

**MELHORAMENTO DE EUCALIPTO VISANDO  
À OBTENÇÃO DE CLONES PARA A  
INDÚSTRIA DE CELULOSE**

**ODAIR BISON**

**2004**

**ODAIR BISON**

**MELHORAMENTO DE EUCALIPTO VISANDO À  
OBTENÇÃO DE CLONES PARA A INDÚSTRIA DE  
CELULOSE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof. Dr. Magno Antonio Patto Ramalho

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL

2004

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

Bison, Odair

Melhoramento de eucalipto visando à obtenção de clones para a indústria de celulose / Odair Bison. -- Lavras : UFLA, 2004.

169 p. : il.

Orientador: Magno Antonio Patto Ramalho.

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. *Eucalyptus*. 2. Genética quantitativa. 3. Endogamia. 4. Cruzamento dialélico. 5. Seleção recorrente. 6. Circunferência à altura do peito. 7. Densidade básica da madeira. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-631.523  
-634.97342

**ODAIR BISON**

**MELHORAMENTO DE EUCALIPTO VISANDO À  
OBTENÇÃO DE CLONES PARA A INDÚSTRIA DE  
CELULOSE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 24 de setembro de 2004.

Dr. Aurélio Mendes Aguiar

Aracruz Celulose S.A.

Dr. Hélder Bolognani Andrade

V & M Florestal Ltda.

Dr. Eduardo Bearzoti

UFLA/DEX

Dr. César Augusto Brasil Pereira Pinto

UFLA/DBI

Dr. Magno Antonio Patto Ramalho

UFLA/DBI

(Orientador)

LAVRAS

MINAS GERAIS - BRASIL

“A ciência todinha, em seu conjunto, não é mais do que um refinamento do pensamento comum do dia-a-dia.”

Albert Einstein

A todas as pessoas, que de alguma forma, contribuíram para que eu pudesse realizar o sonho de fazer um curso superior e, posteriormente, o mestrado e o doutorado.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir realizar este sonho.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), pela oportunidade concedida.

Ao CNPq, pela bolsa de estudos.

A Aracruz Celulose S. A., pela oportunidade de realizar este trabalho na empresa, em especial aos pesquisadores Gabriel Dehon Sampaio Peçanha Rezende, pela co-orientação e Aurélio Mendes Aguiar, pela atenção durante a fase de coleta dos dados.

Ao professor Magno Antonio Patto Ramalho, pela dedicada orientação, disponibilidade, pelos ensinamentos transmitidos e pelo estímulo em buscar sempre mais conhecimento.

Ao professor Eduardo Bearzoti e aos colegas José Airton Rodrigues Nunes e João Luís da Silva Filho, pela preciosa ajuda durante as análises estatísticas.

Aos membros da banca, por lerem este trabalho com atenção e pelas valiosas sugestões.

Aos professores do curso de Genética e Melhoramento de Plantas da UFLA, Magno Antonio Patto Ramalho, César Augusto Brasil Pereira Pinto, João Bosco dos Santos e Lisete Chamma Davide, pelos conhecimentos transmitidos durante as disciplinas cursadas.

Ao amigo Francislei Vitti Raposo, pelas valorosas conversas sobre melhoramento de plantas e pela colaboração na montagem dos experimentos.

A todos os colegas do curso de Genética e Melhoramento de Plantas que, de alguma forma, contribuíram para o meu crescimento profissional ou pessoal,

em especial ao meu colega de república Welcimar Gonçalves da Cunha, pela amizade.

À minha namorada, Lilian Rangel de Castilhos, pelo amor, carinho e incentivo diante dos obstáculos surgidos.

Ao meu padrinho, Diogenes Colombo, pela amizade e incentivo desde a graduação e pela ajuda nos momentos difíceis.

À minha família, Oldir (pai), Irene (mãe) e Olivar Bison (irmão), pela educação, carinho e ajuda.

Aos funcionários do Departamento de Biologia, pela atenção e carinho dedicados.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	iii
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	01
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	02
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	05
2.1 O sucesso da seleção clonal no Brasil.....	05
2.2 Principais espécies de eucalipto em uso no Brasil para a produção de celulose.....	08
2.3 Características da madeira para a indústria de celulose.....	12
2.4 Seleção recorrente.....	14
2.5 Alternativas de melhoramento utilizando clones.....	21
2.5.1 Cruzamentos entre clones.....	21
2.5.2 Autofecundação de clones elite.....	22
2.6 Estimação de componentes de variância genética.....	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
<b>CAPÍTULO 2 – DEPRESSÃO POR ENDOGAMIA EM CLONES COMERCIAIS DE EUCALIPTO</b> .....	41
RESUMO.....	42
ABSTRACT.....	43
1 INTRODUÇÃO .....	44
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	46
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4 CONCLUSÕES.....	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

<b>CAPÍTULO 3 – CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO ENTRE</b>	
<b>CLONES ELITE DE EUCALIPTO COM CLONES DE <i>Eucalyptus</i></b>	
<i>camaldulensis</i> E <i>Eucalyptus globulus</i> .....	64
RESUMO.....	65
ABSTRACT.....	66
1 INTRODUÇÃO .....	67
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	69
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
4 CONCLUSÕES.....	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
<b>CAPÍTULO 4 – ESTIMAÇÃO DA HETEROSE PARA</b>	
<b>CARACTERES DE CRESCIMENTO E PARA A QUALIDADE DA</b>	
<b>MADEIRA EM CRUZAMENTOS ENTRE <i>Eucalyptus grandis</i> x</b>	
<i>Eucalyptus urophylla</i> .....	115
RESUMO.....	116
ABSTRACT.....	117
1 INTRODUÇÃO .....	118
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	119
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	123
4 CONCLUSÕES.....	148
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	149
ANEXOS.....	152

## RESUMO

BISON, Odair. **Melhoramento de eucalipto visando à obtenção de clones para a indústria de celulose.** 2004. 169 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.\*

Com o intuito de avaliar o potencial de diferentes alternativas para a obtenção de clones de eucalipto que superem com vantagens os utilizados atualmente para a produção de celulose e também obter informações úteis aos programas de melhoramento, foram realizados três trabalhos distintos. No primeiro, o objetivo foi o de estimar a depressão por endogamia em clones comerciais e verificar a possibilidade de obtenção de plantas dentro da geração de autofecundação com desempenho superior ao clone parental. Para isso, foram avaliadas as gerações clonal ( $F_1$ ) e a autofecundada ( $F_2$ ) de dez clones elite da Aracruz Celulose S. A., em dois experimentos contíguos, conduzidos no município de Aracruz, ES. O delineamento utilizado em cada experimento foi o de blocos casualizados, com 40 repetições e uma planta por parcela. No segundo trabalho, o objetivo foi introgridir alelos de espécies que apresentam maior qualidade da madeira para o aumento do rendimento de celulose nos cruzamentos com *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* ou com o híbrido entre estas. Para isso, foram avaliadas 44 combinações híbridas entre seis clones elite da empresa com dez clones de *E. camaldulensis* e 47 combinações híbridas entre os mesmos seis clones elite com dez clones de *E. globulus*. As combinações híbridas foram obtidas por meio de cruzamentos dialélicos parciais. Nos dois dialelos também foram incluídos quatro clones comerciais como testemunhas. Os experimentos foram instalados em três locais: Aracruz, ES, São Mateus, ES e Caravelas, BA, utilizando o delineamento de blocos casualizados com 40 repetições e uma planta por parcela. No terceiro trabalho, o objetivo foi verificar se a seleção recorrente recíproca é vantajosa em relação à seleção recorrente intrapopulacional para o melhoramento da circunferência à altura do peito e da densidade básica da madeira. Para isso, foram avaliadas 62 famílias de meios-irmãos intrapopulacionais de *E. grandis*, 68 famílias de meios-irmãos intrapopulacionais de *E. urophylla* e 50 famílias de irmãos germanos interpopulacionais, além de quatro testemunhas. O experimento foi conduzido nos mesmos locais do trabalho anterior, em látice 14 x 14, com 40 repetições e uma planta por parcela. Em todos os casos, aos dois anos após o plantio foram avaliados os caracteres circunferência à altura do peito e densidade básica da

---

\* Comitê de orientação: Magno Antonio Patto Ramalho – UFLA (Orientador); Gabriel Dehon Sampaio Peçanha Rezende – Aracruz Celulose S. A.

madeira. Concluiu-se que: a estimativa da depressão por endogamia dependeu do clone avaliado, sendo, em média, de 17,5% para a circunferência à altura do peito e de 4,0% para a densidade básica da madeira. Para a maioria dos clones foi possível selecionar plantas na geração F<sub>2</sub> com desempenho superior ao clone parental, evidenciando que esta pode ser uma boa opção para os melhoristas procederem à seleção de plantas superiores. Os cruzamentos dialélicos mostraram-se promissores, tanto para a obtenção de ganhos em volume como na qualidade da madeira. A capacidade geral de combinação explicou a maior parte da variação entre os híbridos. Dos clones elite da empresa o testador mais apropriado variou com a espécie utilizada e segundo a característica avaliada. A heterose foi elevada para a circunferência à altura do peito, indicando divergência genética entre as famílias oriundas de *E. grandis* e *E. urophylla* e a presença de dominância no controle deste caráter, o que favorece a seleção recorrente recíproca nos programas de melhoramento visando maior volume de madeira. A heterose foi praticamente nula para a densidade básica da madeira embora os pais fossem divergentes, indicando que a interação alélica de dominância tem menor importância na sua expressão, o que favorece a seleção recorrente intrapopulacional se a seleção for direcionada apenas para este caráter. A correlação negativa observada entre a circunferência à altura do peito e a densidade básica da madeira poderá dificultar a seleção simultânea para ambos os caracteres, dependendo da faixa de densidade básica adotada pela indústria de celulose.

## ABSTRACT

BISON, Odair. *Eucalyptus* breeding to obtain clones for the cellulose industry. 2004. 169 p. Thesis (Doctorate in Genetics and Plant Breeding) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.\*

The objectives of this study were to determine the potential of different alternatives for obtaining *Eucalyptus* clones that could surpass the current ones in cellulose production, as well as to obtain useful information for breeding programs. Three researches were carried out. In the first the objective was to estimate the inbreeding depression in commercial clones and to check if it is possible to obtain F<sub>2</sub> individuals with a superior performance to their F<sub>1</sub> generation. For this, the clonal (F<sub>1</sub>) and inbred (F<sub>2</sub>) generations were evaluated in two contiguous experiments, carried out in Aracruz, Espírito Santo State, Brazil. A randomized complete block design with single plant plots and 40 replicates was used in both experiments. The objective of the second research was to introgress alleles from species that have better wood quality to increase cellulose productivity in crossings with *E. grandis* and *E. urophylla* or their hybrids. To do so, 44 hybrid combinations between six elite clones from Aracruz Celulose S. A. with ten *E. camaldulensis* and 47 hybrid combinations between the same six elite clones with ten *E. globulus* clones were evaluated. The hybrid combinations were obtained by means of two half-diallel mating designs. The resulting hybrid combinations as well as the four check clones were evaluated in two experiments, one for each diallel. Both experiments were carried out in three sites, Aracruz and São Mateus, in the Espírito Santo State, and Caravelas, Bahia State, Brazil, in a randomized complete block design with single plant plots and 40 replicates. The third work aimed at verifies if the reciprocal recurrent selection had any advantage over the recurrent selection for the improvement of the circumference at breast height and wood basic density. Sixty-two half-sib families of *E. grandis*, 68 half-sib families of *E. urophylla*, 50 full-sib families of *E. grandis* x *E. urophylla*, plus four checks were evaluated. The experiment was carried out in the same locations as for the previous research, using a 14 x 14 lattice design, with single plant plots and 40 replicates. In all three cases, two years following the planting, the circumference at breast height and the wood basic density were measured. It was concluded that the inbreeding depression varied among clones and it had an average of 17.5% for the circumference at breast height and 4.0% for the wood basic density. In most

---

\* Guidance Committee: Magno Antonio Patto Ramalho – UFLA (Advisor); Gabriel Dehon Sampaio Peçanha Rezende – Aracruz Celulose S. A.

cases it was possible to select F<sub>2</sub> trees with a higher performance than that of their (F<sub>1</sub>) parents, showing that this is a good strategy for breeders to select superior plants. The diallel crossings were promising both for the wood volume and wood quality gain. The general combining ability was responsible for most of the variations between the hybrids. As for the elite clones, the most appropriate tester varied according to each species used and with the trait being evaluated. The circumference at breast height showed high heterosis, indicating genetic divergence between the *E. grandis* and *E. urophylla* families, and also that dominance control this character. Thus, the reciprocal recurrent selection should be used as a strategy for breeding programs aiming a high wood volume. The heterosis was close to zero for the wood basic density. Since there was divergence between the parents, it can be inferred that dominance has no importance for this character. Consequently, the recurrent selection is the most appropriate if the selection is made only for the wood basic density. The negative correlation between the circumference at breast height and the wood basic density could impair the simultaneous selection for both characters, depending on the wood basic density range used by the industry.

