possibilidade de perda de genes importantes devido à oscilação genética. A ocorrência de endogamia em populações extremamente pequenas pode levar a redução da média de caracteres importantes (PATERNIANI & MIRANDA FILHO, 1978 p.241, p.242).

VENCOVSKY (1986)*, citado por SILVEIRA (1986 p.91), utilizando o conceito de tamanho efetivo populacional como medida da representatividade genética e adaptando-o às atividades de coleta e preservação de germoplasma de espécies alógamas, afirmou que tamanhos efetivos na casa de centenas já produzem uma segurança razoável contra perda de alelos, por efeito de deriva genética, num dado loco. Salientou, ainda, que sendo progênes de meios-irmãos, 25 árvores amostradas representam um tamanho efetivo de aproximadamente 100. Posteriormente, RESENDE & VENCOVSKY (1990 p.436), empregando o conceito de tamanho efetivo populacional, determinaram que o número mínimo de progênes necessário para representar uma procedência, situou-se em torno de 20.

Os progressos esperados por seleção são diretamente proporcionais à magnitude da variância genética aditiva da população e inversamente proporcional à magnitude da variação devida a fatores ambientais. Os métodos de melhoramento baseados em famílias apresentam uma vantagem porque as unidades de seleção (médias de famílias) podem ser obtidas com maior precisão através de repetições nos experimentos. Por outro lado, em programas de melhoramento para regiões amplas, o número de locais faz diminuir mais eficientemente o erro das médias do que o número de repetições por local.

* VENCOVSKY, R. Tamanho efetivo populacional na coleta e preservação de germoplasma de espécies alógamas. Piracicaba, ESALQ/USP. 17p. 1986. (não publicado).

A repetição de experimentos em vários locais contribui para minimizar o efeito da interação por locais no progresso esperado por seleção (PATERNIANI & MIRANDA FILHO, 1978 p.243 a 245).

Os testes de progênies com espécies florestais instalados no Brasil variam amplamente quanto ao número de progênies envolvidas, o número de repetições, o tamanho e a forma das parcelas experimentais, o número de locais e o tempo de avaliação de cada experimento. CASTRO (1992 p.12) apresentou uma ampla revisão sobre estes aspectos. No que se refere ao número de plantas por parcela constatou-se que variou de 3 a 24, sendo este último em condição de viveiro. Já o número de progênies variou de 11 à 169. Um número ideal de plantas em cada parcela depende de fatores ambientais e genéticos. Entre os fatores ambientais, a heterogeneidade do solo tem-se constituído no fator mais importante. Quanto aos fatores genéticos devem ser observados dois aspectos. O primeiro refere-se ao número mínimo de plantas que possibilite estimar a variação dentro de progênies. O segundo está relacionado com um número de plantas que represente a progênie. O uso de pequeno número de progênies, entre outros efeitos, não permite explorar com intensidade a variabilidade genética disponível. Esse número deve representar a população que está sendo avaliada, para que se possa obter inferências que correspondam à mesma.

Segundo VENCOVSKY & BARRIGA (1992 p.91, p.111), quando a obtenção de dados for de custo elevado e trabalho-

sa, pode-se coletar dados de parte das plantas competitivas em apenas uma fração dos tratamentos, para se estimar a variabilidade entre plantas. Em parcelas com elevado número de falhas, as estimativas de variância genética entre progênies, com base em médias de parcelas, ficam superestimadas em virtude da menor competição.

As predições do sucesso esperado na seleção dependem, também, do grau de confiabilidade das estimativas dos parâmetros genéticos. Nesse sentido, VELLO & VENCovsky (1974 p.247) derivaram expressões para a estimação das variâncias associadas às estimativas de variâncias genéticas e coeficientes de herdabilidade. Pelas expressões deduzidas, verificaram que as estimativas dos erros associados aos coeficientes de herdabilidade diminuíram à medida em que se aumentou o número de progênies e o número de repetições nos ensaios. O valor da estimativa do coeficiente de herdabilidade também afetou a magnitude do erro a ela associado. Esperam-se erros menores para valores altos de estimativas dos coeficientes de herdabilidade.

2.4. IMPORTÂNCIA DA DENSIDADE E DA CONSTITUIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA

2.4.1. Densidade Básica da Madeira

Dentre as variáveis importantes para a seleção de árvores em teste de progênie, citam-se as características de

adaptação, crescimento, forma e qualidade da madeira (BRIDGE-WATER & LEDIG, 1986 p.54; KAGEYAMA, 1980 p.22). Com relação à qualidade da madeira, destaca-se a densidade básica, devido à facilidade de sua determinação e relação com importantes aspectos tecnológicos e econômicos. Citam-se, como exemplos, a contração e o inchamento (NYLINDER, 1973 p.832; JANKOWSKY, 1979 p.11), a resistência mecânica (HARRIS, 1970 p.33; MALAN, 1988 p.38), o rendimento e a qualidade da polpa (HARRIS, 1970 p.33; FOELKEL & BARRICHELO, 1975 p.170; BARRICHELO & BRITO, 1978 p.15; BARRICHELO, 1980 p.1 a p.7; BARRICHELO et al., 1980 p.808), a produção e a qualidade do carvão vegetal (JUVILLAR, 1979 p.4; BRITO & BARRICHELO, 1979 p.4; 1980 p.125; VALENTE, 1986 p.74) e os custos operacionais ligados ao transporte e armazenamento (SLOOTEN, 1977 p.6).

Na região Sul do Brasil, as folhosas de rápido crescimento, são utilizadas principalmente para a queima direta e produção de carvão. WEEKS et al. (1977)*, citados por BRITO & BARRICHELO (1982 p.113), esclareceram que as madeiras mais densas apresentam maior poder calorífico por unidade volumétrica. Madeiras mais leves, possuem aproximadamente o mesmo poder calorífico por unidade de peso, mas possuem menor poder calorífico por unidade de volume. BURLEY (1978)**, também citado por BRITO & BARRICHELO

* WEEKS, S.A.; LASSOIE, J.P. & BAKER, L.D. Heating with wood, Ithaca, Cornell University, N.R.A.E.S.F.S. 7 Dec., 30 m. 4p., 1977.

** BURLEY, J. Selection of species for fuelwood plantations. EIGHT WORLD FORESTRY CONGRESS, Jakarta, 14p. 1978.

(1982 p.113), afirmou que a um teor de umidade constante, a densidade é o melhor indicador do poder calorífico. Porém, essa relação está na dependência de que o poder calorífico seja expresso em unidades de peso ou de volume.

Além disso, o uso de madeiras de maiores densidades, para fins energéticos apresenta, segundo BRITO & BARRICHELO (1982 p.113), as seguintes vantagens: a) menor área de estocagem e manuseio da madeira; b) maior rendimento energético no transporte; c) maior rendimento volumétrico dos fornos de carbonização; d) maior rendimento das caldeiras para queima direta da madeira; e) maior rendimento dos gaseificadores da madeira para produção de gasogênio ou gás de síntese do metanol e f) maior rendimento dos reatores para hidrólise ácida.

A densidade básica da madeira constitui-se numa das mais importantes características para identificar espécies produtoras de carvão de boa qualidade. Madeira com maior densidade produz carvão com densidade aparente maior. Essa característica confere ao carvão maior resistência mecânica e capacidade calorífica por unidade de volume (VALENTE, 1986 p.75).

De acordo com MAGALHÃES (1988 p.211), a obtenção de carvão vegetal de alta densidade está relacionada com a utilização de espécies cuja madeira apresente alta densidade, aliada à constante seleção de indivíduos dentro de povoamentos dessas espécies. Entretanto, VITAL et al. (1986 p.152) argumentaram que o aumento da densidade da madeira

não significa, necessariamente, que se obtém uma madeira com melhor constituição química para a produção de carvão vegetal. É possível que programas de melhoramento que procurem tão somente aumentar a densidade estejam prejudicando a constituição química da madeira para essa finalidade.

Embora o enfoque principal tenha sido a utilização de madeira para energia, deve-se ressaltar que a densidade básica influencia também no rendimento volumétrico do processo de produção, tempo de cozimento e qualidade da celulose. O aumento da densidade, dentro de uma mesma espécie vegetal, que é função da espessura da parede celular, diminui as resistências à tração e arrebentamento e aumenta a resistência ao rasgo do papel (FOELKEL & BARRICHELO, 1975 p.48, p.49). Segundo MATHESON et al. (1986 p.211), madeira de alta densidade é desejável para a obtenção de altos rendimentos em polpa, com número de kappa relativamente alto, destinada à produção de papel não branqueado. A partir de madeira com baixa densidade é mais fácil a obtenção de polpa, porque as paredes celulares são mais finas, o que facilita o isolamento da lignina, por torná-la mais acessível aos reagentes químicos. Também tem menores teores extrativos, o que propicia um maior rendimento de polpa, para número padrão de kappa. Entretanto, ARBUTHNOT (1991 p.969) ressaltou que madeira de maior densidade produz fibras com espessura da parede celular que não colapsa tão prontamente durante o refinamento, como as paredes finas de fibras provenientes de madeiras de baixa densidade. A densidade ótima

parece ser de 460 kg/m^3 . Nesse nível, a resistência ao rasgo é maximizada juntamente com a maioria de outras propriedades desejáveis do papel.

A densidade básica da madeira é uma característica ideal para ser manipulada geneticamente, devido a sua grande variação entre árvores (FERREIRA, 1968 p.16; ZOBEL, 1971 p.261; FERREIRA & KAGEYAMA, 1978 p.151), alta herdabilidade (SHELBOURNE et al., 1969 p.47; ARBEZ & MILLIER, 1972 p.2; OTGBEYE & KELLISON, 1980 p.27; KAGEYAMA et al., 1983 p.31) e sua baixa interação genótipo x ambiente (MORAES, 1987 p.61).

Ganhos apreciáveis podem ser obtidos para essa característica, em períodos relativamente curtos, desde que se alie à alta herdabilidade um alto diferencial de seleção (ZOBEL, 1971 p.264; ZOBEL & TALBERT, 1984 p.396).

Segundo FERREIRA & KAGEYAMA (1978 p.149, p.151) e ZOBEL (1971 p.261), a seleção de árvores com alta taxa de crescimento pode proporcionar indivíduos com densidade alta e indivíduos com densidade baixa. CARPIM & BARRICHELO (1983 p.131) destacaram que a densidade básica da madeira e o ritmo de crescimento parecem ser independentes, podendo ocorrer certa relação de acordo com a espécie, procedência e local de plantio. Com base em ampla revisão sobre o assunto, MORAES (1987 p.19) ressaltou que a densidade apresenta correlações fenotípicas e genéticas de diferentes magnitudes, tanto positivas como negativas, com as características de crescimento, para diferentes espécies. Nesse sentido, DEAN et al. (1983 p.276) detectaram uma forte correlação negativa

entre o volume e a densidade básica da madeira de *Pinus radiata*. Essa correlação negativa tornou difícil estipular um índice econômico que não afetasse consideravelmente as duas características. MORAES (1987 p.78) detectou uma correlação genética negativa, porém, baixa entre as características de crescimento e a densidade básica da madeira em progênies de polinização livre de *E. grandis*. Essa correlação não foi suficiente para prejudicar de modo drástico as possibilidades de ganho na densidade. ARBEZ & MILLIER (1972 p.2) detectaram uma correlação genética negativa entre o volume e a densidade da madeira de *P. nigra*. Com a seleção de 10% dos indivíduos, com base no volume, ocorreriam perdas apreciáveis na densidade da madeira. MALAN (1988 p.38) também detectou que a seleção efetuada com base na altura e diâmetro prejudicaria a densidade da madeira de *E. grandis*. Já para *Pinus taeda* e *P. elliottii*, VAN DER SIDJE (1976)*, citado por MORAES (1987 p.23), verificou a inexistência de correlação entre a densidade básica da madeira e a taxa de crescimento. Esses resultados contrastantes demonstram que a generalização, ainda que para espécies de um mesmo gênero, pode acarretar prejuízos em um processo de seleção, dependendo da estratégia adotada. Nesse sentido, ZOBEL (1971 p.258) esclarece que a relação entre a taxa de crescimento e a densidade básica da madeira é controversa e varia com o gênero e localização geográfica.

* VAN DER SIDJE, H.A. Wood density and growth rate of *Pinus elliottii* and *Pinus taeda* clones planted on two sites in the eastern transvaal. South African Forestry Journal, Pretoria, n.98, p.48-51, 1976.

2.4.1.1. Comparação entre métodos e posições de amostragem de densidade básica da madeira para seleção de árvores

Vários trabalhos existentes na literatura comprovam que a densidade da madeira varia entre árvores (FERREIRA, 1968 p.16; ZOBEL, 1971 p.26; FERREIRA & KAGEYAMA, 1978 p.A-6; FERREIRA & KAGEYAMA, 1978 p.149; MATZIRIS, 1979 p.104; NICHOLLS et al., 1980 p.54; ARACHUKU, 1984 p.275; TURVEY & SMETHURST, 1985 p.43) e dentro da árvore, tanto no sentido radial (FERREIRA & KAGEYAMA, 1978 p.A-8; FERREIRA & KAGEYAMA, 1978 p.150; FERREIRA et al., 1979 p.B-9; PEREIRA, 1982 p.83; CARPIM & BARRICHELO, 1983 p.127; BARRICHELO & BRITO, 1984 p.406; MOURA, 1986 p.157), como no sentido longitudinal (FERREIRA, 1968 p.16; MOURA, 1986 p.157; FERREIRA & KAGEYAMA, 1978 p.A-7; FERREIRA & KAGEYAMA, 1978 p.150; BUSNARDO et al., 1983 p.60; GUIMARÃES et al., 1983 p.31; BARRICHELO & BRITO, 1984 p.405; JOURDAN & OLSON, 1984 p.498; SOUZA et al., 1986 p.70; ONUKY et al., 1986 p.25; STURION et al., 1987 p.32).

KAGEYAMA et al. (1983 p.319, p.322) salientaram que, além do alto custo envolvido, é difícil fazer um grande número de determinações com precisão para a densidade básica da madeira. Por essa razão, sugeriram como a melhor estratégia de seleção, para essa característica, a utilização de progênies, em detrimento da seleção fenotípica, com maior

número de repetições, para minimizar o problema de erros de determinações.

Segundo JOURDAN & OLSON (1984 p.500) e ARBUTHNOT (1991 p.973), determinações de densidade, efetuadas unicamente ao nível do DAP, podem prover estimativas imprecisas da porção do caule comercializável da árvore. ARBUTHNOT (1991 p.973) esclarece que a variação dentro da árvore pode ser maior que a variação entre árvores. Esse fato implica que a variação dentro da árvore pode constituir-se numa importante causa de variação que pode ser reduzida por meio de várias amostras por árvore.

FERREIRA (1968 p.53) concluiu que a densidade básica determinada a partir de cunhas e de baguetas obtidas ao nível do DAP pode estimar a densidade média da árvore de *Eucalyptus saligna* e *E. alba*, nas idades de cinco e sete anos, por meio de equação de regressão linear.

BARRICHELO et al. (1980 p.808) concluíram que a densidade básica determinada por meio de bagueta é menor que aquela determinada por meio de cunhas obtidas de discos, em virtude da bagueta não amostrar proporcionalmente a madeira no sentido da medula para a casca. Concluíram também, que a densidade básica média de árvores de *E. grandis*, com idades compreendidas entre cinco e dez anos, esteve altamente correlacionada com a densidade básica determinada ao nível do DAP, tanto por meio de discos como de baguetas.

NAMIKAWA et al. (1990 p.45) também concluíram que a densidade básica determinada por meio de bagueta subestima

àquela obtida por meio de discos, ao nível do DAP de árvores de *Pinus taeda*, com oito anos de idade. Esses autores consideraram baixa a correlação ($r = 0,76$) entre esses dois métodos, bem como entre a densidade básica média da árvore com aquela de discos ($r = 0,84$) e de baguetas ($r = 0,77$). Para estimativas mais precisas da densidade básica média da árvore sugeriram o uso do método destrutivo sempre que for possível derrubar a árvore. Já ONUKY et al. (1986 p.117) consideraram as correlações fenotípicas, dessa ordem, entre a densidade básica ao nível do DAP e a 50% da altura comercial da árvore de *E. grandis*, como altas em dois espaçamentos testados: $r = 0,73$ no espaçamento de 3 x 2 m e $r = 0,75$ no espaçamento de 6 x 5 m.

A posição que melhor estima a densidade básica média da árvore parece variar com a espécie e a idade do povoamento. BUSNARDO et al. (1983 p.71) estabeleceram a posição correspondente a 25% da altura comercial de *E. saligna*, com 10 anos de idade, como aquela mais representativa da densidade básica da árvore. STURION et al. (1987 p.28) concluíram que a densidade básica média da árvore pode ser estimada através da densidade determinada ao nível do DAP para onze espécies de *Eucalyptus*, aos dez anos de idade. Entretanto, estimativas mais precisas puderam ser obtidas através da densidade estimada a 25% da altura comercial para *E. camaldulensis*, *E. maculata*, *E. propinqua* e *E. tereticornis* e a 50% da altura comercial para *E. cloeziana*, *E. urophylla* e *E.*

grandis. NAMIKAWA et al. (1990 p.45) propuseram a posição de 25% da altura comercial para estimativas mais precisas da densidade básica média da árvore de *Pinus taeda* aos oito anos de idade. SOUZA et al. (1986 p.71) concluíram que as posições de 25% e 50% da altura comercial estimaram melhor a densidade de árvores de *E. saligna* e *E. grandis* com sete anos de idade. Ressaltaram ainda, que posições próximas da base e do topo do caule são inadequadas para tais estimativas, já que na base há influência do sistema radicular e no topo há influência da copa e ramificação.

A maioria dos trabalhos anteriormente citados, investigou a possibilidade de uma determinada posição da árvore amostrar de modo mais preciso a sua densidade média através de correlações fenotípicas. SMITH (1967 p.46, p.47) esclarece que correlações fenotípicas, mesmo aquelas altas, não são precisas para a finalidade de seleção devido ao desconhecimento do componente ambiental nela envolvido. Por outro lado, muitas das estimativas de herdabilidade tem se baseado em amostras, como por exemplo segmentos de anéis de crescimento. Essas estimativas são úteis para indicar em que grau a característica estudada é herdável. Porém, é necessário demonstrar que uma determinada característica pode ser melhorada em todo o produto comercializável e não tão somente em porções impossíveis de serem comercializadas separadamente. Nesse sentido, ONUKY et al. (1986 p.117) verificaram um maior controle genético da densidade básica da madeira de *E. grandis*, na medida em que a amostragem foi di-

recionada no sentido da base para o topo. As herdabilidades no sentido restrito ao nível de plantas e de médias de progênies, estimadas na metade da altura comercial da árvore foram, respectivamente, 73% e 25% superiores àquelas obtidas ao nível do DAP. Tal fato demonstrou que amostragem realizada unicamente ao nível do DAP, pode subestimar as estimativas de ganhos genéticos, advindos da seleção para essa característica e, conseqüentemente, pode influir na decisão sobre a melhor estratégia de melhoramento.