# **CAPÍTULO 1**

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O sucesso obtido com o melhoramento genético do eucalipto no Brasil foi grande, especialmente associando a seleção com a propagação assexuada, que não só permitiu o aumento da produtividade de madeira como também o aumento da resistência a alguns patógenos e, sobretudo, maior uniformidade dos plantios comerciais.

Como a seleção clonal não permite a obtenção de ganhos subsequentes e a reamostragem das populações não aumenta a chance de extração de clones superiores aos já obtidos, é necessário o melhoramento prévio das populações para aumentar a frequência dos alelos favoráveis e, assim, aumentar a chance de se identificar clones superiores aos existentes (Gonçalves et al., 2001).

Muito embora o eucalipto seja considerado uma planta alógama, é estimado que ele possua uma frequência de autofecundação de 10% a 30% (Eldridge et al., 1993). Numa espécie com esta taxa de autofecundação seria importante verificar o efeito da endogamia na expressão fenotípica de alguns caracteres. Também é importante avaliar a carga genética presente nos clones comerciais para verificar a possibilidade da seleção por meio de métodos que utilizam famílias endogâmicas. Esse tipo de informação é muito restrito no gênero *Eucalyptus* em todo o mundo e, sobretudo, no Brasil.

Como não só o volume mas também a densidade da madeira afetam o consumo específico de madeira, uma opção bastante interessante para a obtenção de populações com média alta e grande variabilidade genética para estas características é a realização de cruzamentos entre clones elite de espécies que apresentam bom volume de madeira, como *E. grandis*, *E. urophylla* ou o híbrido entre estas, com espécies que apresentam alta densidade da madeira como *E. camaldulensis* e *E. globulus*. Além da alta densidade da madeira, a

espécie *E. camaldulensis* se destaca pela sua maior tolerância à seca e a *E. globulus* pelo seu menor teor de lignina, o que permite a redução do custo de extração da celulose e o aumento do rendimento, devido a menor degradação no processo de extração da lignina. O uso de cruzamentos dialélicos entre clones dessas espécies permite avaliar a capacidade de combinação, verificar o melhor testador para futuros trabalhos de melhoramento, assim como inferir a respeito do tipo de efeito gênico presente na expressão dos caracteres envolvidos.

Freqüentemente é enfatizado que plantas de populações de *E. grandis* têm boa capacidade de combinação com *E. urophylla* (Rezende & Resende, 2000; Assis, 2000; Baudouim et al, 1997; Ferreira & Santos 1997). Inclusive, é mencionado que os melhores clones são provavelmente híbridos entre estas duas espécies (Resende, 2002). Contudo, existem poucos trabalhos que efetivamente mostram a magnitude da heterose no cruzamento de plantas dessas duas espécies. Essa informação é fundamental na escolha da estratégia de seleção recorrente a ser utilizada.

Como já mencionado, o sucesso seletivo visando ao aumento no volume de madeira foi expressivo. Contudo, no caso de caracteres associados à qualidade da madeira, como a densidade básica, não foram encontrados relatos de estimativas de ganhos com a seleção. Considerando que nos futuros programas de seleção a qualidade da madeira deve receber maior atenção, é indispensável que seja verificado se a estratégia de seleção deve ser a mesma para ambos os caracteres. Para isso, é fundamental não só obter estimativas de correlações genéticas entre os caracteres, como também verificar se no controle genético destes há predominância do mesmo tipo de efeito gênico.

Para obter essas informações foram conduzidas várias ações de pesquisa com o objetivo de: estimar a depressão por endogamia em clones comerciais e verificar a possibilidade de obtenção de plantas dentro da geração de autofecundação com desempenho superior ao clone parental; introgridir alelos

de espécies que apresentam maior qualidade da madeira para o aumento do rendimento de celulose nos cruzamentos com *E. grandis*, *E. urophylla* ou com o híbrido entre estas e verificar se a seleção recorrente recíproca é vantajosa em relação à seleção recorrente intrapopulacional para o melhoramento da circunferência à altura do peito e da densidade básica da madeira.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 O sucesso da seleção clonal no Brasil

Os primeiros estudos com a cultura do eucalipto no Brasil tiveram início a partir de 1904, com Edmundo Navarro de Andrade, na Companhia Paulista de Estradas de Ferro, que introduziu, no Horto de Jundiaí, SP, uma série de espécies e procedências oriundas da Austrália, constatando boa adaptação do *Eucalyptus* no Brasil. Assim, foi estimulado o plantio desta cultura por fornecer, em menor tempo, combustível para a ferrovia, madeira para postes e dormentes (Vencovsky & Ramalho, 2000; Ferreira & Santos, 1997).

As espécies identificadas como as mais promissoras foram *E. grandis*, *E. saligna* e *E. urophylla*. Contudo, os plantios formados por essas espécies apresentavam baixa qualidade, sendo necessário o melhoramento das populações em cultivo. Por isso, Carlos Arnaldo Krug iniciou, em 1941, no Instituto Agrônomo de Campinas, o programa de melhoramento genético de eucalipto para a Companhia Paulista de Estradas de Ferro, com os seguintes objetivos: a) melhorar a uniformidade das plantações; b) reduzir o número de falhas; c) melhorar a forma do tronco, as características dos ramos, o crescimento em altura e diâmetro das árvores; d) melhorar a capacidade de brotação e e) aumentar a produtividade de madeira. Para atingir esses objetivos, o programa do Instituto Agrônomo de Campinas previa a seleção de áreas de produção de sementes, seleção de árvores superiores, hibridação interespecífica e seleção de mudas nos viveiros (Ferreira & Santos, 1997). Contudo, foi só a partir dos anos 1960, por iniciativa de algumas empresas privadas e também do setor público, que o melhoramento recebeu maior atenção e passou a ser realizado sistematicamente (Vencovsky & Ramalho, 2000).

A primeira ênfase nos programas de melhoramento foi dedicada a novas introduções de diferentes espécies e procedências de eucalipto das regiões de origem e identificação daquelas mais adaptadas às condições ambientais brasileiras. Posteriormente, os esforços foram concentrados na seleção massal de indivíduos superiores e seleção com famílias de meios-irmãos, com o objetivo de produzir sementes melhoradas de algumas espécies (Rezende, 2001).

Em 1967, a Aracruz Celulose S.A. iniciou o plantio de eucalipto no Espírito Santo. Logo verificou-se que a espécie com melhor produtividade de madeira foi *E. grandis*. Constataram, contudo, que nesta espécie havia grande proporção de indivíduos suscetíveis ao cancro (*Cryphonectria cubensis*). Por isso, começaram a trabalhar também com *E. urophylla*, que associava alta resistência ao cancro e boa produtividade de madeira. Já a partir de 1974 ficou evidenciado que o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* era uma combinação promissora para a obtenção de alta produtividade de celulose (Ferreira & Santos, 1997).

O grande avanço genético ocorreu quando os pesquisadores da Aracruz vislumbraram a possibilidade de se proceder a plantios clonais. Passaram então a selecionar árvores superiores, especialmente nos plantios comerciais, a maioria, ao que tudo indica, híbridos naturais envolvendo *E. grandis* e *E. urophylla*. A primeira plantação clonal comercial de eucalipto no Brasil foi implantada em 1979, cerca de 12 anos após o início do seu cultivo pela empresa. Para isso, foi utilizada a propagação vegetativa de estacas retiradas das brotações de cepas (Ferreira & Santos, 1997).

É importante mencionar que, em uma população de plantas alógamas, qualquer indivíduo é um híbrido simples, formado pela união ao acaso de dois gametas. Um dos modos de se perpetuar os melhores híbridos simples é por meio da seleção clonal. Desde que a população tenha variabilidade, a seleção de clones é o processo mais rápido e eficiente de aproveitar a heterose. Além do

mais, especialmente por facilidade na colheita e no manuseio das árvores após esta operação, a uniformidade devido à propagação clonal é uma enorme vantagem na exploração comercial de eucalipto. Outra vantagem da propagação clonal é que esta permite o aproveitamento no processo seletivo de toda a variância genética aditiva e de dominância, além dos efeitos epistáticos, resultando em maiores ganhos.

A seleção clonal, associada a técnicas de manejo, contribuiu para expressivo aumento no volume de madeira e produção de celulose por hectare, principalmente porque as empresas dispunham de milhões de plantas oriundas de propagação sexuada e evidentemente aplicaram uma forte intensidade de seleção. Tanto é assim que a produtividade de madeira passou de 20 m<sup>3</sup>/ha/ano em 1960 para 40 m<sup>3</sup>/ha/ano, em 1998 (Vencovsky & Ramalho, 2000).

Aliado a contínua seleção de indivíduos superiores para serem clonados, ocorreu um grande avanço nas técnicas de propagação vegetativa, tornando exequível a exploração da heterose, para atender à demanda do plantio de alguns milhares de hectares anuais.

Para comprovar a superioridade genética dos indivíduos fenotipicamente selecionados também é necessário que eles sejam multiplicados e avaliados em experimentos com repetições e em locais representativos das áreas de plantio comercial. Nestes testes vão ser definidos os clones que serão multiplicados em escala comercial, a partir de avaliações de campo e de laboratório.

A seleção de indivíduos superiores em plantios comerciais e posterior clonagem foi intensificada em todo o país. O sucesso, como já mencionado, foi grande. O progresso genético obtido na Aracruz Celulose S.A. para volume de madeira, de 1986 a 1994, utilizando este procedimento, foi superior a 2,5% ao ano (Gonçalves et al., 2001). Contudo, ficou evidenciado que este progresso ocorreu em função da avaliação de um número crescente de clones ao longo dos anos.

A seleção clonal é uma técnica de “fim de linha”, isto é, proporciona o máximo de ganho em uma única geração, mas, a partir daí, nenhum ganho adicional é conseguido. Assim, é importante que, além da seleção clonal, sejam conduzidos programas de melhoramento sexuado. Desse modo, são geradas continuamente novas combinações genótípicas para que possam ocorrer ganhos genéticos adicionais.

Muito embora sejam conduzidos programas de seleção recorrente no Brasil, a demanda futura de novos clones exige que se intensifiquem os trabalhos de seleção recorrente, tanto intra como interpopulacional. Adicionalmente, devem ser procuradas novas alternativas de populações que possibilitem melhoria na qualidade da madeira. Isso porque, até o momento, quase todo o esforço na seleção foi dedicado apenas ao volume de madeira.

## **2.2 Principais espécies de eucalipto em uso no Brasil para a produção de celulose**

O gênero *Eucalyptus* é originário da Austrália, um país de dimensões continentais e uma enorme diversidade de clima e solo. Em função da variação ambiental e do isolamento geográfico, originou-se uma grande diversidade genética que culminou com a separação de inúmeras espécies de acordo com o conceito tipológico (Mayr, 1977), uma vez que na maioria dos casos não ocorre isolamento reprodutivo entre elas, o que facilita o trabalho de melhoramento. Além do mais, devido à necessidade de adaptação aos diferentes nichos ecológicos existentes na Austrália, houve a formação de subpopulações dentro de uma mesma espécie, também denominadas procedências. Por esse motivo é que, dentro de uma mesma espécie de eucalipto, são encontradas procedências com diferenças em várias características de importância econômica, como taxa de crescimento, formato do tronco, resistência a geadas, à seca, aos insetos, aos fungos, tolerância à salinidade, à alcalinidade, à acidez e ao alagamento do solo

(Eldridge et al., 1993). Assim, na introdução do eucalipto em uma região nova, a avaliação de espécies e procedências é fundamental para se iniciar um programa de melhoramento.

Um trabalho que mostra a importância de se identificar as espécies e procedências mais adaptadas a uma determinada região foi o realizado por Andrade (1991). Neste trabalho foram introduzidas 12 espécies de eucalipto, envolvendo 112 procedências, nas regiões norte e nordeste de Minas Gerais. Constatou-se que houve variação entre as espécies e também entre as procedências para volume de madeira e na sobrevivência das árvores, destacando-se as espécies *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. cloeziana* e *E. pellita* como as mais promissoras.

Dentre as espécies de eucalipto em uso no Brasil, as mais utilizadas na indústria de celulose são *E. grandis* e *E. urophylla*, assim como o híbrido entre elas (Bertolucci et al., 1995). A espécie *E. grandis* é originária da Austrália, apresentando distribuição natural entre 16° e 33° de latitude Sul, sendo a maior ocorrência entre 26° e 33° Sul. A maioria das florestas naturais desta espécie ocorre no sul de Queensland e norte de New South Wales, em terras baixas na região costeira e em colinas com uma altitude em torno de 600 m, não se estendendo mais do que 100 km do mar (Eldridge et al., 1993). Esta é encontrada em vários tipos de solos, mas geralmente em solos profundos e bem drenados, com moderada fertilidade, não tolerando ambientes alagados. Nessas regiões, as precipitações variam de 1.000 a 1.800 mm anuais.

Esta espécie possui crescimento exuberante e é amplamente plantada em regiões subtropicais. Ela não é resistente à seca, mas uma precipitação média anual de 900 mm é geralmente adequada, desde que bem distribuída. Geadas fortes limitam a plantação em áreas com altas altitudes (Turnbull & Pryor, 1984). No Brasil, esta espécie destacou-se pelo seu rápido crescimento e grande adaptação. Suas árvores são retas e fornecem excelente madeira para serraria,

escoras e para a produção de celulose, sendo, por isso, uma espécie bastante utilizada nas áreas reflorestadas (Assis, 1996).

A espécie *E. urophylla* não é encontrada naturalmente na Austrália. Ela ocorre no Timor, Flores e outras ilhas da Indonésia, em latitudes que variam de 7° a 10° Sul, em altitudes de 300 a 3.000 m, com precipitações anuais de 1.000 a 2.000 mm. Apresenta crescimento muito bom em baixas altitudes e resistência ao cancro, causado pelo fungo *Cryphonectria cubensis* (Turnbull & Pryor, 1984). Esta é uma espécie de grande potencialidade para regiões de clima quente e de elevados déficits hídricos, devido ao seu bom desenvolvimento nestas condições, a boa qualidade da madeira para carvão, celulose, serraria e, principalmente, pela sua resistência ao cancro. Suas árvores são de grande porte, retas, com forte dominância apical e casca rugosa (Ruy, 1998).

A espécie *E. globulus* é uma das espécies de clima temperado que apresentam grande potencial em cruzamentos com *E. grandis* e *E. urophylla* para a geração de híbridos adaptados e com melhor qualidade da madeira. Ela é originária principalmente do leste da Tasmânia, ocorrendo também no sul do estado de Victoria e em algumas ilhas entre estes dois estados da Austrália. As latitudes destas regiões variam de 38° a 43° Sul, com altitudes de 0 a 1.100 m e precipitações de 600 a 1.100 mm/ano. Nas regiões mais elevadas, a ocorrência de geadas é freqüente no inverno, e algumas procedências apresentam poucos danos à geada. Esta espécie é mais comum em solos argilosos com moderada fertilidade ou solos pesados, bem drenados, mas com adequada umidade, não sendo muito tolerante à seca (Turnbull & Pryor, 1984).

A espécie *E. globulus* tem sido usada comercialmente em vários países de clima temperado, principalmente como fonte de fibra curta na indústria de papel e também como lenha e madeira para a serraria. Ela possui rápido crescimento, madeira de média a alta densidade básica, baixo teor de lignina,

alto rendimento de polpa e boas propriedades da fibra e do papel (Kibblewhite et al., 2000).

A espécie *E. camaldulensis*, em cruzamentos com outras espécies, como *E. grandis* e *E. urophylla*, também apresenta grande potencial para a indústria de celulose em regiões tropicais. Ela é originária da Austrália, sendo a espécie, dentro do gênero *Eucalyptus*, com mais ampla distribuição geográfica neste continente; ocorre em todos os estados, com exceção da Tasmânia, e é encontrada geralmente ao longo dos córregos e rios, muitos deles temporários, nas regiões com precipitações menores que 650 mm/ano ou nas margens de lagos salgados e em vários tipos de solos (Turnbull & Pryor, 1984). Esta é encontrada entre as latitudes de 12° a 39° Sul e as altitudes de 30 a 600 m, crescendo sob várias condições climáticas, desde regiões frias a muito quentes, subúmidas a semi-áridas, com precipitações anuais de 200 a mais de 1.100 mm (Eldridge et al., 1993). Apresenta boa produção de madeira em solos pobres e secos; porém, possui rápido crescimento quando tem água disponível. Apresenta, ainda, tolerância a períodos de alagamento, à salinidade dos solos e a altas temperaturas. A sua madeira tem sido usada como madeira serrada, na fabricação de postes, escoras, lenha e na produção de carvão e celulose (Turnbull & Pryor, 1984).

As empresas de celulose têm trabalhado com populações de *E. grandis* e *E. urophylla* para a produção de híbridos, devido à associação das características de rápido crescimento e bom formato do tronco de *E. grandis* com a boa capacidade de brotação, resistência ao cancro, à seca e maior densidade de *E. urophylla*. Tais fatores contribuem para uma boa capacidade de combinação entre estas duas espécies (Assis, 1996).

Na obtenção de híbridos interespecíficos, uma das etapas mais importantes é a escolha das populações a serem cruzadas. É importante mencionar que estas populações devem apresentar afinidade taxonômica, média

alta, boa complementaridade de fenótipos e também heterose quando cruzadas. Entre os métodos de escolha de populações, os cruzamentos dialélicos são os mais utilizados e, dependendo da metodologia de análise, permitem obter informações sobre a capacidade geral e específica de combinação e também da heterose (Cruz & Regazzi, 2001).

Escolhidas as populações com melhor capacidade de combinação, as melhores árvores dentro destas serão usadas para a obtenção dos híbridos interespecíficos. Após a avaliação e seleção entre e dentro dos híbridos, as melhores plantas serão multiplicadas para a implantação dos testes clonais e, posteriormente, os clones selecionados serão plantados em escala comercial. Além das características agronômicas favoráveis, estes clones devem apresentar facilidade de propagação vegetativa para permitir o estabelecimento de plantios clonais.

### **2.3 Características da madeira para a indústria de celulose**

Algumas características da madeira, como formato do tronco, volume de madeira e taxa de crescimento, devem ser levadas em consideração no melhoramento de eucalipto, independente da finalidade do programa.

A seleção de árvores retas permite a obtenção de melhores postes e escoras, melhor madeira para a serraria e é uma vantagem no empilhamento e manuseio das toras para lenha ou celulose. A maior taxa de crescimento permite que as árvores possuam maior volume de madeira no momento do corte. O aumento do volume leva a um incremento na quantidade de madeira seca por unidade de área, o que é interessante para a indústria de carvão e celulose (Eldridge et al., 1993).

Para a indústria de celulose, é importante mencionar que, além da necessidade de as plantas de eucalipto apresentarem bom formato do tronco, maior volume de madeira e rápido crescimento, outras características da madeira

são de extrema importância na escolha de quais espécies serão utilizadas nos programas de melhoramento. Dentre estas estão a densidade básica da madeira e o teor de lignina.

A densidade está diretamente relacionada com a espessura da parede celular e com o diâmetro das fibras de celulose. O incremento na densidade básica da madeira promove um ganho adicional na quantidade de celulose contida em um metro cúbico de madeira, o que proporciona economia em todas as operações de manuseio desta (Assis, 1996).

A lignina é uma substância química que confere rigidez à parede das células e também funciona como um agente de ligação entre elas, tornando a madeira mais resistente. A redução no teor de lignina na indústria de celulose trará benefícios para o processo de polpamento e branqueamento. Quanto mais alto for o seu teor, maior quantidade de produtos químicos será gasto e mais celulose será destruída devido a um ataque químico mais forte, reduzindo assim o rendimento em celulose. Na fase de branqueamento, sua presença em teores elevados dificulta e reduz a branqueabilidade (Assis, 1996).

Na avaliação de diferentes procedências, a partir de 4,5 anos de idade, em diferentes locais, as características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil foram descritas por Pereira et al. (2000) e os valores obtidos encontram-se na Tabela 1. É importante ressaltar que, devido à grande variação existente entre e dentro das procedências, é possível selecionar clones de eucalipto com maior densidade básica e menor teor de lignina.

Os valores do rendimento em celulose de algumas das espécies de eucalipto podem ser visualizados na Tabela 2. É possível observar diferenças marcantes entre as espécies, sendo que *E. globulus* caracteriza-se por apresentar o maior rendimento em celulose, devido ao seu baixo teor de lignina, o que reduz o ataque às fibras por produtos químicos no momento da extração da

celulose. Por este motivo é que os programas de melhoramento, recentemente, têm priorizado a utilização desta espécie em cruzamentos com clones elite.

A melhoria da qualidade da madeira afeta a quantidade do produto comercial a ser obtido por unidade de área e também permite a diferenciação de produtos, de forma a melhorar a competitividade das empresas no mercado mundial. Esse fato fez com que as empresas de eucalipto, nos últimos anos, vislumbrassem a necessidade de conduzir programas de seleção recorrente, visando à melhoria não só do volume de madeira, como também da qualidade, especialmente no que se refere à densidade básica da madeira e o teor de lignina. Isso porque, no controle genético desses caracteres, devem estar envolvidos muitos genes e, assim, a associação de fenótipos favoráveis em um único indivíduo certamente só poderá ser obtida por etapas.