2.4.2. Constituição Química da Madeira

Os componentes químicos da madeira podem ser divididos em dois grandes grupos: componentes fundamentais e componentes acidentais. Os componentes fundamentais são aqueles encontrados em toda e qualquer madeira e são usualmente divididos em duas classes: polissacarídeos (ou holoce-lulose) e lignina. Os polissacarídeos compreendem a celulose e a hemicelulose e constituem a fração total dos carboidratos da madeira livre de extrativos. Os componentes acidentais compreendem os extrativos e os componentes minerais.

Poucos estudos com o propósito de selecionar árvores com base em componentes químicos da madeira foram detectados na literatura. SCHREINER (1935)*, citado por ZOBEL

* SCHREINER, E.J. Possibilities of improving pulping characteristics of pulpwoods by controlled hybridization of forest trees. Paper Trade Journal. p.105-109, 1935.

(1971 p.267), destacou que a natureza e quantidade de celulose e de lignina pode variar de árvore para árvore. ZOBEL (1971 p.269) é de opinião que não se justifica um programa de melhoramento baseado em análises químicas complexas para diferenças qualitativas normais entre árvores. Porém esclarece que o melhoramento para diferenças químicas pode ser vantajoso se o produto final for influenciado por elas. Estudos sobre variação natural conduzidos por ZOBEL et al. (1960)*, VAN BUIJTENEN et al. (1961)**, GODDARD & STRICKLAND (1962)***, todos citados por EINSPAHR et al. (1964 p.103), demonstraram que existe variação suficiente entre árvores para densidade, dimensão e resistência das fibras, rendimento de polpa e extrativos, para justificar a inclusão dessas variáveis em programas de melhoramento.

2.4.2.1. Teor de extrativos

Extrativos, por definição, são aquelas substâncias que são removidas da madeira por extração com solventes neutros (BRITO & BARRICHELO, 1985 p.62). A presença, distribuição, natureza química e física dos componentes acidentais da madeira podem afetar acentuadamente suas propriedades e, em consequência, o seu uso final. Os componentes acidentais incluem cálcio, sais, sílica, gomas, resinas, gorduras,

* ZOBEL, B.; THORSJORNSEN, E.; HENSON, F. Geographic site and individual tree variation in wood properties of loblolly pine. Silvae Genetica, n.9, p.149-176, 1960.

** VAN BUIJTENEN, J.P.; ZOBEL, B.J. & JORANSON, P.N. Variation of some wood and pulp properties in an even-age loblolly pine stand. Tappi, n.44, p.141-144, 1961.

***GODDARD, R.E. & STICKLAND, R.K. Geographic variation in wood specific gravity of slash pine. Tappi, n.45, p.606-608, 1962.

ceras, óleos, taninos, amidos, alcalóides e materiais de coloração (DAVIDSON, 1972 p.64).

Para a produção de carvão, o teor de extrativos é prejudicial por diminuir o seu rendimento gravimétrico, aumentar o teor de cinzas e diminuir o rendimento em carbono fixo (VITAL et al., 1986 p.158). Entretanto, o teor de extrativos exerce influência positiva na queima direta da madeira por aumentar o seu poder calorífico (FRAMPTON & ROCKWOOD, 1983 p.22).

Nos processos químicos e semi-químicos de produção de celulose, o teor de extrativos é prejudicial por aumentar o consumo de reagentes químicos, diminuir o rendimento e dificultar o branqueamento da celulose (FOELKEL & BARRICHELO, 1975 p.32).

Segundo HARRIS (1970 p.33), o teor de extrativos varia amplamente entre árvores. Contudo, essa característica é de baixo controle genético. MARTON et al. (1968 p.230) não detectaram diferenças significativas entre os teores de extrativos da madeira de híbridos de *Populus* sp. ZOBEL et al. (1966)*, citados por BRITO et al. (1978 p.111), estimaram a herdabilidade no sentido restrito para o teor de extrativos, da madeira de *Pinus taeda*, com cinco anos de idade, como sendo de 0,05, portanto, bastante baixa. EINSPAHR et al. (1964 p.106) obtiveram estimativas de herdabilidade no

* ZOBEL, B.J.; STONECYPHER, R.; BROWNE, C.; KELLISON, R.C. Variation and inheritance of cellulose in the southern pines. Tappi, Atlanta, v.49, n.9, p.383-387, 1966.

sentido amplo de 0,25 para o teor de extrativos em solução de álcool-benzeno, determinado em 24 árvores representativas de cinco clones de *Pinus elliottii*, com cinco anos de idade.

LEE & RIEMENSHNEIDER (1989 p.79) estudaram o efeito de extrativos na densidade básica da madeira de 32 famílias de irmãos germanos de *Pinus banksiana*, com quinze anos de idade, através de amostras retiradas ao nível do DAP. O teor de extrativos em solução de álcool-benzeno causou uma superestimativa de 7,8% na densidade e de 25,8% na estimativa de herdabilidade no sentido restrito. Como conseqüência, as estimativas de ganho genético na densidade também serão superestimadas. Entretanto, a classificação dos genótipos não foi afetada, podendo ser efetuada a partir de amostras em que não se procedeu a extração. MEIER & COGANS (1977 p.450) obtiveram correlação de 0,98 entre a densidade determinada em madeira extraída e não extraída em *Pinus virginiana*, com oito anos indicando que a extração não é necessária para fins de seleção dessa espécie.

2.4.2.2. Teor de lignina.

A lignina é considerada o constituinte mais importante para a produção de carvão por correlacionar-se positivamente com o seu rendimento gravimétrico (OLIVEIRA et al., 1992 p.64) e teor de carbono fixo porém, correlaciona-se negativamente com os teores de voláteis e de cinzas. Os rendimentos gravimétricos mais elevados encontrados para as

amostras com maiores teores de lignina deveram-se a sua maior resistência à decomposição, devido à complexidade de sua estrutura. Da mesma forma, os maiores teores de carbono fixo no carvão, produzidos a partir de madeiras mais lignificadas, foram decorrentes da maior porcentagem de carbono elementar (65%) em sua composição, quando em comparação com a holocelulose (45%) (BRITO & BARRICHELO, 1977 p.19). O processo de carbonização em fornos de alvenaria ocorre em temperaturas superiores a 300°C. Nesses tipos de fornos, a lignina é o principal componente responsável pela formação de carvão. Entre temperaturas de 400°C a 500°C, obteve-se um rendimento de 55% de carvão a partir da lignina (OLIVEIRA et al., 1982 p.65, p.67).

De acordo com FOELKEL & BARRICHELO (1975 p.174), a lignina é um constituinte prejudicial para a produção de celulose por meio de processos químicos. Durante as operações de cozimento e branqueamento a finalidade é removê-la, o mais possível, sem causar danos apreciáveis às fibras.

Estudos efetuados por VAN BUIJTENEN et al. (1968)*, citados por ZOBEL (1971.p.267), com *Pinus taeda*, mostraram que a lignina está sob moderado controle genético. EINSPAHR et al. (1964 p.106, p.107) estimaram a herdabilidade no sentido amplo para várias propriedades da madeira e da fibra de *Pinus elliottii*, com cinco anos de idade, em 24 árvores que

* VAN BUIJTENEN, J.P.; EINSPAHR, D.W.; PECKHAM, J.R. Micropulping loblolly pine grafts selected for extreme wood specific gravity. Silvae Genetica, v.17, n.1, p.15-19, 1968.

representavam cinco clones. Detectaram um forte controle genético para a porcentagem da lignina ($h^2_{s.a.}=0,72$). Para obter estimativas de ganhos genéticos em populações propagadas por sementes, calculou-se a herdabilidade no sentido restrito como sendo 60% daquela obtida no sentido amplo, ou seja $h^2_{s.r.}=0,43$. A porcentagem de lignina pode ser diminuída em 2,5% através da seleção de parentais com dois desvios padrão abaixo da média dessa característica na população, para produção de celulose.

2.4.2.3. Teor de holocelulose

Dá-se o nome de holocelulose ao conjunto de polissacarídeos representados pela celulose mais as hemiceluloses. A celulose exerce influência na resistência da fibra individual, nas ligações entre fibras e, associadas com as hemiceluloses, determina as características da pasta celulósica e do papel (FOELKEL & BARRICHELO, 1975 p.132).

Esses polissacarídeos são de menor importância que a lignina para a produção de carvão em fornos de alvenaria, tradicionalmente utilizados. Nesses fornos, a temperatura de carbonização oscila entre 400°C a 500°C. A temperaturas próximas de 600°C, a degradação da celulose é quase completa deixando um resíduo de carvão de apenas 5%. A hemicelulose é o componente da madeira menos estável, devido à sua natureza amorfa. Na temperatura de 500°C, o seu rendimento em carvão é de apenas 10% (OLIVEIRA et al., 1982 p.62, p.67).

DADSWEEL et al. (1961)* e ZOBEL et al. (1966)**, citados por BRITO et al. (1978 p.111), estudaram a variação genética do teor de celulose. DADSWEEL et al. (1961) detectaram herdabilidade no sentido amplo de 29% para o teor de celulose da madeira de *Pinus radiata*. ZOBEL et al. (1966) detectaram diferenças no teor de celulose da madeira de *Pinus taeda*, com cinco anos de idade. Entretanto, consideraram os ganhos obtidos muito baixos para justificar a inclusão dessa característica num programa de melhoramento. MARTON et al. (1968 p.230) não detectaram diferenças significativas nos teores de celulose entre clones de três diferentes híbridos de *Populus* spp. SHELBOURNE et al. (1969 p.44) determinaram os teores de alfa e de beta celulose em 48 famílias de polinização livre de *Pinus taeda*, com cinco anos de idade, não detectando variabilidade. Os autores ressaltaram que o método utilizado, embora de rápida execução, teve limitações para detectar pequenas diferenças existentes em árvores jovens como as estudadas. BARRICHELO et al. (1980 p.808) estudaram a variação do teor de holocelulose e rendimento de celulose sulfato entre e dentro das árvores em populações de *E. grandis* para as idades compreendidas entre cinco e dez anos. Em todas as idades, as bases e os topos foram as regiões que apresentaram um menor rendimento em celulose.

* DADSWEEL, H.E.; FIELDING, J.M.; NICHOLLS, J.W.P.; BROWN, A.G. Tree-to-tree variations and the gross heretability of wood characteristics of *Pinus radiata*. *Tappi*, Atlanta, v.44, n.3, p.174-179, 1961.

** ZOBEL, B.J.; STONECYPHER, R.; BROWNE, C.; KELLISON, R.C. Variation and inheritance of cellulose in the southern pines. *Tappi*, v.49, n.9, p.383-387, 1966.

O teor de holocelulose na base é sensivelmente menor, crescendo até cerca de 75% da altura comercial.

2.4.2.4. Correlações entre densidade e constituição química da madeira

A maior parte das correlações detectadas na literatura entre características de qualidade da madeira são de natureza fenotípica. As correlações fenotípicas devem ser consideradas com cautela para fins de seleção de árvores, devido ao desconhecimento do componente ambiental nela envolvido (SMITH, 1967 p.46, p.47; VENCOSKY & BARRIGA, 1992 p.336).

VITAL et al. (1986 p.157) obtiveram para clones de *E. grandis* com trinta meses de idade, provenientes de vinte árvores matrizes, as seguintes correlações fenotípicas: 1) densidade x holocelulose ($r = 0,44$); 2) densidade x lignina ($r = -0,22$); 3) densidade x extrativos ($r = -0,17$); 4) extrativos x holocelulose ($r = 0,14$); 5) extrativos x lignina ($r = -0,14$) e 6) lignina x holocelulose ($r = -0,49$). Somente os coeficientes maiores de 0,4 foram significativos. Detectaram uma redução no rendimento gravimétrico de carvão com o aumento da densidade básica média da árvore. Atribuíram esse fato ao aumento da densidade básica estar associado ao aumento do teor de holocelulose. Ponderaram que, se essa relação for confirmada em trabalhos futuros, irá dificultar a seleção de árvores, com base na densidade, já que normal-

mente o carvão mais denso é considerado de melhor qualidade. Observou-se, também, que o aumento do teor de lignina provoca diminuição do teor de holocelulose. Ressalte-se que os teores de lignina e de holocelulose foram determinados em amostras de madeiras distintas. O teor de lignina foi determinado através de ácido sulfúrico 72% e o de holocelulose por meio de clorito de sódio a 20% e ácido acético a 20%.

BARRICHELO et al. (1980 p.808) não encontraram correlação entre o rendimento em celulose ou teor de holocelulose com a densidade básica média de árvores de populações de *Eucalyptus grandis*, com idades compreendidas entre cinco e dez anos. PALMER & GIBBS (1973)*, citados por BARRICHELO (1979 p.5), afirmaram que com o aumento da densidade ocorre aumento no teor de alfa-celulose e diminuição no teor de lignina. FERRARI (1984 p.5) obteve correlação positiva entre a densidade básica e o teor de lignina, porém, não obteve correlação entre a densidade básica e o teor de alfa-celulose da madeira de *Pinus radiata*, aos onze e dezesseis anos de idade. As correlações entre a densidade básica e o teor de extrativos variaram em magnitude e sentido (positivo ou negativo) em função do solvente utilizado.

EINSPAHR et al. (1964 p.107) detectaram uma correlação negativa ($r = -0,51$) entre a densidade básica e o teor

* PALMER, E.R. & GIBBS, J.A. Pulping characteristics of three of *Pinus caribaea*, with different densities grown in Jamaica. Tropical Products Institute Report, n.30, p.1-24, 1973.

de extrativos em álcool-benzeno em madeiras de *Pinus elliot-tii*, com cinco anos de idade. O aumento do comprimento da fibra em 10,6%, através de seleção de árvores, pode provocar uma redução de 2% no teor de lignina. Essa correlação negativa ocorreu porque o aumento do comprimento da fibra resultou em poucas fibras por grama, o que acarretou em menos material intercelular (lignina). A correlação negativa e altamente significativa ($r = -0,85$) entre o rendimento em polpa e o teor de lignina sugeriu que esse último componente poderia ser utilizado para predizer o rendimento em polpa de árvores dotadas de madeira juvenil.

TURNER et al. (1983 p.374) constataram, em árvores de vinte procedências de *Eucalyptus globulus*, que o aumento de 1% no teor de extrativos em água quente reduz em 1% o rendimento em polpa, obtida pelo processo Soda, e aumenta a necessidade de produtos químicos de 1%. A alta correlação verificada entre extrativos em água quente com o consumo de produtos químicos, levou esse autor a recomendar a escolha inicial de progênies com base nos teores de extrativos em água quente. CAMPBELL et al. (1990 p.26) detectaram correlação negativa entre o teor de extrativos com a altura do tronco e classe de diâmetro de árvores de *Pinus contorta*. Esse decréscimo foi fortemente relacionado com a diminuição da proporção de cerne. Já o teor de lignina foi positivamente correlacionado com o peso e altura do tronco. O aumento do teor de lignina com a altura do tronco foi atribuído ao aumento do teor de madeira juvenil na parte superior do tronco. FERRARI (1984 p.25) não encontrou correlação entre o teor de lignina e o volume do tronco de árvores de *Pinus radiata* com dezesseis anos de idade. Detectou

correlações de diferentes magnitudes entre o volume do tronco e o teor de extrativos, em função do solvente utilizado. A correlação entre o volume do tronco e o teor de extrativos em álcool-benzeno foi positiva e significativa ($r = 0,60$). Já a correlação entre o volume do tronco e o teor de extrativos em água quente foi negativa, porém não significativa ($r = -0,33$). Não houve correlação entre o teor de alfa-celulose e lignina, mas o teor de alfa-celulose foi negativamente correlacionado com o teor de extrativos em água quente ($r = 0,67$).

Depreende-se, dessa revisão, que as correlações variam quanto à sua magnitude e sentido em função da espécie, idade e método utilizado, não sendo possível generalizações.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. MATERIAL GENÉTICO

O material genético estudado constituiu-se de 75 progênies de polinização aberta de *Eucalyptus viminalis*, provenientes de três procedências australianas caracterizadas na Tabela 1.

TABELA 1. PROCEDÊNCIAS COLETADAS NA AUSTRÁLIA DE *E. viminalis*.

PROCEDÊNCIA	Nº DE PROGÊNIES	LATITUDE(S)	LONGITUDE(E)	ALTITUDE(m)
BOMBALA-NSW	25	37°13'	149°18'	420
SW BENDOC-VICTORIA	25	37°15'	148°45'	720
SE BENDOC-VICTORIA	25	37°15'	149°58'	850

Segundo RESENDE & HIGA (1991^a p.139), com base em estudo de divergência genética, essas três procedências podem ser reunidas em uma mesma população de melhoramento.

3.2. LOCAL DE INSTALAÇÃO

O teste de progênie foi instalado em abril de 1986, no município de Santa Cecília, SC, localizado na latitude de 27°08'S e longitude de 50°29'W e a uma altitude de 850 m.

O clima da região é classificado pelo sistema Koeppen, como do tipo Cfb, temperado, sempre úmido, pluvial com verão ameno, com a temperatura média anual de 16,5°C, máxima absoluta de 37°C (janeiro), mínima absoluta de -7°C (junho) e precipitação de 1.500 mm por ano, com distribuição uniforme.

O solo foi identificado como Latossol Bruno Distrófico Álico. A análise granulométrica revelou a seguinte composição: 70% de argila, 23% de silte e 7% de areia. Essa composição é característica de um solo de classe textural argila pesada de acordo com LEMOS et al. (1967 p.8).

Segundo MUZILLI et al. (1978 p.21), esse solo é de baixa fertilidade quanto ao fósforo (1 ppm.) e Ca + Mg (2 m.e.%) e de média fertilidade com relação ao teor de potássio (50 ppm). Possui altos teores de alumínio (2 m.e.%) e de matéria orgânica (5%).

3.3. DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

O delineamento utilizado para a instalação do experimento foi o de blocos de famílias compactadas (SILVEIRA, 1986 p.91), com dez repetições. As parcelas constituem-se de uma linha de seis plantas. O espaçamento entre plantas foi de 3 m x 2 m.

3.4. COLETA E ANÁLISE DO MATERIAL

Para a execução desse trabalho foram cortadas árvores de cinco blocos aos 43 meses de idade, adubadas, por ocasião do plantio, com 200 g de NPK (10-20-10) por planta.

Foram amostradas, ao acaso, 30 progênies. Das segunda, quarta e sexta árvores, ou da imediatamente anterior, no caso de falha, foram retiradas baguetas com 0,5 cm de diâmetro, através de sonda de Pressler, para a determinação da densidade básica da madeira.

As baguetas foram retiradas ao nível do DAP (diâmetro à altura do peito) de casca-a-casca, na direção norte-sul e acondicionadas em sacos plásticos preenchidos parcialmente com água. Os sacos plásticos foram vedados com fita adesiva e colocados em caixas de isopor.

Nas mesmas árvores em que se coletaram as baguetas foram medidos o DAP e a altura. O DAP foi medido na árvore em pé através de compasso florestal. A altura total foi medida com uma trena, após o corte da árvore. A partir da altura e do DAP obteve-se o volume cilíndrico de cada árvore.

De todas as árvores cortadas foram obtidos discos transversais de 3,0 cm de espessura nas posições correspondentes ao DAP e a 10, 30, 50 e 70% da altura total. Em árvores e posições de pequeno diâmetro foram retirados dois discos, com o propósito de garantir material para as determinações de densidade básica e de análise química da madeira.

3.4.1. Determinação da Densidade Básica

De cada disco foram retiradas duas cunhas opostas com ângulo interno de 30° , para as determinações de densidade básica da madeira pelo método da balança hidrostática, conforme norma da ABCP M14/70. Para as baguetas, o método empregado foi o de máximo teor de umidade, de acordo com FOELKEL et al. (1971 p.68).

A densidade básica média da árvore foi obtida por meio de média ponderada, tomando-se o volume das seções no tronco, entre as posições compreendidas entre os pontos de retiradas dos discos, como fator de ponderamento, conforme FERREIRA (1968 p.15) e BRITO et al. (1984 p.8).

3.4.2. Determinação da Constituição Química da Madeira

Para a determinação da constituição química da madeira foi retirada, de cada disco, à exceção do disco do DAP, uma cunha com ângulo interno de 30° . Essas cunhas foram utilizadas para formar uma amostra composta por árvore. As cunhas foram transformadas em cavacos e, posteriormente, em serragem através de um moinho do tipo Wiley.

A análise química foi efetuada com a serragem que passou através das malhas de uma peneira de 0,42 mm de abertura (40 mesh) e ficou retida na peneira de 0,25 mm de abertura (60 mesh).

O método utilizado foi o de "determinação simultânea de extrativos totais, lignina e holocelulose", desenvolvido por BARRICHELO e descrito em LAVORANTI (1986 p.34).

Por esse método, determina-se o teor de extrativos totais, submetendo-se o equivalente a 1 g de serragem absolutamente seca, à extração com diclorometano, solução de álcool-tolueno (1:2), álcool etílico comercial 96^oGL e água destilada.

A determinação do teor de lignina foi realizada de acordo com a norma ABCP M10/71, a partir da serragem previamente extraída. Essa norma estabelece o tratamento da madeira com ácido sulfúrico 72%, que promove a hidrólise dos carboidratos, deixando um resíduo insolúvel que é determinado como lignina. O teor de holocelulose em porcentagem é obtido subtraindo-se de 100 os teores em porcentagem de extrativos e de lignina.

Determinou-se, também, em 105 amostras obtidas ao acaso, o teor de lignina solúvel em ácido sulfúrico, de acordo com a TAPPI-Useful Method 250. Esse método consiste em medir a absorvância da radiação ultravioleta a um comprimento de onda de 205 nm, na amostra teste, através de espectrofotômetro. A amostra teste foi retirada do filtrado resultante após o isolamento da lignina insolúvel em ácido sulfúrico 72%. A soma do teor de lignina insolúvel com o teor de lignina solúvel representa o teor de lignina total contida na madeira.

A partir dos teores de lignina total e insolúvel determinou-se uma equação de regressão linear, constituindo a lignina insolúvel a variável independente e a lignina total a variável dependente. O propósito dessa equação é obter os teores de lignina total, caso necessário, para ordenar as progênies e estimar parâmetros genéticos de acordo com essa variável. Adicionalmente, verificou-se a correlação de postos entre os teores de lignina total e de lignina insolúvel, através do teste de Spearman.

3.5. ANÁLISE DE VARIÂNCIA E ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS E FENOTÍPICOS

3.5.1. Análise de Variância

Embora o experimento tenha sido implantado seguindo o delineamento de blocos de famílias compactadas, as análises de variância foram realizadas segundo o esquema de blocos casualizados, conforme efetuado por ASSIS et al. (1983 p.165), PINTO JUNIOR (1984 p.77), TORGLER (1987 p.41), MORI et al. (1988 p.55) e CASTRO (1992 p.28).

O modelo matemático utilizado nessas análises foi o seguinte:

$$Y_{ijk} = \mu + p_i + b_j + e_{(ij)} + d_{(ijk)}$$

onde: Y_{ijk} = observação da planta k , da progênie i na repetição j ; μ = média geral; p_i = efeito da progênie i , com $i = 1, 2, 3 \dots, 30$; b_j = efeito da repetição j , com $j = 1, 2, \dots, 5$; $e_{(ij)}$ = erro experimental associado à progênie i na repetição j ; $d_{(ijk)}$ = efeito entre plantas dentro de parcela, associado ao indivíduo k da progênie i na repetição j , com $k = 1, 2, 3$.

O esquema de análise da variância, com as respectivas esperanças dos quadrados médios, considerando todos os efeitos como aleatórios, exceto a média, está apresentado na Tabela 2.

TABELA 2. ESQUEMA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA, AO NÍVEL DE INDIVÍDUO.

F.V.	GL	QM	E (QM)
Repetições	r-1	Q ₁	$\sigma^2_d + n\sigma^2_e + n.p\sigma^2_b$
Progênes	p-1	Q ₂	$\sigma^2_d + n\sigma^2_e + n.r\sigma^2_p$
Erro	(r-1)(p-1)	Q ₃	$\sigma^2_d + n\sigma^2_e$
Dentro	p x r (n-1)	Q ₄	σ^2_d
TOTAL	p x r x n-1		

Onde: Q.M. = quadrado médio; E (QM) = esperança do quadrado médio; p = número de progênes; r = n^o de repetições; n = n^o de plantas por parcela; σ^2_p = variância genética entre progênes de meios-irmãos; σ^2_e = variância ambiental entre parcelas; σ^2_d = variância fenotípica entre plantas dentro de parcelas; σ^2_b = variância entre repetições.

3.5.2. Estimativas de Parâmetros Genéticos e Fenotípicos

A obtenção e interpretação dos componentes genéticos das esperanças dos quadrados médios foram feitas segundo a metodologia relatada por VENCovsky (1978 p.157), detalhada na Tabela 3.

TABELA 3. ESTIMATIVAS DOS COMPONENTES DE VARIÂNCIA E DO ERRO.

ESTIMATIVAS	EXPRESSÕES PARA AS ESTIMATIVAS
$\hat{\sigma}_p^2$ = variância genética entre progênies de meios-irmãos	$(Q_2 - Q_3)/nr$
$\hat{\sigma}_A^2$ = variância genética aditiva	$4 [(Q_2 - Q_3)/nr]$
$\hat{\sigma}_b^2$ = variância entre repetições	$(Q_1 - Q_3)/np$
$\hat{\sigma}_F^2$ = variância fenotípica entre médias de progênies	Q_2/nr
$\hat{\sigma}_e^2$ = variância ambiental entre parcelas	$(Q_3 - Q_4)/n$
$\hat{\sigma}_d^2$ = variância fenotípica entre plantas dentro de parcelas	Q_4

As estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos foram obtidas através do pacote genético-estatístico denominado "PAGIS", desenvolvido por OLIVEIRA et al. (1993 p.727).

3.5.2.1. Estimativas de coeficientes de herdabilidade

Os coeficientes de herdabilidade foram estimados pelas seguintes expressões (VENCOVSKY, 1978 p.158):

a) Herdabilidade no sentido restrito, ao nível de plantas individuais, no experimento.

$$h^2_i = \frac{\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_d^2 + \hat{\sigma}_b^2}$$

- b) Herdabilidade no sentido restrito referente à seleção massal dentro de famílias de meios-irmãos.

$$h^2_d = \frac{3/4 \sigma^2_A}{\sigma^2_d}$$

- c) Herdabilidade no sentido restrito entre médias de famílias de meios-irmãos.

$$h^2_{\bar{F}} = \frac{1/4 \sigma^2_A}{\sigma^2_{\bar{F}}}$$

- d) Erro associado à estimativa $h^2_{\bar{F}}$.

$$s(h^2_{\bar{F}}) = \left(\frac{2}{n_1+2} + \frac{2}{n_2+2} \right) 1/2 \cdot (1 - h^2_{\bar{F}})$$

sendo: n_1 = graus de liberdade para progênies.
 n_2 = graus de liberdade do erro experimental.

3.5.2.2. Estimativas dos coeficientes de variação genética e fenotípica.

Os coeficientes de variação foram estimados pelas seguintes expressões (VENCOSKY, 1978 p.159):

- a) Coeficiente de variação genética

$$CV_G (\%) = \frac{\hat{\sigma}_p}{\bar{X}} \times 100$$

- b) Coeficiente de variação dentro de progênies

$$CV_d (\%) = \frac{\hat{\sigma}_d}{\bar{X}} \times 100$$

- c) Coeficiente de variação fenotípica

$$CV_F (\%) = \frac{\hat{\sigma}_F}{\bar{X}} \times 100$$

3.6. ANÁLISE DE COVARIÂNCIA E ESTIMATIVAS DE CORRELAÇÕES ENTRE CARACTERES

3.6.1. Análise de Covariância

O esquema da análise de covariância com as respectivas esperanças do produto médio, de acordo com VENCOVSKY & BARRIGA (1992 p.339), encontra-se na Tabela 4.

TABELA 4. ESQUEMA DE ANÁLISE DE COVARIÂNCIA BASEADA EM DADOS OBTIDOS PLANTA A PLANTA.

F.V.	GL	PM	E (PM)
Repetições	$r-1$	P_1	$CôVd + nCôVe + n.pCôVb$
Progênies	$p-1$	P_2	$CôVd + nCôVe + n.rCôVp$
Erro	$(r-1)(p-1)$	P_3	$CôVd + nCôVe$
Dentro	$rp (n-1)$	P_4	$CôVd$

Onde: PM = produto médio; E (PM) = esperança do produto médio; p = número de progênies; $r = n_0$ de repetições; $n = n_0$ de plantas por parcela; P_2 = produto médio de progênies, entre as características x e y ; P_3 = produto médio do erro efetivo, entre as características x e y ; P_4 = produto médio associado ao efeito de plantas dentro das parcelas, entre as características x e y ; $CôVp$ = covariância genética entre progênies, referente a dois caracteres; $CôVe$ = covariância entre parcelas; $CôVd$ = covariância fenotípica entre plantas dentro de parcelas; $CôVb$ = covariância entre repetições.

As estimativas dos componentes de covariância para todas as combinações entre caracteres foram obtidas do seguinte modo:

$$\widehat{C\hat{O}V}_P(x, y) = (P_2 - P_3)/n.r$$

$$\widehat{C\hat{O}V}_e(x, y) = (P_3 - P_4)/n$$

$$\widehat{C\hat{O}V}_d(x, y) = P_4$$

A seguir foram obtidas as seguintes estimativas:

a) Covariância genética aditiva entre os caracteres x e y.

$$\widehat{C\hat{O}V}_A(x, y) = 4 \widehat{C\hat{O}V}_P(x, y)$$

b) Covariância fenotípica entre os caracteres x e y, ao nível de médias de progênies.

$$\widehat{C\hat{O}V}_F(x, y) = \widehat{C\hat{O}V}_P + \frac{\widehat{C\hat{O}V}_e}{r} + \frac{\widehat{C\hat{O}V}_d}{n.r}$$

3.6.2. Correlações

As correlações genéticas e fenotípicas ao nível de médias de famílias entre os caracteres foram estimadas a partir das seguintes expressões (FALCONER, 1987 p.239; VENCOVSKY, 1978 p.185).

a) Coeficiente de correlação genética aditiva.

$$r_A = \frac{\widehat{C\hat{O}V}_A(x, y)}{(\hat{\sigma}_{Ax}^2 \cdot \hat{\sigma}_{Ay}^2)^{1/2}}$$

b) Coeficiente de correlação fenotípica ao nível de médias de progênies.

$$r_F = \frac{Cov_F(x, y)}{(\sigma_{\bar{F}_x}^2 \cdot \sigma_{\bar{F}_y}^2)^{1/2}}$$

3.7. PROGRESSO GENÉTICO ESPERADO COM SELEÇÃO

3.7.1. Progresso Genético com a Seleção Entre e Dentro de Progênies de Meios-Irmãos

Os progressos genéticos esperados com a seleção entre e dentro de famílias de meios-irmãos, por meio de recombinação dos próprios indivíduos avaliados e com a seleção efetuada em ambos os sexos, foram estimados com base nas expressões apresentadas por VENCOVSKY & BARRIGA (1992 p.139).

Nessas expressões foram introduzidas as correções propostas por RESENDE (1991^b), indicadas, principalmente, quando o número de plantas por progênie é baixo.

$$G_s = \frac{k_1 \cdot [1 + (N-1) \cdot r] / N \cdot \sigma_A^2}{\sigma_{\bar{F}}^2} + \frac{k_2 \cdot (1 - 1/n)^{1/2} \cdot (1-r) \sigma_A^2}{\sigma_d^2}$$

Onde: G_s = progresso esperado na seleção entre e dentro; K_1 e K_2 = diferencial de seleção standardizado, entre e dentro de progênies, respectivamente; $N = n_0$ de plantas na família; $n = n_0$ de plantas na parcela; r = coeficiente da covariância genética aditiva entre indivíduos, no caso de progênies de meios-irmãos = 1/4; σ_A^2 = variância genética aditiva; $\sigma_{\bar{F}}^2$ = estimativa do desvio padrão fenotípico entre médias de progênies; σ_d^2 = estimativa do desvio padrão fenotípico entre plantas dentro de parcelas.

3.7.2. Progresso Genético Com a Seleção Combinada

A seleção combinada baseia-se na estimativa de valores genéticos dos candidatos à seleção. A expressão para estimação do progresso genético com seleção baseada em desvios, adequada para experimentos com várias plantas por parcela foi deduzida por RESENDE & HIGA (1992).

$$G_s = k \cdot \left[\left(\frac{h^2}{F} \right)^2 \cdot (p-1)/p \cdot \hat{\sigma}_F^2 + (h^2_d)^2 \cdot (n-1)/n \cdot \hat{\sigma}_d^2 \right]^{1/2}$$

Onde: k = diferencial de seleção estandardizado; $p = n^0$ de famílias; $n = n^0$ de plantas por parcela; h^2_F = herdabilidade no sentido restrito entre médias de progênies de meios-irmãos; h^2_d = herdabilidade no sentido restrito, ao nível de plantas, dentro de progênies de meios-irmãos; $\hat{\sigma}_F^2$ = variância fenotípica entre médias de progênies de meios-irmãos; $\hat{\sigma}_d^2$ = variância fenotípica entre plantas dentro de parcelas.

3.8. RESPOSTAS CORRELACIONADAS NA SELEÇÃO

A resposta correlacionada, observada em um caráter x quando se efetua a seleção em outro caráter y [$RC_{(x,y)}$] e vice versa [$RC_{(y,x)}$], foi obtida para cada combinação de caracteres, por meio de seleção entre e dentro de progênies, nos dois sexos, conforme VENCOVSKY (1978 p.186). Nas equações apresentadas por esse autor foram introduzidas as correções propostas por RESENDE & HIGA (1991^b), ou seja:

$$RC_{(x, y)} = \frac{k_1 \cdot [1+(N-1) \cdot r] / N \cdot C\hat{\sigma}V_A(x, y)}{(\hat{\sigma}_{\bar{F}}^2(y))^{1/2}} + \frac{k_2 \cdot (1-1/n)^{1/2} \cdot (1-r) \cdot C\hat{\sigma}V_A(x, y)}{(\hat{\sigma}_d^2(y))^{1/2}}$$

$$RC_{(y, x)} = \frac{k_1 \cdot [1+(N-1) \cdot r] / N \cdot C\hat{\sigma}V_A(x, y)}{(\hat{\sigma}_{\bar{F}}^2(x))^{1/2}} + \frac{k_2 \cdot (1-1/n)^{1/2} \cdot (1-r) \cdot C\hat{\sigma}V_A(x, y)}{(\hat{\sigma}_d^2(x))^{1/2}}$$

Onde: $C\hat{\sigma}V_A(x, y)$ = estimativa da covariância genética aditiva entre os caracteres x e y; k_1 e k_2 = diferencial de seleção standardizado entre e dentro de progênies, respectivamente; N = número de plantas na família; n = número de plantas na parcela; r = coeficiente de covariância genética aditiva entre plantas; $\hat{\sigma}_{\bar{F}}^2(x)$ e $\hat{\sigma}_{\bar{F}}^2(y)$ = variâncias fenotípicas, ao nível de médias de progênies, para as características x e y, respectivamente; $\hat{\sigma}_d^2(x)$ e $\hat{\sigma}_d^2(y)$ = variâncias fenotípicas entre plantas dentro de parcelas, para as características x e y, respectivamente.

3.9. COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DE DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA PARA SELEÇÃO DE ÁRVORES

Foram considerados como métodos distintos de determinação da densidade básica da madeira os seguintes: a) densidade determinada ao nível de DAP, através de cunhas; b) densidade determinada ao nível do DAP, através de baguetas; c) densidade determinada à 50% da altura total da árvore, através de cunhas e d) densidade básica média da árvore.

A eficiência desses métodos para a seleção de árvores foi verificada através do teste de correlação de Spearman (CAMPOS, 1983 p.92). Para tanto, considerou-se a densidade básica média como a estimativa mais representativa da densidade básica da árvore. Adicionalmente, foram determinadas equações de regressão linear, quando se detectou

significância para o modelo através do teste F, com o propósito de estimar a densidade básica média da árvore, através da densidade determinada no DAP, por meio de cunha e de bazueta, e a 50% da altura da árvore, por meio de cunha.

As análises estatísticas utilizadas para comparação entre métodos de densidade e as análises de regressão foram realizadas através do pacote estatístico STATGRAPHICS.

Para a realização das análises estatísticas efetuou-se um teste de normalidade dos dados e de homogeneidade de variâncias. Constatou-se que as características avaliadas tinham distribuição normal e não apresentavam problemas de heterocedasticidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. RESULTADOS GERAIS DO EXPERIMENTO

Os resultados das análises de variância para as características de crescimento, densidade básica e constituição química da madeira são apresentados na Tabela 5. As médias de cada característica, por família, encontram-se no ANEXO 1.

TABELA 5. RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO E DE QUALIDADE DA MADEIRA EM PROGÊNIES DE MEIOS-IRMÃOS DE *E. viminalis*, AOS 43 MESES DE IDADE, EM SANTA CECÍLIA, SC.