#### **2.4 Seleção recorrente**

Como já enfatizado, a seleção de indivíduos superiores nos plantios comerciais para a obtenção de novos clones proporcionou um enorme avanço genético. Contudo, ganhos adicionais não serão obtidos, a menos que as populações sejam submetidas a ciclos de seleção recorrente, para possibilitar a ocorrência de novas combinações genotípicas superiores. Depreende-se que a seleção recorrente é fundamental para se continuar obtendo progresso genético.

A seleção recorrente é um processo cíclico de melhoramento em que há seleção seguida da recombinação dos melhores indivíduos e ou famílias. Desse modo, a performance da população é melhorada gradativamente, por meio do aumento da frequência dos alelos favoráveis. Um cuidado que deve ser tomado é o de manter a variabilidade genética em níveis adequados para que ganhos adicionais sejam obtidos ao longo dos ciclos de melhoramento (Souza Júnior, 2001).

Todos os métodos de seleção recorrente, com exceção da seleção massal, incluem três fases distintas: a) obtenção de famílias; b) avaliação das famílias em experimentos com repetições e c) recombinação das famílias superiores ou de plantas relacionadas a estas para a formação da população melhorada (Paterniani & Miranda Filho, 1987).

Os esquemas de seleção recorrente são classificados em seleção recorrente intrapopulacional e seleção recorrente interpopulacional ou recíproca. Na seleção recorrente intrapopulacional, o objetivo é melhorar as performances *per se* das populações, enquanto que na seleção recorrente recíproca o objetivo é o melhoramento da geração  $F_1$  do cruzamento de duas populações, ou seja, do híbrido interpopulacional (Souza Júnior, 1993).

A seleção recorrente intrapopulacional pode ser classificada em duas categorias: seleção fenotípica ou massal e seleção utilizando famílias. A seleção massal tem sido amplamente utilizada no melhoramento do eucalipto, embora em certas situações receba a denominação de área de produção de sementes (Castro, 1992). Essas são áreas isoladas em que somente as plantas com fenótipos superiores são mantidas para a produção de sementes. Desse modo são efetuadas a seleção e a recombinação, simultaneamente. O processo pode se repetir indefinidamente.

Este método é o mais simples e há possibilidade de se utilizar alta intensidade de seleção sem reduzir a variabilidade da população. A sua principal restrição é a dificuldade de se proceder a uma seleção eficiente devido à variação ambiental. Estratégias têm sido propostas para evitar esse problema, tais como seleção massal estratificada e uso de testemunhas intercalares (Cotterill & Dean, 1990).

Na seleção recorrente intrapopulacional utilizando famílias estas podem ser não endógamas, famílias de meios-irmãos e irmãos germanos ou endógamas,  $S_1$  e  $S_2$  (Paterniani & Miranda Filho, 1987). No melhoramento do eucalipto, o

tipo de família mais utilizado é de meios-irmãos, devido à sua simplicidade de obtenção (Castro, 1992).

Em essência, o processo é muito semelhante ao utilizado para outras espécies alógamas, como o milho (Paterniani & Miranda Filho, 1987), ou seja, a seleção é efetuada entre e dentro das famílias. A principal diferença é com relação às inúmeras possibilidades de se proceder à recombinação. Em uma delas, a recombinação pode ser efetuada sem sementes remanescentes, utilizando-se as árvores do próprio experimento, ou seja, após a análise dos dados, as famílias com pior desempenho são eliminadas e nas melhores famílias são eliminados os indivíduos com pior desempenho. Assim, só se reproduzem os melhores indivíduos das melhores famílias. Este é o procedimento mais fácil e rápido. Contudo, possui uma limitação séria, sobretudo quando é avaliado um grande número de famílias e se aplica alta intensidade de seleção. Neste caso, formam-se enormes clareiras no experimento e a recombinação é muito prejudicada.

Uma outra opção é utilizar sementes remanescentes. Nesse caso, pode-se realizar uma avaliação bem precoce no experimento e, logo em seguida, implantar um lote de recombinação apenas com as famílias de melhor desempenho. Quando este lote começar a florescer, procede-se nova avaliação no experimento e pode-se ainda eliminar algumas famílias no lote de recombinação. Neste caso, a recombinação é muito melhor. Uma opção de recombinação ainda melhor é por meio da clonagem dos indivíduos superiores no experimento e plantio destes em lotes isolados para se proceder à recombinação. Adicionalmente, os clones selecionados podem ser avaliados mais extensivamente e, posteriormente, utilizados em plantios comerciais.

A seleção recorrente intrapopulacional utilizando famílias apresenta maior eficiência em relação à seleção massal, devido à avaliação mais precisa das plantas a serem selecionadas no primeiro caso. Como, geralmente, as

famílias são avaliadas em ensaios com repetições, a precisão das médias das famílias é maior do que a precisão das observações individuais (Souza Júnior, 2001). Além disso, a possibilidade de instalação dos experimentos em vários ambientes permite que o efeito da interação genótipos x ambientes seja considerado na seleção.

Existem alguns relatos de sucesso com a seleção recorrente intrapopulacional no melhoramento do eucalipto no Brasil. Em uma avaliação de famílias de meios-irmãos de *E. cloeziana* no norte de Minas Gerais, a estimativa do ganho com a seleção entre e dentro de famílias para o diâmetro à altura do peito, aos 29 meses, foi de 14,4%, utilizando uma intensidade de seleção de 10,0% (Marques Júnior, 1995). Em outro trabalho envolvendo a avaliação de famílias de meios-irmãos de *E. camaldulensis* no noroeste de Minas Gerais, o ganho estimado com a seleção entre e dentro de famílias para o diâmetro a altura do peito, aos 17 meses de idade, foi de 15,2%, utilizando uma intensidade de seleção de 10,0% (Pereira, 1996).

Com a intensificação do emprego de clones e acumulação de resultados mostrando que híbridos interespecíficos apresentam melhor desempenho em relação às espécies puras (Rezende & Resende, 2000; Verry, 2000; Assis, 2000; Deninson & Kietzka, 1996; Bertolucci et al., 1995), seria oportuno conduzir programas de seleção recorrente recíproca. Neste caso, cada população é melhorada em função da outra. Com esse procedimento espera-se aumentar a heterose nos futuros cruzamentos, gerando assim novas combinações híbridas que irão permitir a seleção de clones superiores aos existentes.

A heterose é definida como a superioridade do F<sub>1</sub> em relação à média dos pais. Ela está associada à capacidade específica de combinação entre os genitores, sendo função da diferença nas frequências alélicas entre estes e da dominância alélica nos locos que controlam o caráter de interesse (Falconer & Mackay, 1996). Em *Eucalyptus* não existem muitas informações consistentes a

respeito da ocorrência de heterose. Resultados preliminares mostram que existe heterose para caracteres associados ao crescimento (Rezende & Resende, 2000). Contudo, não tem sido detectada heterose para densidade da madeira, rendimento de celulose e teor de lignina (Assis, 2000).

Estudos teóricos mostram que a seleção recorrente recíproca é superior à seleção recorrente intrapopulacional quando a soma das frequências alélicas ( $p_1$  e  $p_2$ ) das duas espécies (populações) é menor que 1 (neste caso, com qualquer nível de dominância, até mesmo ausência). Quando as frequências alélicas das duas populações são altas ( $p_1 + p_2 > 1$ ), a seleção recorrente recíproca só será superior à seleção recorrente intrapopulacional para graus de dominância médios a altos (Resende, 2002). Como as populações de eucalipto ainda não foram muito melhoradas, acredita-se que a frequência alélica destas populações seja inferior a 0,5 para a maioria dos caracteres de interesse agrônômico. Assim, é esperado que a seleção recorrente recíproca seja vantajosa.

Na condução de programas de seleção recorrente recíproca são avaliadas famílias interpopulacionais e os genótipos relacionados às famílias selecionadas são usados para promover a recombinação. Assim, a avaliação e a seleção são feitas no âmbito interpopulacional, mas a recombinação é feita dentro de cada população, mantendo as suas identidades. Para a avaliação, pode-se utilizar famílias de meios-irmãos ou irmãos germanos e, para a recombinação, famílias  $S_1$ , meios-irmãos intrapopulacionais, as próprias plantas que deram origem às famílias selecionadas ou clones destas.

Na avaliação, o uso de famílias de meios-irmãos ou de irmãos germanos explora a mesma quantidade de variância genética aditiva. Como o desvio padrão fenotípico de médias das progênies de irmãos germanos é superior àquele de meios-irmãos, a resposta à seleção com a utilização de famílias de meios-irmãos é superior a com irmãos germanos. Contudo, com a avaliação de famílias de irmãos germanos utiliza-se metade da área ocupada com a avaliação de

famílias de meios-irmãos e, assim, com o esquema de irmãos germanos pode-se avaliar o dobro do número de famílias em uma mesma área e aplicar maior intensidade de seleção. Dessa forma, o esquema com irmãos germanos pode apresentar ganho superior ao com meios-irmãos (Souza Júnior, 2001). Além do mais, em eucalipto, devido à dificuldade de se proceder à mistura adequada de pólen para a obtenção das famílias de meios-irmãos, é preferível a realização de cruzamentos aos pares e obtenção de famílias de irmãos germanos.

Na recombinação, a utilização de famílias de meios-irmãos intrapopulacionais é o esquema que apresenta o menor ganho com a seleção. Já o uso de famílias  $S_1$  ou das próprias plantas que deram origem às famílias selecionadas ou clones destas, teoricamente, apresenta o mesmo ganho com a seleção. Contudo, devido ao grande trabalho demandado para se promover a autofecundação das plantas utilizadas em cruzamentos, o uso de famílias  $S_1$  não é recomendado. Como já enfatizado para a seleção recorrente intrapopulacional, a recombinação utilizando as plantas que deram origem às famílias selecionadas pode não ser eficiente, devido a grandes clareiras que podem se formar no campo. Assim, o esquema mais indicado é a recombinação utilizando clones das plantas que deram origem às famílias selecionadas.

Em espécies arbóreas, a seleção recorrente recíproca não tem sido muito usada, com o argumento de que seria muito demorada. No caso do eucalipto, um programa de seleção recorrente recíproca foi iniciado no Congo, em 1989, envolvendo *E. grandis* x *E. urophylla* e *E. urophylla* x *E. pellita*. A estratégia utilizada envolve a avaliação de famílias de irmãos germanos interespecíficos e a recombinação das plantas que deram origem às melhores famílias, por meio da clonagem destas e plantio em lotes isolados (Bouvet & Vigneron, 1996; Vigneron et al., 2000). Nos dois casos, os novos clones apresentaram performance superior aos clones tradicionais. O ganho obtido com a seleção dos cinco melhores híbridos entre *E. grandis* x *E. urophylla* proporcionou um

aumento na produtividade de 20 para 35 m<sup>3</sup>/ha/ano (Baudouim et al., 1997). Como pode ser observado, o ganho foi bastante elevado, o que mostra a superioridade deste esquema de seleção para a produção de híbridos superiores.

Nas espécies anuais, especialmente o milho, vários trabalhos são encontrados na literatura, mostrando a eficiência dos programas de melhoramento que utilizam a seleção recorrente recíproca. Hallauer (1999) apresenta resultados obtidos ao longo das últimas décadas nos Estados Unidos (Tabela 3). Como pode ser observado, após 11 ciclos de seleção, com as variedades BSSS e BSCB1, o ganho médio por ciclo foi elevado, 7,0%. O reflexo da eficiência do programa é visualizado na heterose do híbrido interpopulacional, em relação à média dos genitores, que passou de 25,4% no ciclo 0 para 76,0% no último ciclo. A mesma tendência foi observada para os demais programas, ou seja, incrementos na produtividade proporcionados, em grande parte, pela elevação da heterose.