CARACTERÍSTICAS	MÉDIAS	TESTE F	P>F	COEFICIENTE DE VARIACÃO (%)
Altura (m)	11,7	1,75	0,02	10,9
DAP (cm)	9,6	1,57	0,05	14,1
Vol. Cil. (m ³ /árv.)	0,0847	1,73	0,02	34,9
Dbc (g/cm ³)	0,447	4,25	0,01	3,5
Dbb (g/cm ³)	0,442	3,82	0,01	3,3
Db50 (g/cm ³)	0,457	5,20	0,01	3,6
Dbm (g/cm ³)	0,451	4,61	0,01	3,3
Extrativos (%)	3,13	1,36	0,13	12,9
Lignina (%)	25,43	1,61	0,04	2,4
Holocelulose (%)	71,43	1,46	0,08	0,9

Onde: Dbc e Dbb = densidades básicas determinadas ao nível do DAP, por meio de cunha e de bagueta, respectivamente; Db50 = densidade básica determinada a 50% da altura da árvore; Dbm = densidade básica média da árvore.

Para todas as características de crescimento e para a densidade básica da madeira foram detectadas diferenças significativas entre médias de progênies (teste F), indicando que existe variabilidade genética. Essa variabilidade pode ser explorada para o aumento da produtividade de biomassa para energia e outras finalidades. Em termos percentuais, a família de crescimento mais rápido foi, em média, em relação a de menor crescimento, 30%; 39% e 150%, mais alta, de maior DAP e de maior volume cilíndrico, respectivamente. Com base na densidade básica média, considerada como a estimativa mais próxima da densidade básica real da árvore, a família de madeira mais densa produz, aproximadamente, 60 kg a mais de matéria seca por metro cúbico de madeira verde que a família de madeira menos densa. Essa diferença é surpreendentemente alta, pois, na idade de 43 meses, provavelmente, toda a madeira produzida é de característica juvenil.

Com relação à constituição química da madeira deve-se esclarecer que as discussões relativas ao teor de lignina estão baseadas na lignina insolúvel em ácido sulfúrico 72%. A utilização dessa variável não irá alterar a posição de classificação das progênies e nem as estimativas de parâmetros genéticos. A equação de regressão linear entre o teor de lignina total e o teor de lignina insolúvel permitiu chegar a essa dedução. A equação obtida foi a seguinte: $y = 0,4761 + 1,0268 x$, com um coeficiente de determinação de 98%. Nessa equação, y significa o teor de lignina total e x o teor de lignina insolúvel. O coeficiente de correla-

ção de Spearman (0,99), obtido entre essas duas variáveis, foi de mesma magnitude que o de Pearson. Entretanto, deve-se mencionar que 4% do teor de lignina total da madeira de *E. viminalis*, foi solúvel no ácido sulfúrico a 72%. Sendo assim, os teores de holocelulose encontram-se superestimados, já que o seu percentual foi obtido subtraindo-se de cem os teores de extrativos e de lignina insolúvel.

Não foram detectadas diferenças estatísticas significativas, ao nível de 95% de probabilidade, pelo Teste F, para os teores de extrativos e de holocelulose da madeira. Porém, a família com maior teor de extrativos, teve 31% a mais desse componente em sua madeira que aquela com menor teor. As diferenças entre os teores de lignina e de holocelulose foram menos expressivas, ou seja, de 6% e 2,6%, respectivamente.

Três aspectos devem ser considerados para uma caracterização apropriada desses resultados e interpretação de parâmetros genéticos efetuada nos itens subseqüentes. O primeiro refere-se ao agrupamento das três procedências, originalmente introduzidas como lotes distintos de sementes (SILVEIRA, 1986 p.92). Uma população, de uma espécie onde ocorrem cruzamentos, significa um conjunto de indivíduos que trocam genes entre si e devido a esse fato atinge-se o equilíbrio. Nesse tipo de população é possível obter estimativas de parâmetros genéticos, como a variância genética aditiva, dominante, herdabilidade, correlação entre características, dentre outros. Entretanto, RESENDE & HIGA (1991^a),

com base em estudos de divergência genética, concluíram que as procedências Bombala, SW Bendoc e SE Bendoc podem ser reunidas em uma mesma população de melhoramento. É muito provável que o cruzamento entre essas procedências não conduzirá a desequilíbrio de ligação na descendência. Deve-se ressaltar que não foram detectadas diferenças significativas, tanto para as características de crescimento como de qualidade da madeira, entre essas três procedências, ao nível de 95% de probabilidade, pelo teste F, através da análise da variância efetuada com os dados obtidos neste trabalho (Anexo 2).

O segundo aspecto refere-se à possibilidade de ocorrência de uma certa taxa de endogamia (ASSIS, 1986 p.36). No gênero *Eucalyptus*, as plantas são hermafroditas, porém protândricas (PRYOR, 1961 p.298). No entanto, a protândria não evita totalmente a ocorrência de autofecundação, já que uma mesma planta pode apresentar flores com diferentes estádios de maturação (ELDRIDGE, 1978 p.206). Contudo, os métodos de melhoramento aplicados aos *Eucalyptus* tem sido aqueles comuns às plantas alógamas (CASTRO, 1992 p.7).

O terceiro aspecto refere-se ao delineamento utilizado. Os testes combinados de procedência e progênie foram instalados em delineamento de blocos de famílias compactadas. No entanto, a análise de variância foi efetuada de acordo com o delineamento de blocos casualizados, em decorrência do agrupamento das três procedências em uma única população de melhoramento. CASTRO (1992 p.69) esclarece que

a diferença básica entre estes delineamentos é que no de blocos de famílias compactadas, as famílias, de uma mesma procedência, são colocadas adjacentes em cada bloco. Esse procedimento possibilita, em princípio, que as comparações entre progênies da mesma procedência, sejam efetuadas com maior facilidade e precisão. Contudo, a vantagem desse delineamento diminui quando não ocorre grande heterogeneidade ambiental. Nesse sentido, pode-se considerar que as progênies foram avaliadas com boa precisão, já que os coeficientes de variação experimental, obtidos para as características de crescimento podem ser considerados de magnitude média, de acordo com critério proposto por GARCIA (1989 p.7, p.8), para testes de procedências e progênies de espécies do gênero *Eucalyptus*. Para as características de qualidade da madeira não foram encontrados na literatura padrões definidos para tais testes. Com exceção daquele obtido para o teor de extrativos, todos os coeficientes foram de baixa magnitude, de acordo com critérios estabelecidos por PIMENTEL GOMES (1977 p.16) e, portanto, indicativos de que a comparação entre as progênies, para essas características, foi efetuada com boa precisão.

Deve-se também ressaltar que no teste de progênie em questão não foram incluídas testemunhas comerciais. Assim, as estimativas de ganho são efetuadas com base nas médias obtidas para cada característica no próprio teste. Esse fato dificulta avaliar, com base em critérios estatísticos, a real potencialidade desse material para a região. No en-

tanto, pode-se comparar os resultados obtidos com resultados de literatura, apesar das diferenças de idade e de ambiente.

O crescimento em altura e DAP do material estudado foi um pouco inferior àqueles relatados por CARVALHO & COSTA (1981 p.167), para a procedência de Canela, em três regiões do estado do Paraná, a saber: Campo Mourão, plantio com 42 meses; Engenheiro Beltrão, plantio com 36 meses e Mamburê, plantio com 39 meses. Também foi inferior aos resultados obtidos por SHIMIZU & SARAIVA (1987 p.5), para as procedências de Terrara, Austrália e Canela, RS, com 36 meses de idade, plantadas em Toledo, PR. Deve-se esclarecer que o clima das regiões anteriormente citadas são mais quentes e de uma maneira geral, os solos são mais férteis que o solo do local do experimento estudado neste trabalho. A densidade básica da madeira, no teste de progênie estudado, foi inferior à densidade obtida por STURION et al. (1988 p.57), para a procedência de Canela, RS, plantada em Rio Branco do Sul, PR, com quatro anos de idade; porém, os teores de lignina foram similares. Não obstante, o material de SW Bendoc, SE Bendoc e Bombala, pode ser promissor, já que consiste em material sem nenhum grau de melhoramento e que mostrou-se tolerante a geadas (HIGA, 1989 p.182).

4.2. PARÂMETROS GENÉTICOS E FENOTÍPICOS

4.2.1. Variâncias Genéticas, Fenotípicas e Ambientais

As estimativas de variâncias genéticas, fenotípicas e ambientais, para todas as características estudadas, estão expressas na Tabela 6.

TABELA 6. ESTIMATIVAS DE VARIÂNCIAS GENÉTICAS, FENOTÍPICAS E AMBIENTAIS PARA CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO E DE QUALIDADE DA MADEIRA DE *E. viminalis*, AOS 43 MESES DE IDADE EM SANTA CECÍLIA, SC.

CARACTERÍSTICAS	σ^2_d	σ^2_e	σ^2_R	$\sigma^2_{\bar{F}}$	σ^2_p
Altura (m) ²	2,783800	0,714527	1,642472	0,575410	0,246916
DAP (cm) ²	3,039689	0,817905	1,831146	0,573558	0,207329
Vol.Cil.(m ³ /árv.) ²	0,001596	0,000537	0,001069	0,000371	0,000157
Dbc (g/cm ³) ²	0,000540	0,000066	0,000246	0,000209	0,000160
Dbb (g/cm ³) ²	0,000499	0,000041	0,000207	0,000158	0,000117
Db50 (g/cm ³) ²	0,000686	0,000040	0,000269	0,000280	0,000226
Dbm (g/cm ³) ²	0,000512	0,000054	0,000225	0,000208	0,000162
Extrativos (%) ²	0,712346	-0,074739*	0,162712	0,044298	0,011756
Lignina (%) ²	0,874458	0,095614	0,387103	0,124438	0,047017
Holocelulose (%) ²	1,396121	-0,030390*	0,434991	0,127410	0,040412

Onde: Dbc e Dbb = densidades básicas determinadas ao nível do DAP, por meio de cunha e de bagueta, respectivamente; Db50 = densidade básica determinada a 50% da altura da árvore; Dbm = densidade básica média da árvore; σ^2_d = variância fenotípica entre plantas dentro de parcelas; σ^2_e = variância ambiental entre parcelas; σ^2_R = variância residual; $\sigma^2_{\bar{F}}$ = variância fenotípica ao nível de média de progênies; σ^2_p = variância genética entre progênies.

* SEARLE (1971 p.406) discute a ocorrência e implicações de estimativas negativas de componentes de variância. Considerando como zero os valores reais desses componentes, as estimativas de herdabilidade no sentido restrito ao nível de plantas individuais no experimento e entre médias de famílias de meios-irmãos, obtidas para os teores de extrativos e de holocelulose, encontram-se superestimadas. Porém, esse fato não altera as conclusões deste trabalho.

FONSECA (1982 p.75) sugeriu a relação entre a variância fenotípica entre plantas dentro da parcela (σ_d^2), e a variância genética entre progênies (σ_p^2), para a altura das plantas, como indicadora de seu sistema reprodutivo. Nas plantas alógamas essa relação sempre tende para valores maiores que dez. A relação obtida para *E. viminalis* foi em torno de onze, comprovando, portanto, a ocorrência da alogamia. Esse fato é importante porque para espécies do gênero *Eucalyptus* a autofecundação pode atingir até 30% (ASSIS, 1986 p.36; ELDRIDGE, 1978 p.206) e concorrer para diminuir essa relação. A ausência de autofecundação é uma condição essencial para uma estimativa ampla e sem restrições dos componentes de variância genética (VENCOVSKY, 1969 p.27). Se a endogamia tiver ocorrido, o teste de progênie de polinização livre proporciona uma superestimativa da variância genética (NAMKOONG, 1966*, citado por SHIMIZU et al., 1982 p.21). A relação entre a variância dentro da parcela e entre progênies, foi também utilizada por PATIÑO VALERA (1986 p.161), para inferir sobre o sistema reprodutivo de *E. saligna*.

Considerando-se a estimativa da densidade básica média como aquela mais próxima da densidade básica real da árvore, constatou-se que a densidade básica avaliada por

* NAMKOONG, G. Inbreeding effects on estimation of genetic additive variance. Forest Science, n.12, p.8-13, 1966.

meio de cunha, no DAP, foi a que propiciou estimativas de variâncias genéticas entre progênies e fenotípicas ao nível de médias de progênies, mais próximas das reais, para *E. viminalis*, na idade de 43 meses (Tabela 7).

TABELA 7. CORRESPONDÊNCIA EM PORCENTAGEM DAS ESTIMATIVAS DE VARIÂNCIA DOS MÉTODOS DE DENSIDADE EM RELAÇÃO À ESTIMATIVA DE VARIÂNCIA DA DENSIDADE BÁSICA MÉDIA DA ÁRVORE DE *E. viminalis*, AOS 43 MESES DE IDADE, EM SANTA CECÍLIA, SC.

CARACTERÍSTICAS	σ^2_d	σ^2_e	σ^2_R	$\sigma^2_{\bar{F}}$	σ^2_p
Dbc	105,5	122,2	109,3	100,5	98,8
Dbb	97,5	75,9	91,9	76,0	72,2
Db50	133,9	74,1	119,5	134,6	139,5
Dbm	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Onde: Dbc e Dbb = densidades básicas determinadas ao nível do DAP, por meio de cunha e de bagueta, respectivamente; Db50 = densidade básica determinada a 50% da altura da árvore; Dbm = densidade básica média da árvore; σ^2_d = variância fenotípica entre plantas dentro de parcelas; σ^2_e = variância ambiental entre parcelas; σ^2_R = variância residual; $\sigma^2_{\bar{F}}$ = variância fenotípica ao nível de média de progênies, σ^2_p = variância genética entre progênies.

Já as estimativas de variâncias obtidas de baguetas, no DAP e a 50% da altura da árvore, por meio de cunhas, subestimaram e superestimaram, respectivamente, as estimativas de variâncias relativas à densidade básica média da árvore. Entretanto, espera-se que as herdabilidades estimadas para a densidade, através desses quatro métodos, sejam de magnitude similares e conduzam às mesmas conclusões em termos de estratégia de melhoramento, já que houve uma rela-

tiva proporcionalidade nas alterações das variâncias genéticas e fenotípicas.

4.2.2. Coeficientes de Variação

Os coeficientes de variação genética, fenotípica e experimental para todas as características avaliadas são apresentados na Tabela 8.

TABELA 8. COEFICIENTES DE VARIAÇÃO, EM PORCENTAGEM, PARA CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO E DE QUALIDADE DA MADEIRA DE *E. viminalis*, AOS 43 MESES DE IDADE, EM SANTA CECÍLIA, SC.

CARACTERÍSTICA	CV _d	CV _G	CV _F	CV _F	CV _E	CV _G /CV _E	CV _G /CV _F
Altura	14,26	4,25	16,54	6,48	10,95	0,39	0,26
DAP	18,17	4,74	21,00	7,89	14,10	0,34	0,22
Vol. Cilind.	42,68	13,39	51,44	20,57	34,93	0,38	0,26
Dbc	5,19	2,82	6,36	3,23	3,50	0,81	0,44
Dbb	5,05	2,44	5,86	2,84	3,26	0,75	0,42
Db50	5,73	3,29	6,85	3,66	3,59	0,92	0,48
Dbm	5,02	2,83	5,99	3,20	3,33	0,85	0,47
Extrativos	26,96	3,46	25,74	6,72	12,87	0,27	0,13
Lignina	3,68	0,85	3,96	1,39	2,44	0,35	0,21
Holocelulose	1,65	0,28	1,66	0,50	0,92	0,30	0,17

Onde: Dbc e Dbb = densidades básicas determinadas ao nível do DAP, por meio de cunha e de bagueta, respectivamente; Db50 = densidade básica determinada a 50% da altura da árvore; Dbm = densidade básica média da árvore; CV_d = coeficiente de variação fenotípica entre plantas dentro de parcelas; CV_G = coeficiente de variação genética; CV_F = coeficiente de variação fenotípica, ao nível de plantas; CV_F = coeficiente de variação fenotípica ao nível de média de progênies; CV_E = coeficiente de variação experimental.

O coeficiente de variação genética expressa, em porcentagem da média geral, a quantidade de variação genética existente entre as progênies. Os valores obtidos para as características de crescimento, quando comparados com os dados de populações panmíticas em geral mostram, de acordo com KAGEYAMA & VENCOSKY (1983 p.20), razoável variação genética e que pode ser explorada através da seleção.

A densidade básica da madeira apresentou coeficientes de variação genéticas menores que aqueles obtidos para as características de crescimento. Porém, a densidade é mais efetiva quanto à sua participação na variabilidade fenotípica, como pode-se verificar pela relação entre o coeficiente de variação genética pela fenotípica ao nível de plantas (CV_G/CV_F). Para a densidade básica da madeira essa participação, independente do método de avaliação, foi superior a 40%, enquanto que para altura, DAP e volume cilíndrico foi da ordem de 25%.

Para os componentes químicos da madeira, a participação da variabilidade genética na expressão fenotípica do caráter foi menos expressiva. Ressalte-se que a variabilidade fenotípica para os teores de lignina e de holocelulose foram também baixas.

Segundo VENCOSKY (1978 p.160), quando todas as características forem avaliadas sob as mesmas condições de ambiente e na mesma época, a relação entre o coeficiente de variação genética e o coeficiente de variação experimental (CV_G/CV_E), consiste num dos melhores indicadores da variabi-

lidade genética de uma determinada característica na população. De acordo com PAIVA et al. (1983 p.517), se uma característica apresentar baixo valor para a relação (CV_G/CV_E) , é possível que a sua seleção seja inviável, considerando o tempo e o custo despendido no processo de seleção, em relação às possibilidades de ganho. Pode também indicar que as populações amostradas não são favoráveis à seleção intrapopulacional, por possuírem pouca variabilidade genética para a característica. Pode-se ainda considerar que as famílias amostradas não representam a população, ou que as árvores amostradas sejam descendentes de poucos genótipos originais, resultando em uma população com variabilidade genética restrita, após muitas gerações de cruzamento e recombinação gênica. Nesse sentido, VENCOVSKY (1978 p.160) ressalta que valores iguais ou maiores que um para a relação (CV_G/CV_E) , são indicativos de uma situação favorável para a seleção em progênies de milho. Considerando-se que valores próximos de um caracterize uma situação favorável para espécies de *Eucalyptus*, infere-se que a densidade básica consiste na característica com maior possibilidade de sucesso através de seleção. KAGEYAMA (1980 p.87) e MORAES (1987 p.67) utilizaram essa relação para identificar a condição mais favorável para a seleção em testes de progênies de *E. grandis*. PATIÑO-VALERA (1986 p.158), utilizou essa relação para identificar condições favoráveis à seleção em testes de progênies de *E. saligna*. Em todas essas situações, os valores obtidos para a relação (CV_G/CV_E) foram próximos ou superiores a um para a densidade básica da madeira.

4.2.3. Estimativas de Coeficientes de Herdabilidade

As estimativas de herdabilidade para todas as características estudadas são apresentadas na Tabela 9.

TABELA 9. ESTIMATIVAS DE COEFICIENTES DE HERDABILIDADE NO SENTIDO RESTRITO AO NÍVEL DE PLANTAS INDIVIDUAIS (h^2_i), DENTRO DE PROGÊNIES (h^2_d) E AO NÍVEL DE MÉDIAS DE PROGÊNIES ($h^2_{\bar{F}}$) PARA CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO E DE QUALIDADE DA MADEIRA DE *E. viminialis*, AOS 43 MESES DE IDADE, EM SANTA CECÍLIA, SC.

CARACTERÍSTICA	h^2_i	h^2_d	$h^2_{\bar{F}}$	$s(h^2_{\bar{F}})$
Altura	0,26	0,27	0,51	0,14
DAP	0,20	0,20	0,43	0,16
Vol. Cilind.	0,27	0,29	0,51	0,14
Dbc	0,82	0,89	0,92	0,02
Dbb	0,70	0,70	0,89	0,03
Db50	0,92	0,99	0,97	0,01
Dbm	0,87	0,95	0,94	0,02
Extrativos	0,07	0,05	0,32	0,19
Lignina	0,18	0,16	0,45	0,16
Holocelulose	0,11	0,09	0,38	0,18

Onde: Dbc e Dbb = densidades básicas determinadas ao nível do DAP, por meio de cunha e de bagueta, respectivamente; Db50 = densidade básica determinada a 50% da altura da árvore; Dbm = densidade básica média da árvore; $s(h^2_{\bar{F}})$ = desvio padrão.

As estimativas de herdabilidade no sentido restrito ao nível de plantas foram consideravelmente mais baixas que aquelas obtidas ao nível de médias de progênies, tanto para as características de crescimento como para aquelas relativas à constituição química da madeira. Este fato indica

que a seleção, para essas características, pode ser mais efetiva a nível de médias de progênies que dentro de progênies. As herdabilidades a nível de plantas podem ser consideradas de baixa magnitude para as características de crescimento e de constituição química da madeira. Características de baixa herdabilidade são mais sujeitas às variações ambientais. Esse fato é verdadeiro para as características de crescimento e teor de extrativos, em virtude dos valores elevados de seus respectivos coeficientes de variação fenotípica. No entanto, para os teores de lignina e de holoceleulose, pode-se atribuir as baixas estimativas de herdabilidade, à existência de pouca variabilidade genética aditiva, já que, para essas características, tanto o coeficiente de variação genética como o de variação fenotípica foram de baixo valor.

Para a densidade básica da madeira as estimativas dos coeficientes de herdabilidade, no sentido restrito, tanto ao nível de árvores como ao nível de médias de famílias, foram de alta magnitude. Em características com alta herdabilidade a variação genética representa a maior parte da variação fenotípica em relação à variação ambiental. Para características de alta herdabilidade, TODA (1972 p.3) recomenda a seleção massal de indivíduos selecionados com alta intensidade de seleção para a instalação de Pomar de Sementes Clonal. Ao contrário, quando os valores de herdabilidade são baixos, a seleção com baixa intensidade, de um grande número de indivíduos, com seleção posterior dos indivi-

duos, com base em testes de progênies, poderá resultar em ganhos maiores.

Considerando-se a densidade básica média como estimativa mais próxima da densidade básica real da árvore, verifica-se na Tabela 9, que as estimativas mais precisas de herdabilidade no sentido restrito ao nível de plantas, foram aquelas determinadas por meio de cunhas, ao nível do DAP e a 50% da altura da árvore. Em termos percentuais, as herdabilidades ao nível de plantas foram subestimadas, quando avaliadas em amostras do DAP, tanto por meio de cunhas como de baguetas, em 6,1% e 24,3%, respectivamente. A herdabilidade estimada para a densidade básica a 50% da altura foi superior, em 5,7%, à herdabilidade estimada para a densidade básica média da árvore. No entanto, mesmo para as densidades determinadas por meio de baguetas, em que as diferenças de estimativas de herdabilidade foram mais expressivas, em relação à densidade básica média da árvore, a magnitude de suas estimativas não altera a recomendação em termos de estratégia de seleção. Entretanto, as estimativas de ganho genético podem ser consideravelmente subestimadas. Optou-se pela herdabilidade ao nível de planta, para fins de comparação, porque para a densidade é recomendável a seleção massal.

Outro ponto a destacar é que o controle genético da densidade aumentou, na medida em que as amostras para sua determinação foram retiradas de altura superior àquela no DAP. Essas diferenças foram, respectivamente, de 12,2% e

31,4% entre as estimativas de herdabilidade no sentido restrito, ao nível de plantas, obtidas no DAP, por meio de cunhas e de baguetas com aquela estimada a 50% da altura da árvore. ONUKY et al. (1986 p.117) também obtiveram, para progênies de polinização aberta de *E. grandis*, com oito anos de idade, diferenças da ordem de 73% entre a herdabilidade da densidade básica da madeira, estimada a 50% da altura comercial da árvore, com a herdabilidade estimada ao nível do DAP. Esses autores explicaram que os anéis de crescimento de partes mais altas do caule são formados em idades mais avançadas da árvore e por isso são menos susceptíveis às variações de ambiente. Nesse caso, a seleção efetuada com base em estimativas de herdabilidade obtidas a 50% da altura da árvore, deve ser mais eficiente.

Deve-se ressaltar que estimativas de herdabilidades individuais obtidas de um único local são superestimadas, já que não é possível separar a variância da interação de progênies por locais da variância devida a progênies.

Por isso, tais estimativas são válidas somente para o local do experimento onde as mesmas foram determinadas (WRIGHT, 1976 p.244). Porém, esse fato é de importância relativa quando o material for utilizado em condições semelhantes àquelas do experimento em que tais estimativas foram obtidas (FONSECA, 1979 p.H10). Deve-se ressaltar que, dentre as diversas estratégias de melhoramento, a de "multipopulações" vem sendo paulatinamente adotada por parte das empresas florestais. A estratégia de "multipopulações" considera a espe-

cificidade de materiais genéticos às condições ambientais particulares, por meio da seleção de indivíduos mais adaptados e produtivos para cada região ecológica (MORI et al., 1988 p.53). Esse fato deve-se a perda de ganhos decorrentes do efeito da interação de progênies por locais, conforme constataram KAGEYAMA & VENCovsky (1983 p.22), para *E. grandis*; MORI et al. (1986 p.14 e 1988 p.53), respectivamente, para *E. saligna* e *E. urophylla* e MORAES (1987 p.90), para *E. grandis*.

Em geral, melhores resultados na seleção são obtidos quando as estimativas de herdabilidade dos caracteres a serem usados como critério de seleção são altas e com pequenos desvios padrão (SOUZA et al., 1992 p.13). Estimativas de herdabilidade associadas com altos desvios tornam duvidosas as previsões de ganho genético esperado com a seleção (VELLO & VENCovsky, 1974 p.238). Nesse sentido, pode-se afirmar que as estimativas de ganho genético para a densidade básica da madeira foram feitas com boa precisão, já que essa característica apresentou alta herdabilidade associada a desvios de magnitude relativamente baixa. Apesar de não terem sido estimados os erros associados às herdabilidades ao nível de plantas, os erros obtidos para as herdabilidades ao nível de média de progênie consiste num bom indicativo de que os primeiros são também de baixa magnitude para a densidade.

Para as características de crescimento e de constituição química da madeira as previsões de ganho genético

por meio da seleção são menos precisas, já que os erros associados às suas estimativas de herdabilidade, ao nível de médias de progênes foram relativamente altos. Esse fato pode ser decorrente da magnitude dessas estimativas de herdabilidade, do número de progênes e de repetições utilizado no presente trabalho, já que o aumento do número de progênes e de repetições concorre para diminuir as variâncias associadas às estimativas de herdabilidade (VELLO & VENCOVSKY, 1974 p.238).

Os valores de coeficiente de variação multiplicado pela herdabilidade entre ($CV_{\bar{F}} \times h_{\bar{F}}^2$) e dentro ($CV_D \times h_D^2$) de progênes (Tabela 10) são importantes para visualizar as perspectivas de ganho e inferir sobre as intensidades de seleção a ser adotada, entre e dentro de progênes, bem como definir estratégias que possibilitem aumentar a intensidade de seleção, nessa população e local (MORI et al., 1988 p.58).

TABELA 10. COEFICIENTE DE VARIACÃO MULTIPLICADO PELA HERDABILIDADE ENTRE E DENTRO DE PROGÊNIES DE MEIÓS-IRMÃOS DE *E. viminalis*, AOS 43 MESES DE IDADE, EM SANTA CECÍLIA, SC.

CARACTERÍSTICA	$CV_F \times h^2_F$	$CV_D \times h^2_D$	Porcentagem ^z
Altura	3,30	3,85	116,7
DAF	3,39	3,63	107,1
Vol. Cilind.	10,49	12,38	118,0
Dbc	2,97	4,62	155,5
Dbb	2,53	3,53	139,5
Db50	3,55	5,67	159,7
Dbm	3,01	4,77	158,5
Extrativos	2,15	1,35	62,8
Lignina	0,62	0,59	95,2
Holocelulose	0,19	0,15	78,9

Onde: Dbc e Dbb = densidades básicas determinadas ao nível do DAF, por meio de cunha e de bagueta, respectivamente; Db50 = densidade básica determinada a 50% da altura da árvore; Dbm = densidade básica média da árvore; CV_F = coeficiente de variação fenotípica ao nível de médias de progênies; h^2_F = herdabilidade ao nível de médias de progênies; CV_D = coeficiente de variação fenotípica entre plantas dentro de parcelas; h^2_D = coeficiente de herdabilidade dentro de progênies; ^z = porcentagem do valor dentro de progênies em relação ao valor entre progênies.

Embora os coeficientes de variação fenotípica ao nível de médias de progênies (CV_F) tenham apresentado valores inferiores aos coeficientes de variação dentro de progênies (CV_D), os valores de $CV \times h^2$, entre e dentro de progênies foram próximos para as características de crescimento, como consequência dos maiores coeficientes de herdabilidade, ao nível de médias de famílias em relação aqueles dentro de progênies.

Para a densidade básica da madeira os valores de $CV \times h^2$ dentro de progênies foram maiores, em virtude do maior coeficiente de variação dentro de progênies, já que as herdabilidades foram de magnitudes similares entre progênies e dentro de progênies. Para os componentes químicos da madeira os valores de $CV \times h^2$ dentro de progênies, foram menores, como consequência da pequena herdabilidade dentro de progênies, já que os coeficientes de variação dentro de progênies foram também maiores que os coeficientes a nível de médias de progênies.

Para as características de crescimento e densidade da madeira, em vista dos valores obtidos para $CV \times h^2$, é interessante utilizar altas intensidades de seleção dentro de famílias, com o intuito de elevar o progresso a curto prazo. Porém, num teste de progênie, aumentar o número de tratamento e de plantas por parcela, para possibilitar maior margem para a seleção dentro de progênies, fica limitado ao tamanho físico do teste a ser instalado. Entretanto, pode-se aumentar o número de indivíduos dentro de progênies, instalando-se parcelas maiores próximas ao teste, mas fora do delineamento estatístico. Assim, aumenta-se a possibilidade de seleção dentro de progênies e aumenta-se a possibilidade de progresso a curto prazo (MORI et al., 1988 p.58). Essa técnica permite manter o número efetivo e explorar melhor a variância dentro de progênies (MORAES, 1987 p.86). No entanto, na utilização desse método deve-se considerar as perdas que ocorrem na seleção entre progênies, pelo fato de não serem recombinados os indivíduos que foram avaliados e que contribuíram para a média das progênies (RESENDE, 1991^b).

4.2.4. Estimativas de Ganhos Genéticos Com a Seleção Combinada e Com a Seleção Entre e Dentro de Progênes

As estimativas de ganhos genéticos para todas as características avaliadas foram obtidas considerando-se uma seleção de 30% entre progênes e 33,3% dentro de progênes. Essa intensidade de seleção corresponde a uma seleção total de 10%, o que deixaria o Pomar de Sementes por Mudas com uma população de 166 árvores por hectare. Os ganhos genéticos foram calculados, para cada característica, em relação à média das progênes (Tabela 11).

TABELA 11. ESTIMATIVAS DE GANHOS GENÉTICOS, EM PORCENTAGEM, COM A SELEÇÃO COMBINADA E COM A SELEÇÃO ENTRE E DENTRO DE PROGÊNES DE MEIOS-IRMÃOS PARA CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO E DE QUALIDADE DA MADEIRA DE *E. viminalis*, AOS 43 MESES DE IDADE, EM SANTA CECÍLIA, SC.

CARACTERÍSTICA	UNIDADE DE SELEÇÃO			SELEÇÃO COMBINADA
	Entre Prog.	Dentro Prog.	Total	
Altura	3,70	2,63	6,33	7,92
DAF	3,79	2,58	6,37	7,95
Vol. Cilind.	11,59	8,75	20,34	25,53
Dbc	3,28	3,20	6,48	8,35
Dbb	2,87	2,49	5,36	6,76
Db50	3,93	3,93	7,86	10,16
Dbm	3,33	3,32	6,65	8,59
Extrativos	2,37	0,93	3,30	4,16
Lignina	0,70	0,41	1,11	1,38
Holocelulose	0,21	0,10	0,31	0,39

Onde: Dbc e Dbb = densidades básicas determinadas ao nível do DAF, por meio de cunha e de bagueta, respectivamente; Db50 = densidade básica determinada a 50% da altura da árvore; Dbm = densidade básica média da árvore; Seleção de 30% das progênes ($k = 1,127$); Seleção de 33,3% dentro das progênes ($k = 0,850$); Seleção de 10% das árvores ($k = 1,755$) pela seleção combinada.

A seleção entre e dentro de progênie de meios-irmãos constitui-se num método de seleção intrapopulacional. Quando a recombinação dos melhores indivíduos é realizada após a eliminação das plantas inferiores, o lote de recombinação é denominado de Pomar de Sementes por Mudas. Quando a recombinação se processa através de propagação vegetativa das melhores árvores do teste de progênie, recebe o nome de Pomar de Sementes Clonal (KAGEYAMA, 1980 p.87; CASTRO, 1992 p.10). Não se trata de seleção com teste de progênie, no sentido restrito, pois o teste de progênie propriamente dito pressupõe o retorno às matrizes superiores, avaliadas pelas suas progênie, para coleta de sementes melhoradas (VENCOVSKY & BARRIGA, 1992 p.111).

No esquema de seleção entre e dentro de progênie, tem-se selecionado o mesmo número de indivíduos, de cada uma das famílias selecionadas, para comporem os pomares de sementes por mudas ou clonais. RESENDE & HIGA (1992) ressaltaram que uma seleção mais efetiva pode ser realizada ponderando-se os valores individuais e os valores da família a que os indivíduos pertencem. Isso ocorre porque é possível detectar indivíduos excepcionais em famílias que não foram selecionadas através do método utilizado no esquema de seleção entre e dentro de progênie. Pode ocorrer também que o melhor indivíduo de uma família selecionada seja inferior ao segundo, terceiro ou quarto melhores indivíduos de outras famílias. A seleção combinada baseia-se na estimação dos valores genéticos dos candidatos à seleção através de duas

fontes de informação do carater a ser selecionado: o próprio indivíduo e a família a que pertence.

O ganho genético com a seleção, em porcentagem sobre a média da característica selecionada é função da intensidade de seleção, do coeficiente de variação fenotípica e da herdabilidade. A seleção para todas as características foi feita considerando-se as mesmas intensidades de seleção. Portanto, o maior ou menor ganho genético de uma característica em relação a outra foi função da herdabilidade e do coeficiente de variação fenotípica.

Para a queima direta e produção de carvão a seleção deve ser dirigida no sentido de obter árvores de mais rápido crescimento, com maior produtividade volumétrica e produtora de madeira com maior densidade e teores de lignina (BRITO & BARRICHELO, 1977 p.19; OLIVEIRA et al., 1982 p.64). Quando a finalidade é carvão, madeira com menores teores de extrativos é mais apropriada (VITAL et al., 1986 p.158).

4.2.4.1. Ganho genético com a seleção entre e dentro de progênies

Para as características de crescimento, os ganhos genéticos estimados, tanto por meio da seleção entre como dentro de progênies foram expressivos na composição do ganho genético total. Contudo, os ganhos genéticos estimados por meio da seleção de famílias foram superiores, em média, 40,7%, 46,9% e 32,5% para a altura, DAP e volume, respecti-

vamente, aos ganhos genéticos estimados para a seleção dentro de famílias. Esse incremento no ganho é consequência principalmente da maior herdabilidade obtida ao nível de médias de famílias e do desvio padrão fenotípico, já que as intensidades de seleção entre e dentro de famílias foram, percentualmente, muito próximas.

Com base nessas estimativas de ganhos genéticos a média da população, aos 43 meses de idade, será elevada por meio da seleção entre progênies e dentro de progênies, e por meio de um ciclo apenas de seleção, para a altura de 11,7 m para 12,4 m; para o DAP de 9,6 cm para 10,2 cm e para o volume cilíndrico de 0,0847 m³ para 0,1019 m³ por árvore.

As estimativas de ganhos totais através da seleção de características relativas à constituição química da madeira foram muito baixas. A seleção para essas características é pouco viável considerando-se a herdabilidade dessas características, o tempo e o custo dispendido na análise química e a necessidade de abater as árvores para efetuarla através de amostra composta. Embora seja possível recuperar o indivíduo por meio da brotação de touças (EMPRESA BRASILEIRA..., 1986 p.38; 1988 p.38; FERREIRA, 1979 p.25), esse método sempre oferece riscos, já que a sobrevivência dificilmente é de 100%. Com base nas estimativas de ganhos genéticos totais, a média da população passará, em termos de teor de extrativos de 3,13% para 3,03%; para o teor de lignina de 25,43% para 25,71% e para o teor de holocelulose de 71,43% para 71,65%. Considerou-se que a seleção de árvores

será realizada para a produção de carvão e, portanto, interessa diminuir o teor de extrativos.

A densidade básica média da árvore de *E. viminalis* pode ser aumentada em 6,65% através da intensidade considerada de seleção entre e dentro das progênies. Esse aumento corresponde a uma produtividade adicional de 30 kg de matéria seca por metro cúbico de madeira verde. Devido à alta herdabilidade dessa característica, não há necessidade de extensos programas de melhoramento para se obter ganhos satisfatórios desde que a seleção seja efetuada através de alta intensidade (ZOBEL & TALBERT, 1984 p.396).

Embora o controle genético da densidade da madeira, tenha sido superior àquele das características de crescimento as estimativas de ganho para a altura e DAP foram similares em termos percentuais, enquanto que a estimativa obtida para o volume cilíndrico foi bem superior àquela obtida para a densidade. Portanto, para as características de crescimento, os ganhos foram em sua maior parte devido ao coeficiente de variação fenotípica, sendo que o inverso ocorreu com relação à densidade.