Alguns resultados obtidos com a seleção recorrente recíproca utilizando populações derivadas de híbridos simples de milho também foram encontrados. Coors (1999) apresentou dados de cinco ciclos de seleção para o melhoramento de dois híbridos interpopulacionais, tendo o ganho médio obtido para a produtividade de grãos sido de 6,2% por ciclo para um híbrido e 4,5% por ciclo para o outro. Em outro trabalho, Raposo (2002) obteve ganho de 5,7% para a produtividade de espigas, após um ciclo de seleção, sendo este ganho devido, principalmente, ao incremento na heterose.

Como comprovado com a cultura do milho, em que foram realizados vários ciclos de seleção, este esquema é importante para aumentar a heterose ou o vigor híbrido manifestado no cruzamento entre populações distintas. Portanto, na cultura do eucalipto, certamente a seleção recorrente recíproca também dará uma grande contribuição para os programas de melhoramento.

## **2.5 Alternativas de melhoramento utilizando clones**

### **2.5.1 Cruzamentos entre clones**

Como já mencionado, qualquer planta é, na realidade, um híbrido simples, isto porque, em uma população, cada planta provém da união de dois gametas diferentes, os quais, se duplicados, correspondem às duas linhagens parentais. Assim, todo clone é um híbrido simples. Portanto, o cruzamento de dois clones produz um híbrido duplo. O híbrido duplo apresenta variabilidade genética, pois é uma mistura de híbridos simples e o nível dessa variabilidade depende do nível de heterozigose dos clones envolvidos nos cruzamentos e de sua divergência genética. Como os híbridos duplos são constituídos de milhares de combinações de híbridos simples, é possível inferir que, dentro dos híbridos duplos com melhor performance, sejam obtidos híbridos simples com excelente desempenho.

Assim, o cruzamento entre clones elite é uma estratégia de grande interesse no melhoramento de eucalipto. Os clones a serem utilizados nos cruzamentos devem ser selecionados de forma que os híbridos duplos gerados tenham genótipos superiores àqueles em uso comercial. Para isso, as estratégias são: a) cruzar clones comerciais que apresentam um elevado nível de produtividade além de outras características favoráveis, tais como resistência às doenças e precocidade, visando o aproveitamento dos efeitos da seleção já praticados para produzi-los; b) cruzar clones que possuem complementaridade de fenótipos para caracteres de interesse, visando concentrar fenótipos favoráveis no híbrido duplo e c) cruzar clones que apresentam boa performance em um conjunto de ambientes, pois isso indica alta concentração de alelos favoráveis que contribuem para maior adaptação (Souza Júnior, 2001).

Não foram encontrados resultados de cruzamentos de clones elite de eucalipto. Contudo, utilizando informações de híbridos simples disponíveis na literatura com a cultura do milho, algumas inferências podem ser feitas. Souza

Sobrinho (2001) comparou o desempenho de híbridos simples e dos híbridos duplos derivados dos cruzamentos entre eles, para peso de espigas e constatou que a superioridade dos híbridos simples foi, em média, 3,7%. Estes resultados estão de acordo com a predição de superioridade dos híbridos simples em relação aos duplos, apresentada por Wricke & Weber (1986). Estes autores mostraram que a superioridade dos híbridos simples em relação aos duplos obtidos não passa de 5,0%, tendo como referência a distribuição normal dos dados de produtividade dos n híbridos simples que podem ser obtidos em uma população. Troyer & Rocheford (2002) também comentam que os híbridos simples de milho produzem em torno de 5,0% a mais do que os híbridos duplos.

Com base nos resultados obtidos na cultura do milho, pode-se inferir que a performance da descendência do cruzamento de dois clones de eucalipto seja, em média, inferior a dos clones parentais; contudo, entre as milhares de combinações possíveis é esperado que ocorram indivíduos superiores, ou seja, que acumulem as vantagens de ambos os genitores.

### **2.5.2 Autofecundação de clones elite**

As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam flores hermafroditas, tendo como principais vetores de polinização os insetos. Embora a protandria favoreça a polinização cruzada, pode ocorrer autofecundação devido ao amadurecimento das flores em épocas diferentes em uma mesma planta. Esta taxa de autofecundação varia de 10,0% a 30,0% (Eldridge et al., 1993).

Mesmo assim, é esperado que as plantas de eucalipto sejam normalmente muito heterozigóticas e, por isso, apresentam elevada depressão por endogamia, isto é, os descendentes dos cruzamentos entre plantas aparentadas apresentam queda no vigor quando comparados com aqueles oriundos do cruzamento entre plantas não aparentadas (Souza Júnior, 2001).

O desempenho médio de um clone para um dado caráter é fornecido por:  $F_1 = m+a + 2d$ , em que  $m+a$  é a contribuição dos locos em homozigose já fixados e  $d$  é o desvio dos heterozigotos em relação à média. Quando se autofecunda um clone, a descendência apresenta média igual a:  $F_2 = m+a + d$ . Assim, o contraste  $F_1 - F_2 = d$ . Portanto, avaliando-se simultaneamente o clone e a sua descendência autofecundada, pode-se inferir sobre a magnitude da depressão por endogamia ( $d$ ) e, por conseguinte, se no controle genético do caráter ocorre dominância. Quanto maior a depressão por endogamia, maior é a frequência de locos em heterozigose, considerando que os locos têm a mesma contribuição para o caráter. Por outro lado, o contraste  $2F_2 - F_1$  estima  $m+a$ . Quanto maior for a média da geração  $F_1$  e a estimativa de  $m+a$ , maior é a frequência de locos com alelos favoráveis fixados no clone. Assim, avaliando-se vários clones e a descendência dos mesmos, proveniente de autofecundação, pode-se identificar aqueles com maior frequência de alelos favoráveis já fixados. Estes clones são os mais favoráveis para a seleção e, portanto, as suas descendências devem receber maior atenção no processo seletivo.

Infelizmente, no caso do eucalipto e mesmo de outras espécies arbóreas, não foram encontrados relatos de estimativas de  $m+a$ . Entretanto, alguns trabalhos foram realizados com o intuito de verificar a magnitude da depressão por endogamia em eucalipto. Os níveis de depressão com a autofecundação observados por Griffin & Cotterill (1988), em *E. regnans*, aos 45 meses, em relação à performance das progênies obtidas por polinização aberta e por cruzamentos com outras plantas da população, foram de 11,0% para o diâmetro, 18,0% para a altura e 37,0% para o volume. Uma consideração importante a ser feita é que, nesse trabalho, as progênies de polinização aberta foram misturadas com as obtidas por cruzamentos. Desse modo, a depressão pode ter sido subestimada porque nas progênies de polinização aberta pode ocorrer autofecundação natural.

Em *E. globulus*, Hardner & Potts (1995) verificaram que houve significativa depressão por endogamia na altura (22,0%) e diâmetro (21,0%) das progênies autofecundadas em relação àquelas obtidas por cruzamentos, após 19 meses no campo. Para ambas as características, a depressão por endogamia tendeu a aumentar com a idade. Aos 43 meses, a depressão por endogamia foi de 26,0% para altura, 24,0% para diâmetro e 48,0% para o volume de madeira. As progênies obtidas por polinização aberta apresentaram desempenho intermediário entre as autofecundadas e de cruzamentos, apresentando depressão por endogamia de 23,0% para o volume de madeira aos 43 meses.

Quando são produzidas sementes a partir de clones elite de eucalipto ocorre autofecundação natural e, conseqüentemente, depressão por endogamia. Por esse motivo, é importante saber qual o valor da estimativa de  $m+a$  e  $d$  de cada clone. Os clones que apresentarem maior estimativa de  $m+a$  são os mais indicados para a produção de sementes porque possuem menor depressão por endogamia.

Na cultura do milho, estimativas de  $m+a$  e  $d$  para populações em equilíbrio têm sido obtidas em várias oportunidades. Em um levantamento realizado por Souza Sobrinho (2001), envolvendo 127 populações  $S_0$  ( $F_2$ ) relacionadas na literatura, o valor de  $m+a$  foi de 29,6% da média populacional e o valor de  $d$  igual a 70,4%. Estimativas de  $m+a$  e  $d$  envolvendo 28 populações derivadas de híbridos simples comerciais de milho foram apresentadas por Ramalho et al. (2003) e estão relacionadas na Tabela 4. As estimativas mostraram que a contribuição de  $m+a$  foi de 30,3% da média dos híbridos e  $d$  igual a 69,7%, valores estes semelhantes aos observados para as populações em equilíbrio. Como pode ser observado na mesma tabela, houve grande variação entre as populações avaliadas com relação à estimativa desses parâmetros, o que é de suma importância na escolha das populações mais promissoras para a extração de linhagens superiores.

Estimativas de  $m+a$  e  $d$  também foram obtidas para espécies autógamas como o feijoeiro. Um levantamento das estimativas obtidas de 35 populações segregantes foi apresentado por Ramalho et al. (2003). O valor de  $m+a$  foi de 80,6% e  $d$  igual a 16,0%.

Para a cultura do milho, o maior valor da estimativa de  $d$  em relação à de  $m+a$  indica que os locos em heterozigose têm uma maior contribuição para a produtividade de grãos. Já para o feijoeiro, verifica-se justamente o contrário, isto é, o valor da estimativa de  $m+a$  é maior do que o de  $d$ , indicando uma maior contribuição dos locos em homozigose para a produtividade.

Pela elevada estimativa da depressão por endogamia obtida na cultura do eucalipto para o volume de madeira, infere-se que, para esta característica, a relação  $d/m+a$  deve ser próxima à obtida para a cultura do milho. Já para o diâmetro e a altura, a relação  $d/m+a$  deve apresentar um valor menor do que para o milho e maior do que para o feijoeiro. Isso ocorre, provavelmente, devido ao maior nível de dominância para o volume de madeira em relação à altura e ao diâmetro.

Em um programa de melhoramento, a autofecundação de clones de eucalipto leva a um aumento na variação entre progênies, melhorando a eficiência da seleção. Este incremento na variação pode ser devido à expressão de alelos recessivos deletérios e raros que estavam encobertos nos locos em heterozigose (Hardner & Potts, 1995). Assim, a eliminação da carga genética da população resultante, isto é, a eliminação dos indivíduos que manifestam fenótipos desfavoráveis, permite a obtenção de populações com alta frequência de alelos favoráveis para os diversos caracteres de interesse e baixa frequência de alelos deletérios. A primeira condição, atingível pela seleção recorrente, é sinônimo de alta capacidade geral de combinação. A segunda, por sua vez, significa depressão endogâmica pouco pronunciada. Como as duas condições são inter-relacionadas, espera-se que populações continuamente submetidas à

autofecundação e seleção devam ter maior capacidade geral de combinação e menor depressão quando autofecundadas (Vencovsky & Barriga, 1992).

A extração de clones superiores ou a produção de sementes melhoradas dessas populações certamente propiciarão ganhos em produtividade e qualidade da madeira.