Com base na estimativa da densidade média da árvore melhorada ($0,481 \text{ g/cm}^3$), tem-se a seguinte situação: a) a densidade estimada ao nível DAP por meio de cunha e de baqueta subestimou a produtividade de matéria seca em, respectivamente, 5 kg e 15 kg por m^3 de madeira verde. Já a densidade determinada a 50% da altura da árvore superestimou a produtividade em 12 kg de matéria seca por metro cúbico de

madeira verde.

4.2.4.2. Ganho genético com a seleção combinada

Os resultados apresentados na Tabela 12 demonstram a grande eficiência da seleção combinada em relação a seleção entre e dentro de progênies. Os ganhos estimados por meio da seleção combinada, foram 25% superiores, em relação aos estimados por meio da seleção entre e dentro de progênies para todas as características avaliadas. Deve-se ressaltar que esse ganho adicional não viabilizou a seleção de componentes químicos da madeira.

RESENDE & HIGA (1992) esclareceram que a seleção combinada tende a selecionar muitos indivíduos de determinadas famílias em virtude do maior peso dado à informação de família. Para as populações de melhoramento este fato não representa grandes problemas, já que nas próximas gerações há oportunidade para a seleção contra indivíduos endogâmicos com características desfavoráveis, desde que seja mantido o tamanho efetivo populacional, adequado à obtenção do limite seletivo. Por outro lado, para as populações de produção, cuidados especiais devem ser efetuados de forma a impedir cruzamentos entre indivíduos aparentados, o que pode levar a alguma depressão endogâmica na geração de plantio. Esses cuidados envolveriam a instalação criteriosa de pomares, de modo a manter um bom distanciamento entre parentes.

4.2.5. Correlações Genéticas e Fenotípicas entre Pares de Características

As estimativas dos coeficientes de correlação genética aditiva ao nível de plantas, fenotípicas ao nível de médias de progênies, para as características de crescimento e de qualidade da madeira são apresentadas na Tabela 12.

TABELA 12. ESTIMATIVAS DAS CORRELAÇÕES GENÉTICAS ADITIVAS AO NÍVEL DE PLANTA (r_A) E FENOTÍPICAS AO NÍVEL DE MÉDIAS DE PROGÊNIES (r_F) ENTRE PARES DE CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO E DE QUALIDADE DA MADEIRA DE *E. viminalis*, AOS 43 MESES DE IDADE, EM SANTA CECÍLIA, SC.

CARACTERÍSTICAS	Alt.	DAP	Vol.Cil.	Dbc	Dbb	Db50	Dbm	Extrat.	Lign.	Holoc.
Altura	-	0,98	0,97	0,23	0,23	0,33	0,24	-0,38	-0,74	1,00
DAP	0,95	-	0,99	0,18	0,20	0,25	0,18	-0,80	-0,69	1,18
Vol.Cil.	0,96	0,98	-	0,01	0,01	0,20	0,13	-0,40	-0,73	1,16
Dbc	0,07	0,02	-0,01	-	0,99	0,94	1,00	-0,63	-0,21	0,60
Dbb	0,06	0,02	-0,02	0,96	-	0,91	0,96	-0,82	-0,24	0,89
Db50	0,18	0,11	0,09	0,90	0,86	-	0,98	-0,43	-0,25	0,42
Dbm	0,09	0,04	0,01	0,98	0,93	0,95	-	-0,51	-0,21	0,44
Extrativos	-0,03	-0,14	-0,04	-0,22	-0,29	-0,14	-0,18	-	-0,41	-0,07
Lignina	-0,30	-0,25	-0,30	-0,12	-0,13	-0,11	-0,10	-0,28	-	-0,83
Holocelulose	0,31	0,33	-0,36	0,21	0,34	-0,18	0,16	-0,30	-0,81	-

Onde: r_A = diagonal superior; r_F = diagonal inferior; Dbc e Dbb = densidades básicas determinadas ao nível do DAP, por meio de cunha e de bagueta, respectivamente; Db50 = densidade básica determinada a 50% da altura da árvore; Dbm = densidade básica média da madeira.

Os ganhos estimados com a seleção entre e dentro de progênies foram considerados de forma independente, já que a intensidade de seleção para uma característica res-

tringe a seleção para as outras. Assim, é de capital importância que se enfoquem as correlações genéticas como intrínsecas ao processo de seleção (KAGEYAMA & VENCovsky, 1983 P.23). Deve-se ressaltar que a covariância entre progênies determinada para um local contém, igualmente, como na variância entre progênies, a covariância da interação de progênies por locais (FALCONER, 1987 p.238).

As estimativas dos coeficientes de correlação genética aditiva, a nível de plantas, entre as características de crescimento (altura, DAP e volume cilíndrico) foram positivas e de alta magnitude. Assim, quando se praticar a seleção em qualquer uma delas, espera-se uma alta resposta correlacionada na outra, o que se constitui numa vantagem, uma vez que o sentido da seleção é o mesmo para tais características. Segundo KAGEYAMA (1980 p.32), é provável a ocorrência de pleiotropia no controle genético das características de crescimento.

As estimativas dos coeficientes de correlação genética aditiva entre as características de crescimento e de densidade básica da madeira, independentemente do método utilizado para a sua determinação, foram positivas, porém de baixa magnitude. Esse resultado significa que a seleção efetuada para as características de crescimento tem pouca influência na densidade básica da madeira. Desse modo, a seleção de árvores pode ser realizada, numa primeira etapa, unicamente para as características de crescimento. A seleção para a densidade básica pode ser efetuada numa etapa

subseqüente, já que entre as árvores remanescentes é provável a ocorrência de árvores com alta e baixa densidade. Nesse sentido, há resultados contraditórios na literatura. MORAES (1987 p.19) apresentou uma ampla revisão, na qual é possível verificar que para uma mesma espécie, as correlações entre as características de crescimento e de densidade da madeira variaram tanto em magnitude como de sentido com o material utilizado. ZOBEL (1971 p.258) esclarece que a relação entre a taxa de crescimento e a densidade básica da madeira é controversa e varia com o gênero e localização geográfica.

As estimativas dos coeficientes de correlação genética aditiva entre as características de crescimento e teor de holocelulose foram positivas e de alta magnitude. Porém, foram negativas com os teores de extrativos e de lignina. Esse fato significa que a seleção de árvores com maiores alturas e diâmetro irá aumentar o teor percentual de holocelulose e diminuir os teores percentuais de lignina e de extrativos. É possível que essa alteração em termos percentuais seja desprezível, principalmente para a lignina e holocelulose, em virtude da baixa variabilidade detectada para essas características. Uma verificação das respostas correlacionadas, efetuada no item subseqüente, permitirá uma discussão mais apropriada. Deve-se ressaltar que as correlações genéticas obtidas entre o teor de holocelulose e os valores obtidos para o DAF e volume cilíndrico, foram ligeiramente superiores a um. Esse fato ocorre porque

as correlações genéticas constituem-se em estimativas, raramente muito precisas (FALCONER, 1987 p.241).

As estimativas dos coeficientes de correlação genética aditiva, obtidas entre a densidade básica média da árvore e as densidades avaliadas no DAP, tanto por meio de cunhas como de baguetas, bem como com a densidade determinada a 50% da altura total foram positivas e de alta magnitude. Esse fato indica que a seleção da densidade realizada por meio de qualquer de um desses três últimos métodos irá propiciar, caso a seleção seja efetuada no sentido de aumentar a densidade, a obtenção de árvores com maior densidade básica. Nesse sentido, é vantajoso a utilização de baguetas, pois o método é mais viável na prática e não há necessidade de se abater a árvore.

A estimativa do coeficiente de correlação genética aditiva entre a densidade básica média da árvore com o teor de holocelulose foi positiva e de média magnitude; com o teor de lignina foi negativa e de baixa magnitude e com o teor de extrativos foi negativa, porém de média magnitude. Desse modo, quando a seleção for realizada no sentido de aumentar a densidade, como conseqüência espera-se um aumento percentual nos teores de holocelulose e diminuição nos teores de extrativos. Através da verificação da resposta correlacionada será possível quantificar essa possível alteração. Optou-se pela correlação entre a densidade básica média da árvore com os constituintes químicos da madeira porque es-

As características representam estimativas da árvore como um todo. Segundo VITAL et al. (1986 p.157), fixando-se os demais valores, o aumento da densidade da madeira implica na redução do rendimento gravimétrico em carvão. A redução no rendimento gravimétrico, em virtude do aumento da densidade da madeira deve-se provavelmente à tendência do aumento da densidade estar associado ao aumento do teor de holocelulose. De acordo com OLIVEIRA et al. (1982 p.62, p.67), a celulose e a hemicelulose são mais facilmente degradadas, durante a carbonização, do que a lignina. Normalmente o carvão mais denso é considerado de melhor qualidade (VALENTE, 1986 p.75). Assim, o aumento da densidade pode propiciar um carvão de melhor qualidade, porém com diminuição em seu rendimento gravimétrico.

As correlações genéticas aditivas entre características químicas da madeira são de menor importância prática, devido à dificuldade da seleção direta dessas características. Entretanto, merece destaque, o alto coeficiente negativo de correlação genética aditiva, obtido entre o teor de holocelulose e de lignina. Porém, esse fato pode ser decorrente do método utilizado para determinação da holocelulose. O teor de holocelulose foi obtido subtraindo-se de cem os percentuais de lignina e de extrativos. Assim, maiores teores de extrativos e de lignina ocasionam menores teores de holocelulose. Por sua vez, a correlação aditiva, negativa e de média magnitude, entre o teor de extrativos e de lignina, indica que a seleção para aumentar o teor de ligni-

na pode diminuir o teor de extrativos, o que é desejável tanto para a produção de carvão como de celulose.

As estimativas de correlações fenotípicas, ao nível de médias de famílias, foram positivas e de alta magnitude entre as características de crescimento e praticamente nulas entre as características de crescimento e de densidade básica da madeira. Segundo FALCONER (1981 p.239), VENCovsky & BARRIGA (1992 p.336), a correlação fenotípica é uma combinação da correlação genética e de ambiente, estando também em função da herdabilidade dos dois caracteres correlacionados. Desse modo, as altas correlações fenotípicas encontradas entre características de crescimento deveram-se tanto aos fatores ambientais como aos genéticos. As baixas correlações fenotípicas encontradas entre a densidade da madeira e as características de crescimento foram devidas à baixa correlação genética entre essas características e, em menor parte, à magnitude dos valores de herdabilidade das características de crescimento.

As estimativas de correlações fenotípicas ao nível de média de famílias entre as características de crescimento e de constituição química da madeira e entre as de densidade e de constituição química, no geral foram de pequena magnitude.

Convém ressaltar que as correlações fenotípicas devem ser consideradas com cautela para fins de seleção de árvores, devido ao desconhecimento do componente ambiental nela envolvido (SMITH, 1967 p.46 e 47; VENCovsky & BARRIGA,

1992 p.336).

Deve-se esclarecer que as correlações fenotípicas entre os diferentes métodos considerados de determinação da densidade básica da madeira serão discutidos em item posterior, ao nível de árvores, já que para essa característica recomenda-se a seleção massal em decorrência de sua alta herdabilidade.

4.2.6. Resposta Correlacionada

As estimativas de respostas correlacionadas para uma determinada característica, quando a seleção é feita em outras características, entre e dentro de progênies, são apresentadas na Tabela 13.

TABELA 13. ESTIMATIVAS DE RESPOSTA CORRELACIONADA, EM PORCENTAGEM, PARA A SELEÇÃO ENTRE E DENTRO DE FAMÍLIAS DE MEIOS-IRMÃOS DE *E. viminalis*, AOS 43 MESES DE IDADE, EM SANTA CECÍLIA, SC.

RESPOSTA CORRELACIONADA PARA A CARACTERÍSTICA	CARACTERÍSTICA SOB SELEÇÃO						
	Alt.	DAP	Vol.Cil.	Dbc	Dbb	Db50	Dbm
Altura	(6,33)	5,62	6,35	2,25	1,95	2,06	2,40
DAP	6,97	(6,37)	7,30	1,96	1,88	2,91	2,12
Vol.Cil.	19,75	18,24	(20,34)	3,01	2,25	6,56	4,01
Dbc	0,97	0,68	0,43	(6,48)	5,54	6,43	6,64
Dbb	0,86	0,67	0,29	5,65	(5,36)	5,39	5,63
Db50	1,00	1,13	1,00	7,18	5,91	(7,86)	7,65
Dbm	1,66	0,72	0,54	6,53	5,40	6,69	(6,65)
Extrativos	-1,97	-3,76	-2,12	-5,05	-6,18	-3,60	-4,18
Lignina	-0,95	-0,80	-0,96	-0,41	-0,46	-0,51	-0,42
Holocelulose	0,42	0,45	0,50	0,39	0,54	0,28	0,29

Onde: Dbc e Dbb = densidades básicas determinadas ao nível do DAP, por meio de cunha e de bagueta, respectivamente; Db50 = densidade básica determinada a 50% da altura da árvore; Dbm = densidade básica da madeira; Seleção de 30% das progênes ($k = 1,127$); Seleção de 33% das árvores dentro de famílias ($k = 0,850$); valores entre parênteses correspondem aos ganhos genéticos obtidos através da seleção direta da característica.

O estudo de resposta correlacionada é importante quando um caráter (y) desejável é difícil de ser selecionado devido à dificuldade de sua identificação, medição ou por possuir baixa herdabilidade. Nesse caso, é possível melhorar o caráter y com mais eficiência através da seleção do caráter x, quando o caráter x tiver alta herdabilidade e o caráter y uma herdabilidade mais baixa e existir boa correlação genética aditiva entre ambos (GOLDENBERG, 1968 p.2; VENCOVSKY, 1978 p.186).

Com base nessas considerações discutiram-se somente as correlações consideradas mais exequíveis na prática, ou seja: a) modificação genética que ocorre em uma determinada característica de crescimento, quando a seleção é feita em outra característica de crescimento; b) modificação genética que ocorre na densidade básica e constituição química da madeira, quando se efetua a seleção com base nas características de crescimento; e c) modificação genética que ocorre na constituição química, quando a seleção é realizada com base na densidade da madeira. No entanto, na maior parte das situações, as condições ideais, ou seja, alta herdabilidade do caráter sob seleção e boa correlação genética aditiva entre os caracteres não foram satisfeitas.

A seleção de árvores, para aumentar o volume de madeira, pode ser realizada com eficiência por meio da altura ou do DAP, em virtude dos altos coeficientes de correlação genética aditiva entre essas características com o volume cilíndrico e da similaridade dos ganhos genéticos estimados indiretamente para o volume, pela seleção da altura ou do DAP, com o ganho genético proveniente de sua seleção direta. Nesse sentido, o DAP constituiu-se na alternativa mais viável para a seleção, em decorrência da maior precisão e facilidade de sua medição.

A seleção de características de crescimento proporcionou um ganho genético estimado em aproximadamente 1% na densidade básica da madeira. Essa alteração é muito pequena quando se considera que por meio da seleção direta da densi-

dade é possível ganhos genéticos estimados em 7%. Igualmente, as alterações ocasionadas na média dos componentes químicos da madeira são de pequena magnitude. A alteração mais expressiva ocorreu quando a seleção foi efetuada através do DAF, que provocou uma alteração de -4% no teor de extrativos. A seleção da densidade básica média, considerada como a estimativa mais próxima daquela real da árvore, também provocou uma diminuição, dessa magnitude, no teor de extrativos. Essa alteração é desejável, tanto para a produção de carvão como de celulose (VITAL et al., 1986 p.158; FOELKEL & BARRICHELO, 1975 p.32). Entretanto, em termos práticos, é negligenciável, já que a média do teor de extrativos seria diminuída de 3,13% para 3%.

A seleção para a densidade básica esteve relacionada com alterações pouco expressivas nos teores de lignina e de holocelulose da madeira. Convém ressaltar que os quatro métodos considerados para determinação da densidade conduziram, praticamente, às mesmas respostas correlacionadas.

Outro ponto importante é que o ganho genético estimado para a densidade básica média da árvore (6,65%) foi subestimado em apenas 1,8% quando se efetuou a seleção através da densidade determinada ao nível de DAF por meio de cunhas (6,53%). Por meio de baguetas (5,40%), o ganho genético advindo da seleção direta da densidade básica média da árvore foi subestimado em 23%. No entanto, essa diferença é aceitável, dada a maior viabilidade, na prática, desse último método e a possibilidade de conservar a árvore selecionada.

Esse trabalho, isoladamente, não visou estabelecer uma estratégia de melhoramento para *E. viminalis*. Porém, em decorrência dos resultados obtidos, podem ser adotadas as seguintes alternativas, para aumentar tanto o volume como a densidade básica da madeira: a) melhorar cada característica isoladamente em cada ciclo de seleção e b) melhorar ambas as características, em cada ciclo, através de um índice de seleção.

A estratégia "a" tem por desvantagem a necessidade de se efetuar vários ciclos de seleção, para atingir o material desejado comercialmente. A estratégia "b" permite identificar árvores com propriedades desejáveis, já na primeira geração. A desvantagem dessa última alternativa é a necessidade de se avaliar, tanto as características de crescimento como as de densidade da madeira em todas as árvores do teste de progênie, para identificar os indivíduos favoráveis. A avaliação da densidade básica da madeira em um número grande de árvores é extremamente trabalhosa. Uma alternativa consiste em selecionar árvores para crescimento, e entre essas árvores, selecionar para a densidade da madeira, no mesmo ciclo de seleção. Nesse caso, as intensidades de seleção serão diferentes para essas características.

4.2.7. Comparação entre os Diferentes Métodos de Determinação da Densidade Básica da Madeira para Seleção de Árvores

Os quatro métodos considerados para determinação da densidade básica da madeira foram comparados com o propó-

sito de verificar se as mesmas árvores seriam selecionadas, independentemente do método utilizado (Tabela 14).

TABELA 14. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN (r_s) ENTRE A DENSIDADE BÁSICA MÉDIA DA ÁRVORE, COM A DENSIDADE DETERMINADA NO DAP E NA METADE DA ALTURA DA ÁRVORE DE *E. viminalis*, AOS 43 MESES DE IDADE, EM SANTA CECÍLIA, SC.

Posição	Método	r_s
DAF	Cunha	0,91
DAF	Bagueta	0,83
50%	Cunha	0,84

A comparação com base em árvores foi efetuada porque para a densidade básica recomendou-se a seleção massal, em decorrência da alta estimativa de herdabilidade no sentido restrito obtida para essa característica.

Constatou-se, com base no coeficiente de Spearman, que as determinações de densidade efetuada em pontos localizados da árvore (DAF e 50% da altura), apresentaram uma correlação superior a 83%, com a densidade básica média da árvore. A densidade determinada ao nível do DAF, por meio de cunha, apresentou, em relação aos outros dois métodos, uma superioridade da ordem de 5%. Contudo, considera-se a utilização da bagueta como a alternativa mais adequada, por ser de mais fácil execução na prática, e evitar os riscos de perda do indivíduo, principalmente em áreas sujeitas a geadas severas, no caso de se utilizar o método destrutivo. Porém, caso se opte pelo método destrutivo, deve-se utilizar a

densidade básica média da árvore como critério de seleção.