## **2.6 Estimação de componentes de variância genética**

As estimativas de componentes de variância genética permitem a obtenção de informações sobre o tipo de efeito gênico envolvido no controle genético dos caracteres, a comparação entre os métodos de seleção e a estimação do progresso genético esperado com a seleção. No caso de plantas perenes, a obtenção destas estimativas é ainda mais importante do que em plantas anuais, porque, devido ao longo ciclo dessas espécies, a decisão dos melhoristas deve ser a mais acertada possível. Por isso, é necessário que os experimentos de campo sejam bem delineados e bem conduzidos, a fim de se obter estimativas confiáveis.

O procedimento mais utilizado na cultura do eucalipto para a estimação de componentes de variância intrapopulacionais tem sido a avaliação de famílias de meios-irmãos, devido à sua simplicidade de obtenção (Marques Júnior, 1995; Pereira, 1996). Como entre as famílias de meios-irmãos explora-se 1/4 da variância genética aditiva, é possível estimar alguns parâmetros importantes para os melhoristas, como a herdabilidade no sentido restrito e o ganho esperado com a seleção recorrente.

A variância genética aditiva é importante na seleção para a capacidade geral de combinação nos programas de seleção recorrente intrapopulacionais, enquanto que a variância genética de dominância permite a exploração da capacidade específica de combinação nos programas de seleção recorrente recíproca, por meio da propagação vegetativa dos melhores híbridos. Em

populações pouco melhoradas, a quantidade de variância genética aditiva existente é grande. Com isso, o ganho no melhoramento intrapopulacional é elevado. Com o decorrer dos ciclos seletivos, geralmente, a variância genética aditiva tende a diminuir e o ganho com o melhoramento intrapopulacional é menor. A partir deste momento, a estratégia mais interessante é a exploração da variância genética de dominância, por meio de cruzamentos interpopulacionais (Eldridge et al., 1993).

A estimativa da relação entre a variância de dominância e a variância aditiva obtida no híbrido entre *E. grandis* x *E. urophylla*, para o caráter volume de madeira, aos três anos de idade, foi de 0,2 (Rezende & Resende, 2000; Bouvet & Vigneron, 1996). Já para o híbrido *E. urophylla* x *E. pellita*, essa relação mostrou-se mais elevada, igual a 0,6 (Bouvet & Vigneron, 1996). Isso comprova que a variância de dominância contribui para a superioridade dos híbridos interespecíficos.

A herdabilidade ( $h^2$ ) é um parâmetro fundamental para os melhoristas, pois corresponde à proporção da variância genética em relação à variância fenotípica ( $h^2$  no sentido amplo) ou à proporção da variância aditiva em relação à variância fenotípica ( $h^2$  no sentido restrito). Dessa forma, ela mede a confiabilidade do valor fenotípico como indicador do valor reprodutivo. Devido a isso, a herdabilidade participa de quase todas as fórmulas relacionadas com a predição de ganhos dos métodos de melhoramento e também das decisões práticas tomadas pelos melhoristas (Hallauer & Miranda Filho, 1988). Estimativas da herdabilidade no sentido restrito têm sido obtidas com frequência na cultura do eucalipto, envolvendo média de famílias e também avaliação de plantas individuais.

Estimativas da herdabilidade no sentido restrito envolvendo média de famílias em experimentos com *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. camaldulensis*, foram apresentadas por Castro (1992) e podem ser visualizadas na Tabela 5. A

herdabilidade média foi elevada para as características avaliadas, sendo esta de 0,57 para altura, 0,53 para o diâmetro e de 0,45 para o volume. Estes valores evidenciam que há grande possibilidade de sucesso com a seleção.

Estimativas envolvendo avaliação de indivíduos são mais interessantes para os melhoristas quando estes desejam clonar as melhores árvores dentro das parcelas. Estimativas obtidas na literatura para a herdabilidade no sentido restrito, relacionadas a alguns caracteres de crescimento e densidade, em *E. grandis* e *E. urophylla*, foram apresentadas por Resende (2001) e estão disponíveis nas Tabelas 6 e 7. Na Tabela 8 são apresentadas as estimativas da herdabilidade no sentido restrito na avaliação de indivíduos, para o caráter volume de madeira, em *E. grandis* e *E. urophylla*, obtidas na Aracruz Celulose S.A. (Resende, 2001).

Observa-se que os resultados médios da herdabilidade no sentido restrito para os caracteres de crescimento em *E. grandis* apresentaram valores próximos aos obtidos para o *E. urophylla*, equivalendo a 0,3. Já a estimativa da herdabilidade para a densidade foi superior à obtida para caracteres de crescimento, em torno de 0,7. Como as estimativas da herdabilidade para altura, diâmetro e volume foram baixas e, mesmo assim, houve ganhos com a seleção ao longo do tempo, infere-se que, para a densidade, certamente os ganhos serão bem mais expressivos, devido à alta herdabilidade para essa característica.

O estudo das relações entre as características é importante para o melhoramento, pois o melhorista procura sempre obter genótipos superiores para um conjunto de atributos e não para caracteres isoladamente. Assim, é importante saber como o melhoramento de uma característica pode causar alterações em outras. A associação entre características pode ser avaliada por meio das correlações entre elas.

Estimativas de correlações genéticas para características de crescimento foram apresentadas por Volker et al. (1990) e Paula et al. (2002). Observa-se,

nas Tabelas 9 e 10, que as correlações entre a altura e o diâmetro foram elevadas e positivas, o que facilita o trabalho dos melhoristas, pois permite a obtenção de ganhos para altura e, conseqüentemente, para volume de madeira, por meio da seleção indireta no diâmetro, pois o diâmetro é uma característica de maior facilidade de mensuração. Por esse motivo, a avaliação do diâmetro tem sido preferida na área florestal.

TABELA 01 Características da madeira importantes para a indústria de celulose em procedências de algumas espécies de *Eucalyptus* plantadas no Brasil, avaliadas em diferentes locais e em idades variando de 3 a 10,5 anos.

Espécie	N	Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )			Teor de lignina (%)		
		Mínima	Máxima	Média	Mínimo	Máximo	Médio
<i>E. grandis</i>	8	0,371	0,507	0,424	23,9	26,4	25,2
<i>E. urophylla</i>	1	-	-	0,564	-	-	27,3
<i>E. globulus</i>	4	0,462	0,487	0,474	22,3	24,7	23,5
<i>E. camaldulensis</i>	6	0,603	0,687	0,630	28,3	31,5	30,0
<i>E. tereticornis</i>	4	0,571	0,645	0,610	28,1	32,7	30,4
<i>E. saligna</i>	6	0,441	0,548	0,520	24,5	27,9	25,9
<i>E. pellita</i>	3	0,587	0,620	0,603	29,4	31,9	30,6
<i>E. dunnii</i>	4	0,444	0,551	0,474	21,8	22,8	22,3
<i>E. viminalis</i>	11	0,449	0,541	0,493	22,5	26,3	24,9

N: Número de estimativas.

Fonte: Pereira et al. (2000).

TABELA 02 Rendimento em celulose de algumas espécies de *Eucalyptus*.

Espécie	Rendimento em celulose (%)
<i>E. globulus</i>	54
<i>E. grandis</i>	52
<i>E. saligna</i>	52
<i>E. urophylla</i>	50
<i>E. camaldulensis</i>	47
<i>E. viminalis</i>	47

Fonte: Perez (2002).

TABELA 03 Resposta dos programas de seleção recorrente recíproca, conduzidos em populações de milho, com ênfase no aumento da produtividade de grãos.

Populações	Tipos de progênes	Nº de ciclos	Ganho por ciclo (%)		Heterose (%)	
			Direto	Indireto	C <sub>0</sub> x C <sub>0</sub>	C <sub>n</sub> x C <sub>n</sub>
BSSS e BSCB1	MI	11	7,0	0,0	25,4	76,0
Jarvis e Indian Chief	MI	10	2,7	3,1 -0,7	6,6	28,9
BS21 e BS22	MI	6	4,5	-1,0 1,6	1,0	25,4
BS10 e BS11	IG	8	6,5	3,0 1,6	2,5	39,6
Média		8,8	5,2	1,2	8,9	42,5

C<sub>0</sub>: Ciclo zero de seleção.

Fonte: Hallauer (1999).

TABELA 04 Estimativas mínimas, médias e máximas de  $m+a$  e  $d$ , em porcentagem da média da geração F<sub>1</sub>, obtidas por alguns autores de populações derivadas de híbridos simples de milho.

Nº de populações	$m+a$ (% da F <sub>1</sub> )			$d$			País
	LI	$\bar{x}$	LS	LI	$\bar{x}$	LS	
6	24,6	29,6	34,2	65,8	70,4	75,4	EUA
12	6,0	24,2	41,7	58,3	75,8	94,0	Brasil
3	32,5	37,8	47,7	52,3	62,2	67,5	Brasil
7	20,7	29,4	43,5	57,4	70,5	78,7	Brasil
Média		30,3			69,7		

Fonte: Ramalho et al. (2003).

TABELA 05 Estimativas de herdabilidade no sentido restrito em relação às médias de famílias, para as características de crescimento em famílias de meios-irmãos de *Eucalyptus* obtidas no Brasil.

Espécie	Altura	Diâmetro	Volume	Nº de famílias	Nº de estimativas	Idade (anos)
<i>E. grandis</i>	0,37	-	-	124	2	0,5
	0,52	0,53	-	124	2	1,5
	0,54	0,59	-	124	2	2,5
	0,61	0,64	-	45	1	1
	0,43	0,75	-	45	1	1,5
	0,64	0,71	0,76	45	1	2
	0,67	0,71	0,70	45	1	2,5
	0,62	0,66	-	82	1	1
	0,50	0,39	-	54	5	2
	0,60	0,56	-	19	1	3,7
	0,80	0,72	0,84	84	1	4
	0,45	0,34	0,28	64	3	7
<i>E. urophylla</i>	0,52	-	-	42	1	0,5
	0,68	-	-	42	4	1
	0,59	0,52	-	42	4	2
	0,59	0,51	-	42	4	3
	0,54	-	0,35	30	4	7
<i>E. camaldulensis</i>	0,86	0,81	-	17	1	2,2
Médias ponderadas						
	0,57	0,53	0,45			

Fonte: Castro (1992).

TABELA 06 Estimativas da herdabilidade no sentido restrito na avaliação de plantas individuais para caracteres de crescimento e densidade da madeira em *E. grandis*.

Altura	Diâmetro	Volume	Densidade	Nº de famílias	Nº de estimativas	Idade (anos)	País
0,11	0,08	0,10	-	51	1	1	África do Sul
0,45	0,30	0,53	-	71	1	8	África do Sul
0,39	0,39	0,31	-	529	1	5	EUA
0,25	0,25	0,27	-	63 a 72	4	5	África do Sul
-	-	0,38	-	163	21	2,5	Brasil
0,23	0,23	-	-	282	7	3	Brasil
0,19	0,22	0,20	-	25	2	3 e 5	Brasil
0,22	0,16	-	-	39	1	3	Brasil
0,18	0,16	0,17	-	33	1	3	Brasil
0,32	0,18	-	-	64	1	3	Brasil
0,45	0,47	-	-	-	2	2	Brasil
0,26	0,15	-	-	64	3	2	Brasil
0,28	0,13	0,10	0,69	64	3	7	Brasil
-	-	-	0,82	-	1	3,5	Brasil
0,27	0,25	0,31	-	81	2	2,5	Brasil
0,35	0,32	0,29	-	180	56	5	Brasil
0,08	0,10	0,10	-	101	3	2 a 4	Brasil
Médias ponderadas							
0,31	0,28	0,29	0,72				

Fonte: Resende (2001).

TABELA 07 Estimativas da herdabilidade no sentido restrito na avaliação de plantas individuais para caracteres de crescimento e densidade da madeira em *E. urophylla*.