As equações de regressão linear, bem como os coeficientes de correlação, entre a densidade básica média da árvore (variável dependente) e as densidades básicas determinadas por meio de cunha, no DAP ou a 50% da altura da árvore e ainda por meio de bagueta no DAP (variáveis independentes), encontram-se na Tabela 15.

TABELA 15. DENSIDADE BÁSICA MÉDIA DA ÁRVORE DE *E. viminalis*, EM FUNÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DETERMINADA NO DAP, POR MEIO DE CUNHA E DE BAGUETA, E NA METADE DA ALTURA DA ÁRVORE, POR MEIO DE CUNHA, AOS 43 MESES DE IDADE, EM SANTA CECÍLIA, SC.

POSIÇÃO	Método	P > F	Coeficiente de Correlação	Coeficiente de Determinação (X)	Intercepto da Regressão	Coeficiente Angular
DAP	Cunha	0,01	0,92	85	0,0474	0,9013
DAP	Bagueta	0,01	0,86	74	0,0501	0,9065
50%	Cunha	0,01	0,84	71	0,1130	0,7389

Através do coeficiente de determinação, que indica a proporção da variação total, que está sendo explicada pela regressão (CAMPOS, 1984 p.249), verificou-se que a densidade básica média da árvore de *E. viminalis* foi estimada com boa precisão pelos três métodos considerados. Entretanto, uma precisão maior, à idade estudada, foi obtida quando a densidade básica foi determinada no DAP, por meio de cunha.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

1. A seleção de árvores deve ser realizada para as características de crescimento e densidade básica da madeira por apresentarem boas perspectivas de ganhos genéticos. Os constituintes químicos da madeira não devem ser incluídos como critério de seleção, já que os ganhos genéticos estimados foram pouco expressivos.

2. A seleção de árvores para as características de crescimento, não ocasionou alterações de ordem prática na densidade básica e nos teores dos constituintes químicos da madeira. Igualmente, a seleção para a densidade básica não esteve relacionada com alterações significativas nos teores dos constituintes químicos da madeira.

3. A seleção de árvores, para aumentar o volume de madeira, pode ser realizada com eficiência com base na altura ou no DAP. A seleção dessas características proporcionou estimativas de ganhos genéticos para o volume cilíndrico, similares ao ganho genético proveniente de sua seleção direta.

4. A densidade básica da madeira determinada no DAP ou a 50% da altura total da árvore foi adequada para a seleção, em virtude do alto coeficiente de correlação genética aditiva com a densidade básica média da árvore.

5. A seleção combinada permitiu obter estimativas de ganhos genéticos consideravelmente maiores que aquelas obtidas por seleção de árvores entre e dentro de progênies.

6. A densidade básica média da árvore foi estimada com boa precisão por equações de regressão linear, tendo como variável independente a densidade básica determinada no DAP, por meio de cunha ou de bagueta, bem como a 50% da altura total da árvore, por meio de cunha.

7. Baguetas obtidas ao nível do DAP, constituíram-se na alternativa mais viável para selecionar árvores para a densidade básica da madeira.

8. Para a transformação do teste de progênie em Pomar de Sementes por Mudas, recomenda-se a seleção de árvores por meio da seleção combinada e formular um índice de seleção, tendo por base o volume das árvores e a densidade básica da madeira.

SUMMARY

This study was conducted in a half-sib progenies test with *Eucalyptus viminalis* established in Santa Cecília, State of Santa Catarina, Brasil. The test was based on three Australian provenances (Bombala, SE Bendoc and SW Bendoc) grouped in one single breeding population. The objectives were: a) to estimate genetic parameters for growth and wood quality characteristics; b) to verify how those characteristics are correlated; c) to compare the genetic gains estimated through the combined selection with the genetic gains estimated through the selection among and within progenies, and; d) to compare the non-destructive with the destructive method for determination of wood basic density, for tree selection. For those purposes, thirty progenies randomly selected in the population were evaluated at the age of 43 months, for height, DBH, cilindric volume, wood basic density and extractives, lignin and holocelulose contents, on a per tree basis. A completely randomised block design was used. Due to the perspectives for good genetic gains, tree selection must be based on growth characteristics and wood basic density. Chemical wood contents should not be used as selection criteria due to low magnitude of the estimateds genetic gains. The procedure of tree selection based on growth characteristics did not cause any significant change in the basic density neither in the chemical contents of wood. The selection based on basic density was not related with significant changes in the wood chemical contents. Wood basic density at DBH level, or at 50% of tree total height, is a reliable guide for selection, because of the high additive genetic correlation with tree average basic density. The average basic density for any tree can be estimated with good precision by using linear regression models: basic density at the DBH level, or at 50% of tree total height, should be the independent variables. Increment cores taken at DBH level were the most viable alternative to select trees for wood basic density. For the transformation of the progenie test in a seed orchard this study has recommended the use of combined selection procedure and the design of a selection index, based on tree volume and wood basic density.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKACHUKU, A.E. The possibility of tree selection and breeding for genetic improvement of wood properties of *Gmelina arborea*. Forest Science, v.30, n.2, p.275-283, 1984.
- ALLARD, E.W. Principios do melhoramento genético das plantas. São Paulo, Edgard Blucher, 1971. 381p.
- ARBEZ, M.; MILLIER, C. Variabilite, heritabilite et correlations entre caracteres chez de jeunes Pins Laricio de Calabre (*Pinus nigra* Arn. spp. Laricio, var. *calabrica*). Consequences et problemes des indices de selection. In: IUFRO GENETICS - SABRAO JOINT SYMPOSIA. (1972: TOKYO). Proceedings. Tokyo: The Government Forest Experiment Station of Japan, 1972. p.A - 10(v)1-32.
- ARBUTHNOT, A. The influence of basic wood density of eucalypts on pulp and properties. In: IUFRO SYMPOSIUM INTENSIVE FORESTRY: The role of *Eucalyptus*. (1991: Durban). Proceedings. p.966-975.
- ASSIS, T.F. Melhoramento genético do eucalipto. Informe Agropecuário. Belo Horizonte, 12(141):p.36-46. 1986.
- ASSIS, T.F.; BRUNE, A.; NASCIMENTO FILHO, M.B.; FONSECA, J.B. Teste de progênies de *Eucalyptus grandis* Hill. Ex Maiden. Silvicultura, n.28, p.165-167, 1983.
- ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. Normas de ensaio. São Paulo, 1968. n.p.
- BARRICHELO, L.E.G. Estudo das características físicas, anatômicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. e Golf para a produção de celulose kraft. Piracicaba, 1979. 167p. Tese (Livre-Docente) - ESALQ.
- BARRICHELO, L.E.G. *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; principais interações entre as características da madeira e o rendimento e qualidade da celulose. Piracicaba, IPEF, 1980. 10p. (IPEF. Circular Técnica, 86).

- BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. A madeira de Pinus taeda como matéria-prima para celulose Kraft. I. Influência dos teores de lenhos. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (3: 1978: Manaus). Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1978. v.2. p.13-16.
- BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. Variabilidade longitudinal e radial da madeira de Eucalyptus grandis. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL (17: 1984: São Paulo). 17º Congresso... São Paulo, Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel, 1984. p.403-409.
- BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O.; COUTO, H.T.Z.; CAMPINHOS JUNIOR, E. Densidade básica, teor de holocelulose e rendimento em celulose da madeira de Eucalyptus grandis. In: SIMPÓSIO IUFRO EM MELHORAMENTO GENÉTICO E PRODUTIVIDADE DE ESPÉCIES FLORESTAIS DE RÁPIDO CRESCIMENTO (1980: Águas de São Pedro) Anais. São Paulo, Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1983. p.802-808.
- BORGES, R.C.G. Estimativas de herdabilidades e correlações entre caracteres de crescimento em Eucalyptus grandis. Viçosa, 1980. 42p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- BRIDGWATER, F.E.; LEDIG, F.T. Selecting for super trees. Journal of Forestry, Washington, v.84, n.2, p.53-56, 1986.
- BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Aspectos florestais e tecnológicos da matéria-prima para carvão vegetal, Piracicaba, IPEE, 1979. 4p. (IPEF. Circular Técnica, 67).
- BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: 2º SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS (2: 1982: São Paulo). Palestras apresentadas. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982, p.101-137.
- BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I. Densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. IPEE, n.14, p.9-20, 1977.
- BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: 2. Densidade da madeira x densidade do carvão. IPEE, Piracicaba, n.20, p.121-126, 1980.
- BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Química da madeira. Piracicaba: ESALQ/USP, 1985. 126p.

- BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G.; COUTO, H.T.Z. do; MENDES, C.J.; REZENDE, G.C. de. Estudo do comportamento de madeiras de eucalipto frente ao processo de destilação seca. Boletim Técnico. IBDF, n.8, p.5-36, 1984.
- BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G.; FERREIRA, M. O melhoramento dos caracteres da madeira frente à produção de celulose e papel. Boletim Informativo. IPEE. v.6, n.19, p.95-115, 1978.
- BUSNARDO, C.A.; GONZAGA, J.V.; FOELKEL, C.E.B.; DIAS, C.; MENCHELLI, S. Em busca da qualidade ideal da madeira do eucalipto para produção de celulose. III. A importância da altura de amostragem para avaliação da densidade básica da árvore. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL (3: 1983: São Paulo). Anais. p.55-72.
- CAMPBELL, A.G.; KIM, W.J.; KOCH, P. Chemical variation in lodgepole pine with sapwood/heartwood, stem height, and variety. Wood and Fiber Science, v.22, n.1, p.22-30, 1990.
- CAMPOS, H. Estatística experimental não-paramétrica, Piracicaba: FEALQ, 1983, 349p.
- CAMPOS, H. Estatística aplicada à experimentação com cana-de-açúcar. Piracicaba: FEALQ, 1984. 292p.
- CARPIM, M.A.; BARRICHELO, L.E.G. Variabilidade da densidade da madeira de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL (2: 1983: São Paulo). Anais. São Paulo, 1983. v.1, p.127-137.
- CASTRO, N.H.C. Número de repetições e eficiência da seleção em progênies de MEIOS-IRMÃOS de *Eucalyptus camaldulensis*. Lavras, 1992. 121p. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras.
- CARVALHO, P.E.R.; COSTA, J.M. Comportamento de essências florestais em condições de arboreto em quatro locais do Estado do Paraná. IN: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 4.: Bracatinga uma alternativa para reflorestamento, 1981. Anais. Curitiba, EMBRAPA-URPFCS, 1981. p.161-170. (EMBRAPA-URPFCS. Documentos, 5).
- DAVIDSON, J. Variation association and inheritance of morphological and wood characters in an improvement programme for *Eucalyptus deglupta* Blume. S.I., 1972. 263p. Tese (Doutorado) - The Australian National University.
- DEAN, C.A.; COTERIL, P.P. & CAMERON, J.N. Genetic parameters and gains expect from multiple trait selection of radiata pine in eastern Victoria. Australian Forest Research, v.13, p.271-278, 1983.

- DUDLEY, J.W. & MOLL, R.H. Interpretation and use of estimation of heritability and genetic variances in plant breeding. Crop Science, v.2, n.3, p.257-262, 1969.
- EINSPAHR, D.W.; GODDARD, R.E.; GARDNER, H.S. Slash Pine, Wood and fiber property heritability study. Silvae Genetica, v.13, n.4, p.103-109, 1964.
- ELDRIDGE, K.G. Genetic improvement of eucalypts. Silvae Genetica, v.27, n.5, p.205-209, 1978.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, Curitiba-PR. Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado do Paraná. Curitiba, 1986. 89p. (EMBRAPA-CNPF. Documentos, 17).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, Curitiba-PR. Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina. Curitiba, 1988. 113p. (EMBRAPA-CNPF. Documentos, 21).
- FALCONER, D.S. Introdução à genética quantitativa. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1987. 279p.
- FERRARI, G. Dati preliminary sulla variabilità individuale delle caratteristiche del legno in *Pinus radiata*. Celulosa e Carta, v.35, n.1, p.21-25, 1984.
- FERREIRA, M. Estudo da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith. Piracicaba, 1968. 71p. Tese (Doutorado) - ESALQ.
- FERREIRA, M. Escolha de espécies de eucalipto. Piracicaba: IPEF, 1979. 28p. (IPEF. Circular Técnica, 47).
- FERREIRA, M. Terminologia de melhoramento genético florestal. EMBRAPA-URPFCS, 1982. 91p. (EMBRAPA-URPFCS. Documentos 8).
- FERREIRA, C.A.; FREITAS, M.; FERREIRA, M. A variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp., em função da idade e qualidade de local. Boletim Informativo IPEF, Piracicaba, v.6, n.20, p.B-1/B-19, 1978.
- FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P.Y. Melhoramento genético da densidade da madeira de eucalipto. Boletim Informativo IPEF, Piracicaba, v.6, n.20, p.A-1/A-14, 1978.
- FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P.Y. Melhoramento genético da densidade básica da madeira de eucalipto. Silvicultura, v.2, n.14, p.148-152, 1978.
- FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELO, L.E.G. Tecnologia de celulose e papel. Piracicaba: ESALQ - Departamento de Silvicultura, 1975. 207p.

- FOELKEL, C.E.B.; BRASIL, M.A.M.; BARRICHELO, L.E.G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. IPEE. Piracicaba, n.2/3. p.65-74, 1971.
- FONSECA, S.M. Estimación e interpretação dos componentes da variação total em experimentos de melhoramento florestal. IN: CURSO PRÁTICAS EXPERIMENTAIS EM SILVICULTURA (1979: Piracicaba). Piracicaba: IPEF, 1979. p.H1-H20.
- FONSECA, S.M. Variações fenotípicas e genéticas em bracatinha *Mimosa scabrella* Benth. Piracicaba, 1982. 86p. Tese (Mestrado) - ESALQ.
- FRAMPTON JUNIOR, L.J.; ROCKWOOD, D.L. Genetic variation in traits important for energy utilization of sand and slash pines. Silvae Genetica, v.32, n.1/2, p.18-23, 1983.
- GARCIA, C.H. Tabelas para classificação do coeficiente de variação. IPEE, Piracicaba, 1989. 12p. (Circular Técnica, 171).
- GOLDENBERG, J.B. El empleo de la correlación en el mejoramiento genético de las plantas. Eitotécnica Latino Americana, v.5, p.1-8, 1968.
- GOLFARI, L.; CASER, R.L.; MOURA, V.P.G. Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil; 2ª aproximação). Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1978. 66p. (PRODEPEF. Série Técnica, 11).
- GUIMARÃES, D.F.; MOURA, V.P.G.; REZENDE, G.C.; MENDES, C.J.; MAGALHÃES, J.G.R.; ASSIS, F.T.; ALMEIDA, M.R.; RESENDE, M.E.A.; SILVA, F.V. Avaliação silvicultural, dendrométrica e tecnológica de espécies de *Eucalyptus*. Boletim de Pesquisa Florestal, Planaltina, (20):7-73, 1983.
- HARRIS, J.M. A melioración de la calidad du bois. Unasylyva, v.24, n.213, p.32-36, 1970.
- HIGA, A.R. Genetic variation and frost resistance in *Eucalyptus viminalis* Labill. Camberra, The Australian National University, 1989. 265p. Tese Doutorado.
- HIGA, A.R.; CARVALHO, P.E.R. Sobrevivência e crescimento de doze espécies de eucalipto em Dois Vizinhos, Paraná. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (6: 1986: Campos do Jordão). Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, v.3, n.42, p.459-462, 1990.
- JANKOWSKY, I.P. Madeira juvenil, formação e aproveitamento industrial, Piracicaba: IPEF, 1979. 18p. (IPEF. Circular Técnica, 81).

- JOURDAIN, C.J.; OLSON, J.R. Wood property variation among forty-eight families of american sycamore. Wood and Fiber Science, v.16, n.4, p.498-507, 1984.
- JUVILLAR, J.B. O carvoejamento da madeira e seus reflexos na qualidade do carvão: qualidade da madeira. Piracicaba: IPEF, 1979. 6p. (IPEF-Circular Técnica, 64).
- KAGEYAMA, P.Y. Variação genética em progênes de uma população de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Piracicaba, 1980. 125p. Tese (Doutorado) - ESALQ.
- KAGEYAMA, P.Y. Seleção precoce a diferentes idades em progênes de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Piracicaba, 1983. 147p. Tese (Livre docência) - ESALQ.
- KAGEYAMA, P.Y.; MORA, A.L.; BARRICHELO, L.E.G.; MIGLIORINI, A.J.; SANSIGOLO, C.A. Variação genética para densidade da madeira em progênes de *Eucalyptus grandis*. IN: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (4.:1982:Belo Horizonte). Anais, São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1983. p.318-324.
- KAGEYAMA, P.Y.; VENCOSKY, R. Variação genética em progênes de uma população de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. IPEF, n.24, p.9-26, 1983.
- KRIEBEL, H.B.; NAMKOONG, G. & USANIS, R.A. Analysis of genetic variation in 1,2 and 3 years old eastern white pine in incomplete diallel cross experiments. Silvae Genetica, v.21, p.44-48, 1972.
- LAVORANTI, O.J. Práticas de química da madeira; procedimento analítico (compêndio). Curitiba: EMBRAPA-CNPF, 1986. 69p.
- LEE, C.H.; RIEMENSHNEIDER, D.E. Effect of alcohol-benzene extractives on genetic variation in jack pine wood properties. In: PACIFIC REGIONAL WOOD ANATOMY CONFERENCE (2: 1989: Laguna). Proceedings. Forest Products Research and Development Institute, 1989. p.79-87.
- LEMO, R.C. de; SANTOS, A.D. dos; ARAÚJO, J.E.G.; PAVAGEAU, M. Manual de método de trabalho de campo; 1ª aproximação, s.l., Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1967. 33p.
- LOO, J.A.; TAUER, C.G. & McNEW, R.W. Genetic variation in the time transition from juvenile to mature wood in loblolly pine (*Pinus taeda* L.). Silvae Genetica, v.34, n.1, p.14-19, 1985.

- MAGALHÃES, J.G.R. A qualidade da madeira, seus efeitos na qualidade do carvão e impactos econômicos de sua utilização. In: SIMPÓSIO BILATERAL BRASIL-FINLÂNDIA SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS (1988: Curitiba). Anais. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1988. p.198-213.
- MALAN, F.S. Genetic variation in some growth and wood properties among 18 full-sib families of South African grown *Eucalyptus grandis*: a preliminary investigation. South African Forestry Journal, n.146, p.38-43, 1988.
- MARTON, R.; STAIRS, G.R.; SCHREINER, E.J. Influence of growth rate and clonal effects on wood anatomy and pulping properties of hibrid poplars. IAPPI, Atlanta, v.51, p.230-235, 1968.
- MATHESON, A.C.; TURNER, C.H.; DEAN, G.H. Genetic variation in the pulp qualities of *Eucalyptus obliqua* L'Herit. Appita, v.39, n.3, p.205-212, 1986.
- MATZIRIS, D.I. Variation of wood density in radiata pine grown from four seed sources at two sites in Greece. Silvae Genetica, v.28, n.2/3, p.104-106, 1979.
- MEIER, R.J.; COGGANS, J.F. Heretability of height, diameters and specific gravity of young virginian pine. Forest Science, v.23, n.4, p.450-456, 1977.
- MOHN, C.A.; RANDALL, W.K. Inheritance and correlation of growth characters in *Populus deltoides*. Silvae Genetica, v.20, p.182-184, 1970.
- MORAES, M.L.T. Variação genética da densidade básica da madeira em progênies de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e suas relações com as características de crescimento. Piracicaba, 1987. 115p. Tese (Mestrado) - ESALQ.
- MORI, E.S.; KAGEYAMA, P.Y.; FERREIRA, M. Variação genética e interação progênies x locais em *Eucalyptus urophylla*. IPEE, n.39, p.53-63, 1988.
- MORI, E.S.; LELLO, L.R.B.; KAGEYAMA, P.Y. Efeitos da interação genótipo x ambiente em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith. IPEE, n.33, p.19-25, 1986.
- MOURA, V.P.G. Provenance variation of *Eucalyptus camaldulensis* Debnh. in Brazil. Oxford, 1986. 304p. Tese (Doutorado) - Oxford University.
- MUZILLI, O.; LANTMANN, A.F.; PALHANO, J.B.; OLIVEIRA, E.L.; PARRA, M.S.; COSTA, A.; CHAVES, J.C.D.; ZOCOLER, D.C. Análise de solos; interpretação e recomendação de calagem e adubação para o Estado do Paraná. Londrina, Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, 1978. 49p. (Circular IAPAR, 9).

- NAMIKAWA, I.S.; BAH, R.; BARRICHELO, L.E.G. Variação da densidade básica de *Pinus taeda* L. São Paulo. O Papel. v.51, n.2, p.45-50, 1990.
- NICHOLLS, J.W.; MORRIS, J.D.; PEDERICK, L.A. Heritability estimates of density characteristics in juvenile *Pinus radiata* wood. Silvae Genetica, v.29, n.2, p.54-61, 1980.
- NYLINDER, P. Wood quality and fiber product. In: IUFRO MEETING (5: 1973: Pretoria). Proceedings. Pretoria, v.2. p.832-844, 1973.
- OLIVEIRA, J.B.O.; VIVACQUA FILHO, A.; MENDES, M.G.; GOMES, P.A. Produção de carvão vegetal - aspectos técnicos. In: PENEDO, W.L. Produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte: CETEC. 1982. p.61-73. (CETEC. Publicações Técnicas, 8).
- OLIVEIRA, E.B. de; RESENDE, M.D.V.; HIGA, A.R.; OANDA, G.R. PA-GIS - um software para análise genética e índices de seleção em experimentos florestais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (1993: Curitiba). Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1993. v.2. p.727-728.
- ONUKY, M.; GONZAGA, J.V.; FREITAS, A.J.P.; RECH, L.R.D. Estudo da variação genética em progênies de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden para as características de crescimento, densidade básica da madeira e resistência à podridão branca do cerne. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (5: 1986: Olinda). Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1986. p.117.
- OTEGBEYE, G.O.; KELLISON, R.C. Genetics of wood and bark characteristics of *Eucalyptus viminalis*. Silvae Genetica. v.29, n.1, p.27-31, 1980.
- PAIVA, J.R.; MIRANDA FILHO, J.B.; SIQUEIRA, E.R.; VALOIS, A.F.C. Parâmetros genéticos em seringueira em condições de viveiro. Revista Brasileira de Genética, v.6, n.3, p.505-525, 1983.
- PATERNIANI, E.; MIRANDA FILHO, J.B. Melhoramento de populações. In: PATERNIANI, E. (Ed.). Melhoramento e produção do milho no Brasil. Piracicaba: Fundação Cargill, 1978. p.202-247.
- PATIÑO-VALERA, F. Variación genética em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith e sua interação com o espaçamento. Piracicaba, 1986. 211p. Tese (Mestrado) - ESALQ.
- PEREIRA, J.C.D. A influência do ritmo de crescimento na densidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii*. Piracicaba, 1982. 98p. Tese (Mestrado) - ESALQ.

- PIMENTEL GOMES, F. Curso de estatística experimental. 7.ed. Piracicaba. Livraria Nobel S.A., 1977. 430p.
- PINTO JUNIOR, J.E. Variabilidade genética em progênies de uma população de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake da Ilha de Flores - Indonésia. Piracicaba, 1984. 164p. Tese (Mestrado) - ESALQ.
- PRYOR, L.D. Inheritance, selection and breeding in eucalyptus. In: WORLD EUCALYPTUS CONFERENCE (2: 1961: São Paulo). Report and documents. v.1, p.297-304.
- RESENDE, M.D.V.; VENCOSKY, R. Condução e utilização de bancos de conservação genética de espécies de eucalipto. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (6: 1990: Campos do Jordão). Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. v.3, p.434-439.
- RESENDE, M.D.V.; HIGA, A.R. Aplicación de técnicas de análisis multivariado en el estudio de la divergencia genética entre procedencias de *Eucalyptus viminalis*. In: "JORNADAS SOBRE EUCALIPTOS DE ALTA PRODUCTIVIDAD", Buenos Aires, 1991^a. Actas. v.1, p.139-154.
- RESENDE, M.D.V. Correções na expressão do progresso genético esperado com seleção em função do tamanho finito das famílias e implicações no melhoramento florestal. Boletim de Pesquisa Florestal, 1991^b (no prelo).
- RESENDE, M.D.V.; HIGA, A.R. Estimación de valores genéticos no melhoramento do eucalipto. I. Seleção em um caráter com base em informações dos indivíduos e seus parentes. Boletim de Pesquisa Florestal, 1992 (no prelo).
- ROBINSON, H.F.; COCKERHAM, C.C. Estimación y significado de los parametros genéticos. Fitotécnica Latino Americanan, v.2, p.23-38, 1965.
- ROBINSON, H.F.; CONSTOCK, R.B. & HARVEY, D.H. Genotypic and phenotypic correlation in corn and their implications in selection. Agronomy Journal, v.43, p.282-287, 1951.
- SEARLE, R.S. Linear models. New York: J.Willey, 1971. 532p.
- SHELBOURNE, J.A.; ZOBEL, B.J.; STONECYPHER, R.W. The inheritance of compression wood and its genetic and phenotypic correlations with other traits in five-year-old loblolly pine. Silvae Genetica. v.18, p.43-47, 1969.
- SHEPHERD, K.R. General genetics and inheritance. In: INTERNAL TRAINING COURSE IN FOREST TREE BREEDING (1977): Canberra). Selected reference papers. Canberra: Australian Development Assistance Agency, 1977. p.43-59.

- SHIMIZU, J.Y.; SARAIVA, O. Eucalipto para energia no oeste do Paraná. EMBRAPA-CNPF, Curitiba, 1987. 9 p. (Circular Técnica, 11).
- SHIMIZU, J.Y.; KAGEYAMA, P.Y. & HIGA, A.R. Procedimentos e recomendações para estudos de progênies de essências florestais. Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1982. 33p. (EMBRAPA-URPFCS. Documentos nº 11).
- SILVEIRA, R.A. Conservação genética "ex-situ" de populações de espécies de *Eucalyptus* L'Her. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (5: 1986: Olinda). Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1986. p.89-94.
- SLOOTEN, H. van der. A importância da densidade da madeira na produtividade florestal. Brasília: PRODEPEF, 1977. 8p. (PRODEPEF. Comunicação Técnica, 13).
- SMITH, W.S. The heritability of fibre characteristics and its application to wood quality improvement in forest trees. Silvae Genetica, v.16, n.2, p.41-50, 1967.
- SOUZA, V.R.; CARPIN, M.A.; BARRICHELO, L.E.G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posições em árvores de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*. IPEE, n.33, p.65-72, 1986.
- SOUZA, S.M. de; RESENDE, M.D.V.; SILVA, H.D. da; HIGA, A.R. Variabilidade genética e interação genótipo x ambiente envolvendo procedências de *Eucalyptus cloesiana* F. Muell., em diferentes regiões do Brasil. Revista Árvore, v.16, n.1, p.1-17, 1992.
- STONECYPHER, R.W.; ZOBEL, B.J.; BLAIR, R. Inheritance patterns of loblolly pines from a nonselected natural population. Raleigh: North Carolina Agricultural Experiment Station, 1973. 60p. (Tech. Bul., 220).
- STURION, J.A.; PEREIRA, J.C.D.; CHEMIN, M.S. Qualidade da madeira de *Eucalyptus viminalis* para fins energéticos em função do espaçamento e idade de corte. Boletim de Pesquisa Florestal, Curitiba, (16):55-59, 1988.
- STURION, J.A.; PEREIRA, J.C.D.; ALBINO, J.C.; MORITA, M. Variação da densidade básica da madeira de doze espécies de *Eucalyptus* plantadas em Uberaba, MG. Boletim de Pesquisa Florestal, Curitiba, (14):28-38, 1987.
- TAUER, C.G.; MCNEW, R.W. Inheritance and correlation of growth of shortleaf pine in two environments. Silvae Genetica, v.16, p.1-6, 1967.
- TODA, R. Heritability problems in forest genetics. In: IUFRO GENETIC SABRAO JOINT SYMPOSIA. (1972: Tokyo). Proceedings. Tokyo: The Government Forest Experiment Station of Japan, 1972. p.A-3(I) - A-3(I)9.

- TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Useful method 250: Acid-soluble lignin in wood and pulp. Testing methods and recommended practices. 2 vol. 1968.
- TORGLER, M.G.F. Variação genética em progênies dentro de procedências de *Eucalyptus saligna* Smith. Piracicaba, 1987. 200p. Tese (Mestrado) - ESALQ.
- TURNER, C.H.; BALODIS, V.; DEAN, G.H. Variability in pulping quality of *E. globulus* from Tasmania provenances. Appita, v.36, n.5, p.371-376, 1983.
- TURVEY, N.D.; SMETHURST, P.J. Variations in woody density of *Pinus radiata* D. Don across soil types. Australian Forest Research, v.15, n.1, p.43-49, 1985.
- VALENTE, O.F. Carbonização da madeira de eucalipto. Informe Agropecuário. Belo Horizonte, 12(141). p.74-77. 1986.
- VELLO, N.A.; VENCOVSKY, R. Variâncias associadas às estimativas de variâncias genéticas e coeficientes de herdabilidade. Relatório Científico do Departamento de Genética - ESALQ, n.8, p.238-248, 1974.
- VENCOVSKY, R. Genética quantitativa. In: KERR, W.C. Coord. Melhoramento e Genética. São Paulo, Melhoramento, 1969. p.17-37.
- VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E. Coord. Melhoramento do milho no Brasil. Piracicaba, Fundação Cargill, 1978. p.122-201.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto: Revista Brasileira de Genética, 1992. 486p.
- VITAL, B.R.; JESUS, R.M.; VALENTE, O.F. Efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. Revista Árvore, v.10, n.2, p.151-160, 1986.
- WRIGHT, J.W. Introduction to forest genetics. New York: Academic Press, 1976. 463p.
- ZOBEL, B.J. Genetic manipulation of wood of the southern pines including chemical characteristics. Wood Science and Technology, v.5, p.255-271, 1971.
- ZOBEL, B.J.; TALBERT, J. Applied forest tree improvement. New York: J. Willey, 1984. 505p.

ANEXOS

ANEXO 1. MÉDIAS DE CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO E DE QUALIDADE DA MADEIRA DE TRINTA PROGÊNIES DE MEIOS-IRMÃOS DE *Eucalyptus viminalis*, AOS 43 MESES DE IDADE, EM SANTA CECÍLIA, SC

PROG.	Alt. (m)	DAP (cm)	VC (m ³ /árv.)	Dbc (g/cm ³)	Dbb (g/cm ³)	Db50 (g/cm ³)	Dbm (g/cm ³)	Extrativos (%)	Lignina (%)	Holocelulose (%)
7	12,1	9,9	0,0931	0,440	0,438	0,452	0,445	3,26	25,36	71,37
9	11,0	8,9	0,0684	0,440	0,432	0,455	0,446	3,32	25,45	71,23
11	11,3	9,2	0,0751	0,462	0,458	0,463	0,460	3,00	25,39	71,60
13	12,6	10,6	0,1112	0,457	0,454	0,465	0,460	3,12	24,91	71,97
18	12,7	10,6	0,1121	0,467	0,462	0,486	0,467	2,84	24,55	72,61
19	12,3	10,1	0,0985	0,444	0,444	0,453	0,449	3,05	25,47	71,48
20	12,6	10,3	0,1050	0,490	0,473	0,494	0,491	2,83	25,37	71,80
24	11,9	10,1	0,0953	0,441	0,434	0,452	0,445	3,13	25,45	71,42
25	11,3	9,0	0,0719	0,448	0,445	0,453	0,447	3,20	25,49	71,31
28	13,4	11,0	0,1273	0,440	0,434	0,443	0,442	3,49	24,88	71,63
32	11,8	9,7	0,0872	0,438	0,434	0,445	0,442	3,21	25,30	71,49
33	12,5	10,3	0,1041	0,426	0,420	0,447	0,435	3,32	25,14	71,54
41	10,7	8,6	0,0622	0,464	0,456	0,477	0,468	3,48	25,00	71,52
45	12,7	10,4	0,1079	0,456	0,450	0,471	0,459	3,36	25,39	71,25
46	10,9	9,3	0,0740	0,429	0,426	0,433	0,431	3,10	25,30	71,59
49	11,5	9,2	0,0764	0,436	0,428	0,443	0,439	3,15	25,92	70,93
51	11,8	9,3	0,0801	0,438	0,435	0,446	0,437	3,29	25,07	71,64
52	11,5	9,5	0,0815	0,437	0,430	0,437	0,436	2,74	25,75	71,51
53	10,3	8,6	0,0598	0,440	0,439	0,429	0,437	3,07	25,88	71,05
54	12,2	10,5	0,1056	0,464	0,457	0,484	0,472	2,97	25,99	71,04
57	11,7	9,6	0,0847	0,453	0,444	0,479	0,460	3,02	25,88	71,10
59	10,7	8,4	0,0593	0,461	0,446	0,470	0,466	3,58	25,25	71,16
62	12,1	9,9	0,0931	0,439	0,430	0,448	0,439	3,10	25,55	71,35
63	10,4	7,9	0,0510	0,465	0,456	0,475	0,469	3,14	25,59	71,27
66	11,6	9,4	0,0805	0,459	0,455	0,473	0,464	2,82	26,03	71,15
67	12,5	10,7	0,1124	0,441	0,436	0,449	0,444	3,07	25,59	71,33
68	11,7	9,5	0,0829	0,427	0,427	0,441	0,432	3,30	25,94	70,76
70	11,3	9,3	0,0768	0,441	0,443	0,455	0,448	3,03	25,41	71,56
71	11,4	9,2	0,0758	0,438	0,433	0,446	0,442	3,22	25,39	71,39
74	10,8	9,1	0,0702	0,439	0,436	0,443	0,442	2,80	25,25	71,94

Onde: VC = volume cilíndrico; Dbc e Dbb = densidades básicas determinadas ao nível do DAP, por meio de cunha e de bagueta, respectivamente; Db50 = densidade básica determinada a 50% da altura da árvore, por meio de cunha; Dbm = densidade básica média da árvore.

ANEXO 2. QUADRADO MÉDIO PARA CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO E DE QUALIDADE DA MADEIRA ENTRE AS PROCEDÊNCIAS DE SW BENDOC, SE BENDOC E BOMBALA DE *Eucalyptus viminalis*, AOS 43 MESES DE IDADE, EM SANTA CECÍLIA, SC

CAUSAS VARIACÃO	G.L.	Alt. (m)	P\F	DAP (cm)	P\F	VC (m ³ /árv.)	P\F	Dbc (g/cm ³)	P\F	Dbb (g/cm ³)	P\F	Db50 (g/cm ³)	P\F	Dbm (g/cm ³)	P\F	Ext. (Z)	P\F	Lig. (Z)	P\F	Hol. (Z)	P\F
Blocos	r-1	0,2790	0,52	0,2315	0,51	0,0019	0,41	0,000064	0,44	0,000067	0,26	0,000111	0,16	0,000079	0,27	0,0360	0,14	0,1832	0,01	0,0902	0,24
Procedências	p-1	0,6630	0,16	0,6376	0,13	0,0038	0,17	0,000132	0,18	0,000126	0,10	0,000133	0,13	0,000120	0,16	0,0048	0,74	0,1654	0,03	0,1685	0,10
Resíduo (a)	(r-1)(p-1)	0,2906		0,2440		0,00017		0,00061		0,000042		0,000051		0,000051		0,0155		0,2786		0,0537	
COEF. VAR. (Z)		4,6		5,1		13,9		1,7		1,5		1,6		1,6		4,0		0,7		0,3	
Prog. d. Proc. $\sum_{\lambda} p \sum (f_i - 1)$		2,5990	0,10	2,6079	0,17	0,0017	0,10	0,001023	0,01	0,000757	0,01	0,001404	0,01	0,001023	0,01	0,2343	0,18	0,5460	0,20	0,5558	0,24
Prog. d. Proc.1 (f1-1)		2,8468	0,07	2,6506	0,16	0,0020	0,05	0,001351	0,01	0,000951	0,01	0,001317	0,01	0,001142	0,01	0,2162	0,23	0,5414	0,21	0,8376	0,05
Prog. d. Proc.2 (f2-1)		2,8676	0,07	2,3615	0,23	0,0016	0,13	0,000952	0,01	0,000826	0,01	0,001814	0,01	0,001088	0,01	0,2289	0,19	0,7070	0,08	0,3474	0,61
Prog. d. Proc.3 (f3-1)		2,0028	0,22	2,8117	0,13	0,0015	0,17	0,000765	0,01	0,000493	0,01	0,001000	0,01	0,000041	0,01	0,2579	0,13	0,3896	0,54	0,4824	0,35
Resíduo (b) $(r-1) \sum_{\lambda} (f_i - p)$		1,5490		1,7860		0,0010		0,000218		0,000191		0,000251		0,000204		0,1633		0,3949		0,4275	
COEF. VAR. (Z)		10,9		14,1		34,9		3,5		3,3		3,6		3,3		12,9		2,4		0,9	

Onde: Dbc e Dbb = densidades básicas determinadas no DAP, por meio de cunha e de bagueta, respectivamente;
 Db50 = densidade básica determinada a 50% da altura da árvore;
 Dbm = densidade básica média da árvore.