Altura	Diâmetro	Volume	Densidade	Nº de famílias	Nº de estimativas	Idade (anos)	País
0,36	0,24	-	-	67	4	3	Brasil
0,39	0,24	0,25	-	66 a 109	4	7	Brasil
0,50	0,43	0,44	-	146	2	8	Brasil
-	0,23	-	-	45	1	3	Brasil
-	0,35	-	-	45	1	4	Brasil
-	0,35	-	-	45	1	5	Brasil
0,15	0,17	-	-	33	1	5	Brasil
0,32	0,24	-	0,71	90	4	1 a 4	China
Médias ponderadas							
0,36	0,27	0,31	0,71				

Fonte: Resende (2001).

TABELA 08 Estimativas da herdabilidade no sentido restrito na avaliação de plantas individuais para o caráter volume da madeira em *E. grandis* e *E. urophylla*, na Aracruz Celulose.

Espécie	Local	Herdabilidade
<i>E. grandis</i>	Aracruz	0,27
		0,62
		0,28
		0,14
		0,20
		0,18
		0,21
		0,32
		0,32
<i>E. urophylla</i>	Aracruz	0,43
		0,69
	São Mateus	0,19
		0,34
	Sul da Bahia	0,25
		0,70
Média		0,34

Fonte: Resende (2001).

TABELA 09 Estimativas de correlações genéticas entre características de crescimento de 45 famílias de meios-irmãos de *E. globulus*, aos seis anos de idade.

	Diâmetro	Volume
Altura	0,55	0,70
Diâmetro		0,98

Fonte: Volker et al. (1990).

TABELA 10 Estimativas de correlações genéticas entre características de crescimento e densidade de 44 famílias de meios-irmãos de *E. camaldulensis*, aos cinco anos e meio de idade.

	Diâmetro	Volume	Densidade
Altura	0,82	0,86	0,35
Diâmetro		1,00	0,53
Volume			0,46

Fonte: Paula et al. (2002).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, H. B. **Avaliação de espécies e procedências de *Eucalyptus* nas regiões norte e nordeste do Estado de Minas Gerais**. 1991. 105 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ASSIS, T. F. de. Melhoramento genético do eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 185, p. 32-51, 1996.

ASSIS, T. F. de. Production and use of *Eucalyptus* hybrids for industrial purposes. In: HYBRID BREEDING AND GENETICS OF FOREST TREES, 2000, Noosa. **Proceedings...** Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 63-74.

BAUDOUM, L.; BARIL, C.; CLÉMENT-DEMAGE, A.; LEROY, T.; PAULIN, D. Recurrent selection of tropical tree crops. **Euphytica**, Wageningen, v. 96, n. 1, p. 101-114, 1997.

BERTOLUCCI, F. de L. G.; REZENDE, G. D. S. P.; PANCHEL, R.; Produção e utilização de híbridos de eucalipto. **Silvicultura**, São Paulo, v. 26, n. 51, p. 12-16, 1995.

BOUVET, J. M.; VIGNERON, P. Variance structure in *Eucalyptus* hybrid populations. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 45, n. 2-3, p. 171-177, 1996.

CASTRO, N. H. C. de. **Número de repetições e eficiência da seleção em progênies de meios irmãos de *Eucalyptus camaldulensis***. 1992. 121 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

COORS, J. G. Selection methodologies and heterosis. In: COORS, J. G.; PANDEY, S. **Genetics and exploitation of heterosis in crops**. Madison: American Society of Agronomy, 1999. p. 225-245.

COTTERILL, P. P.; DEAN, C. A. **Successfull tree breeding with index selection**. Melbourne: CSIRO, 1990. 79 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. rev. Viçosa, MG: UFV, 2001. 390 p.

DENISON, N. P.; KIETZKA, J. E. The use and importance of hybrid intensive forestry in South Africa. **South Africa Forestry Journal**, Pretoria, v. 165, p. 55-60, 1996.

ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, I.; HARWOOD, C.; VAN WYK, G. **Eucalypt domestication and breeding**. New York: Oxford University Press, 1993. 288 p.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. London: Longman Malaysia, 1996. 463 p.

FERREIRA, M.; SANTOS, P. E. T. dos. Melhoramento genético florestal dos *Eucalyptus* no Brasil: breve histórico e perspectivas. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF *EUCALYPTUS*, 1997, Salvador. **Proceedings...** Colombo: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, 1997. v. 1, p. 14-34.

GONÇALVES, F. M. A.; REZENDE, G. D. S. P.; BERTOLUCCI, F. de L. G. Progresso genético por meio da seleção de clones de eucalipto em plantios comerciais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 25, n. 3, p. 295-301, jul./set. 2001.

GRIFFIN, A. R.; COTTERILL, P. P. Genetic variation in growth of outcrossed, selfed and open-pollinated progenies of *Eucalyptus regnans* and some implications for breeding strategy. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 37, n. 3/4, p. 124-131, 1988.

HALLAUER, A. R. Temperate maize and heterosis. In: COORS, J. G.; PANDEY, S. **Genetics and exploitation of heterosis in crops**. Madison: American Society of Agronomy, 1999. p. 353-361.

HALLAUER, A. R.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. 2. ed. Ames: Iowa State University Press, 1988. 468 p.

HARDNER, C. M.; POTTS, B. M. Inbreeding depression and changes in variation after selfing in *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 44, n. 1, p. 46-54, 1995.

KIBBLEWHITE, R. P.; JOHNSON, B. I.; SHELBORNE, C. J. A. Kraft pulp qualities of *Eucalyptus nitens*, *E. globulus*, and *E. maidenii*, at ages 8 and 11 years. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Christchurch, v. 30, n. 3, p. 447-457, 2000.

MARQUES JÚNIOR, O. G. **Estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos e avaliação da eficiência da seleção precoce em *Eucalyptus cloeziana*** F. Muell. 1995. 69 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MAYR, E. **Populações, espécie e evolução**. São Paulo: Nacional, 1977. v. 5. (Biblioteca Universitária, 3).

PATERNIANI, E.; MIRANDA FILHO, J. B. Melhoramento de populações. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G. P. **Melhoramento e produção do milho**. 2. ed. rev. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 216-274.

PAULA, R. C. de.; PIRES, I. E.; BORGES, R. de C. G.; CRUZ, C. D. Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 159-165, fev. 2002.

PEREIRA, A. B. **Avaliação de eficiência da seleção precoce em famílias de meios-irmãos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., na região noroeste do Estado de Minas Gerais**. 1996. 68 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 38).

PEREZ, J. F. R. **Avaliação de procedências de *Eucalyptus globulus* spp *globulus* segundo a qualidade de sua madeira para a produção de celulose**. 2002. 93 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

RAMALHO, M. A. P.; SOUZA, E. A.; SOUZA, J. C. **Genética de populações e quantitativa**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2003. 43 p. Textos acadêmicos.

RAPOSO, F. V. **Seleção recorrente recíproca em populações derivadas de híbridos simples de milho**. 2002. 106 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística**: no melhoramento de plantas perenes. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975 p.

RESENDE, M. D. V. de. Melhoramento de espécies perenes. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S. de; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento**: plantas. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 357-421.

REZENDE, G. D. S. P. Melhoramento genético do eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., 2001, Goiânia. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2001. 1 CD-ROM.

REZENDE, G. D. S. P.; RESENDE, M. D. V. de. Dominance effects in *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* and hybrids. In: HYBRID BREEDING AND GENETICS OF FOREST TREES, 2000, Noosa. **Proceedings...** Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 93-100.

RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia**. 1998. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

SOUZA JÚNIOR, C. L. de. Comparisons of intra-interpopulation and modified recurrent selection methods. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 16, n. 1, p. 91-105, Mar. 1993.

SOUZA JÚNIOR, C. L. de. Melhoramento de espécies alógamas. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S. de; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento**: plantas. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 159-199.

SOUZA SOBRINHO, F. de. **Divergência genética de híbridos simples e alternativas para a obtenção de híbridos duplos de milho**. 2001. 96 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

TROYER, A. F.; ROCHEFORD, T. R. Germplasm ownership: related corn inbreds. **Crop Science**, Madison, v. 42, n. 1, p. 3-11, Jan./Feb. 2002.

TURNBULL, J. W.; PRYOR, L. D. Choice of species and seed sources. In: HILLS, W. E.; BROW, A. G. (Ed.). **Eucalyptus**: for wood production. Sydney: CSIRO/Academic Press, 1984. p. 6-65.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**.  
Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486 p.

VENCOVSKY, R.; RAMALHO, M. A. P. Contribuições do melhoramento genético de plantas no Brasil. In: PATERNIANI, E. (Ed.). **Agricultura brasileira e pesquisa agropecuária**. Brasília: EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p. 57-89.

VERRYN, S. D. *Eucalyptus* hybrid breeding in South Africa. In: HYBRID BREEDING AND GENETICS OF FOREST TREES, 2000, Noosa. **Proceedings...** Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 191-199.

VIGNERON, P.; BOUVET, J. M.; GOUMA, R.; SAYA, A.; GION, J. M.; VERHAEGEN, D. Eucalypt hybrids breeding in Congo. In: HYBRID BREEDING AND GENETICS OF FOREST TREES, 2000, Noosa. **Proceedings...** Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 14-26.

VOLKER, P. W.; DEAN, C. A.; TIBBITS, W. N.; RAVENWOOD, I. C. Genetic parameters and gains expected from selection in *Eucalyptus globulus* in Tasmania. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 39, n. 1, p. 18-28, 1990.

WRICKE, G.; WEBER, W. E. **Quantitative genetics and selection in plant breeding**. Berlin: de Gruyter, 1986. 406 p.

## **CAPÍTULO 2**

### **DEPRESSÃO POR ENDOGAMIA EM CLONES COMERCIAIS DE EUCALIPTO**

## RESUMO

BISON, Odair. **Depressão por endogamia em clones comerciais de eucalipto**. 2004. 169 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.\*

Na cultura do eucalipto, a maior parte dos plantios é realizada com clones. A estimativa da depressão por endogamia desses clones permite aos melhoristas planejarem os seus programas de melhoramento de modo mais eficiente. Visando obter informações a esse respeito, 10 clones comerciais foram autofecundados. A geração clonal ( $F_1$ ) e a autofecundada ( $F_2$ ) foram avaliadas em dois experimentos contíguos, conduzidos no município de Aracruz, ES. O delineamento utilizado em ambos os casos foi o de blocos casualizados, com 40 repetições e uma planta por parcela. A instalação dos experimentos foi realizada em agosto de 2001 e as avaliações foram feitas dois anos após o plantio. As características avaliadas foram a circunferência à altura do peito e a densidade básica da madeira. A depressão por endogamia variou entre os clones e foi, em média, de 17,5% para a circunferência à altura do peito e de 4,0% para a densidade básica da madeira. Para a maioria dos clones, foi possível selecionar plantas na geração  $F_2$  com desempenho superior ao clone parental, evidenciando que esta é uma boa alternativa para os melhoristas procederem à seleção de plantas superiores.

---

\* Comitê de orientação: Magno Antonio Patto Ramalho – UFLA (Orientador); Gabriel Dehon Sampaio Peçanha Rezende – Aracruz Celulose S. A.

## ABSTRACT

BISON, Odair. **Inbreeding depression in *Eucalyptus* clones**. 2004. 169 p. Thesis – (Doctorate in Genetics and Plant Breeding) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.\*

Most *Eucalyptus* plantations are developed from clones. Estimation of the inbreeding depression allows the plant breeders to plan their breeding programs more accurately. Aiming to obtain information concerning inbreeding depression, 10 clones were inbred. Clonal ( $F_1$ ) and inbred ( $F_2$ ) generations were evaluated in two contiguous experiments, carried out in Aracruz, Espírito Santo State, Brazil. A randomized complete block design, with single plant plots and 40 replicates, was used in both experiments. The experiments were set in August 2001 and the evaluations were done two years later. The traits measured were the circumference at breast height and the wood basic density. The inbreeding depression varied among clones and had an average of 17.5% for the circumference at breast height and 4.0% for the wood basic density. In most cases it was possible to select  $F_2$  trees with a higher performance than that of their ( $F_1$ ) parents, showing that this is a good strategy for breeders to select superior plants.

---

\* Guidance Committee: Magno Antonio Patto Ramalho – UFLA (Advisor); Gabriel Dehon Sampaio Peçanha Rezende – Aracruz Celulose S. A.

# 1 INTRODUÇÃO

O eucalipto é considerado uma planta alógama, com uma taxa de autofecundação natural variando de 10% a 30% (Eldridge et al., 1993). Por este motivo, a autofecundação deve gerar depressão por endogamia durante o desenvolvimento das plantas, incluindo maior mortalidade e menor crescimento vegetativo nas fases de viveiro e de campo.

A obtenção de estimativas da depressão por endogamia possibilita inferir a respeito da estrutura genética das populações e do tipo de ação gênica predominante no controle genético dos caracteres. Na cultura do eucalipto existem poucos relatos dessas estimativas e a maioria delas envolve populações de espécies que não são utilizadas no Brasil (Hardner & Potts, 1995; Griffin & Cottrell, 1988).

Como há uma tendência de as empresas utilizarem nos seus plantios somente clones superiores, seria interessante conhecer a depressão por endogamia desses clones e saber se ela difere entre eles. Além do mais, seria importante verificar a viabilidade de proceder à seleção de plantas superiores dentro das populações segregantes derivadas desses clones. Em não ocorrendo sobredominância ou dominância completa no controle genético dos caracteres, é esperado que seja possível selecionar, dentro das populações segregantes derivadas de clones, indivíduos recombinantes com desempenho superior ao clone parental. Infelizmente, essa informação não foi encontrada na revisão de literatura.

Do exposto, foi realizado o presente trabalho, com os objetivos de estimar a depressão por endogamia para alguns caracteres de importância econômica na cultura do eucalipto, verificar se a depressão por endogamia difere

entre os clones e certificar se a seleção entre plantas de populações segregantes derivadas de clones é uma boa estratégia de melhoramento.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos para se estimar a depressão por endogamia em eucalipto, na empresa Aracruz Celulose S. A., município de Aracruz, ES. As coordenadas geográficas do local de plantio são: 19° 50' 19" de latitude S e 40° 12' 43" de longitude W.

Na realização deste trabalho foram utilizados 10 clones de eucalipto da empresa. A origem dos clones pode ser visualizada na Tabela 11. Como em uma população que se reproduz sexuadamente cada indivíduo corresponde a um híbrido simples, estes clones foram chamados de híbridos. Para a maioria dos híbridos se conhece apenas a espécie materna. Provavelmente estes são híbridos interespecíficos, devido ao grande número de espécies introduzidas no Horto de Rio Claro, SP e a natureza alógama do eucalipto. O clone número 9 é sabidamente um híbrido intra-específico de *E. urophylla*.

Para a obtenção da geração F<sub>2</sub>, as plantas de cada clone foram autofecundadas artificialmente. Para isso, antes da antese, as flores foram emasculadas e, quando os estigmas estavam receptivos, foram realizadas as autofecundações.

Com as mudas obtidas pela clonagem dos 10 clones e a partir das sementes obtidas nas autofecundações, foram conduzidos dois experimentos, em áreas contíguas. Em um experimento foram avaliados os clones (geração F<sub>1</sub>) e no outro, a geração F<sub>2</sub>. O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados com 40 repetições e uma planta por parcela, sendo o espaçamento entre plantas de 3 x 3 m.

Os experimentos foram implantados em agosto de 2001, utilizando-se o procedimento que é normalmente adotado pela empresa, isto é, foram abertos sulcos a uma profundidade de 80cm e, ao mesmo tempo, foi aplicado fosfato no

fundo dos mesmos. Em seguida, foi feito o coveamento e a adubação das covas com 100g de N:P:K (6:30:6). Posteriormente, as mudas foram plantadas e irrigadas para garantir o pegamento.

Dois anos após a instalação dos experimentos foram tomados os seguintes dados:

- circunferência à altura do peito (cm);
- penetração da agulha do pilodyn na madeira (mm);
- sobrevivência das plantas (%).

A partir da avaliação realizada com o pilodyn foi estimada a densidade básica da madeira ( $\text{kg/m}^3$ ), pela seguinte expressão: Densidade =  $615 - 11 * \text{Leitura do pilodyn}$ . Para isso, em uma etapa anterior, foram avaliadas 142 árvores de eucalipto de diferentes espécies, com dois anos de idade, utilizando o pilodyn e, em seguida, determinou-se a densidade básica da madeira no laboratório. A partir destas avaliações foi construída uma equação de regressão entre a leitura do pilodyn e a densidade básica da madeira.

Os dados obtidos para a circunferência à altura do peito e densidade básica da madeira foram, inicialmente, submetidos à análise de variância por experimento, utilizando-se o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = m + t_i + r_j + e_{(ij)}$$

em que:

$Y_{ij}$ : valor observado na parcela que recebeu o tratamento  $i$ , na repetição  $j$ ;

$m$ : média geral do experimento;

$t_i$ : efeito fixo do tratamento  $i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, 10$ );

$r_j$ : efeito fixo da repetição  $j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, 40$ );

$e_{(ij)}$ : erro experimental associado à observação  $Y_{ij}$ , tendo  $e_{(ij)} \sim N(0, \sigma^2)$ .

Posteriormente, foi realizada a análise de variância conjunta, envolvendo as duas gerações, adotando-se o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = m + t_i + r_{j(k)} + g_k + (tg)_{ik} + e_{(ijk)}$$

em que:

$Y_{ijk}$ : valor observado na parcela que recebeu o tratamento  $i$ , na repetição  $j$ , na geração  $k$ ;

$m$ : média geral do experimento;

$t_i$ : efeito fixo do tratamento  $i$  ( $i= 1, 2, 3, \dots, 10$ );

$r_{j(k)}$ : efeito fixo da repetição  $j$  dentro da geração  $k$  ( $j= 1, 2, 3, \dots, 40$ );

$g_k$ : efeito fixo da geração  $k$  ( $k= 1, 2$ );

$(tg)_{ik}$ : efeito fixo da interação tratamento  $i$  com a geração  $k$ ;

$e_{(ijk)}$ : erro experimental associado à observação  $Y_{ijk}$ , tendo  $e_{(ijk)} \sim N(0, \sigma^2)$ .

As análises foram feitas utilizando-se o *Procedure for General Linear Models* (PROC GLM) do SAS® (SAS..., 2000).

Com as médias dos tratamentos, foi realizado o teste de Scott & Knott (1974), para verificar quais tratamentos pertenciam ao mesmo grupo.

Utilizando-se as médias, foram ainda obtidas as seguintes estimativas:

**a) Depressão por endogamia (DE):**

$$DE(\%) = \frac{\bar{F}_{1i} - \bar{F}_{2i}}{\bar{F}_{1i}} \times 100$$

em que:

$\bar{F}_{1i}$  : média do clone  $i$ ;

$\bar{F}_{2i}$  : média da geração  $F_2$  do clone  $i$ .

**b) Componentes de média ( $m+a$  e  $d$ ):**

Considerando que a geração  $F_2$  é uma população em equilíbrio, cuja média para a população segregante derivada do clone  $i$  é fornecida por:

$\bar{F}_{2i} = m+a+d$  (Vencovsky, 1987), a média da geração  $F_1$  passa a ser:

$\bar{F}_{1i} = m+a+2d$  (Lima, 1999). Assim, a estimativa de  $m+a$  pode ser obtida por:

$2\bar{F}_{2i} - \bar{F}_{1i}$  e  $d$  por:  $\bar{F}_{1i} - \bar{F}_{2i}$ , em que:

*m*: ponto médio de dois genótipos homocigóticos completamente contrastantes;  
*a*: contribuição dos locos em homocigose para a média de cada clone;  
*d*: contribuição dos locos em heterocigose para a média de cada clone.

Para as estimativas de *m+a* e *d* em porcentagem, os valores obtidos foram divididos pela média da geração F<sub>2</sub> do clone *i* e multiplicados por 100.

**c) Herdabilidade no sentido amplo ( $h_{a_1}^2$ ):**

Considerando que a variância entre plantas de um clone ( $\sigma_{C_i}^2$ ) é toda ambiental ( $\sigma_{C_i}^2 = \sigma_E^2$ ) e que a variância fenotípica entre plantas da geração F<sub>2</sub> ( $\sigma_{F_1}^2$ ) do referido clone contém a variância genética ( $\sigma_{G_i}^2$ ) e a variância ambiental ( $\sigma_E^2$ ), pode-se inferir que  $\sigma_{G_i}^2 = \sigma_{F_1}^2 - \sigma_{C_i}^2$ . Assim, o estimador da herdabilidade é:

$$h_{a_1}^2 = \sigma_{G_i}^2 / (\sigma_{G_i}^2 + \sigma_E^2)$$

em que:

$\sigma_E^2$ : variância ambiental média entre as plantas de todos os clones avaliados;

$\sigma_{G_i}^2 + \sigma_E^2$ : variância entre plantas da geração F<sub>2</sub>.

**d) Ganho esperado com a seleção (GS):**

$$GS_1(\%) = \left( \frac{h_{a_1}^2 \times ds_i}{mc_i} \right) \times 100$$

em que:

$ds_i$ : diferencial de seleção *i* ( $ds_i = ms_i - mc_i$ ), sendo:

$ms_i$ : média das 4 melhores plantas na geração F<sub>2</sub> do clone *i*;

$mc_i$ : média da geração F<sub>1</sub> do clone *i*.

TABELA 11 Relação dos clones elite utilizados na estimativa da depressão por endogamia em *Eucalyptus*.

Clones elite	Origem
1	Híbrido cuja mãe é de <i>E. urophylla</i>
2	Híbrido cuja mãe é de <i>E. grandis</i> , de Rio Claro, SP
3	Híbrido cuja mãe é de <i>E. grandis</i> , de Rio Claro, SP
4	Híbrido cuja mãe é de <i>E. grandis</i> , de Rio Claro, SP
5	Híbrido cuja mãe é de <i>E. grandis</i> , de Rio Claro, SP
6	Híbrido cuja mãe é de <i>E. urophylla</i> , de Rio Claro, SP
7	Híbrido cuja mãe é de <i>E. grandis</i> , de Rio Claro, SP
8	Híbrido cuja mãe é de <i>E. saligna</i> , de Rio Claro, SP
9	Híbrido de <i>E. urophylla</i> , de Rio Claro, SP
10	Híbrido cuja mãe é de <i>E. grandis</i>

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Qualquer indivíduo em uma população de plantas de reprodução sexuada é produto da união de dois gametas. Estes gametas, se duplicados, correspondem às duas linhagens parentais. Assim, como já mencionado, qualquer planta nesta população é, na verdade, um híbrido simples. Uma planta desta população que é multiplicada vegetativamente corresponde a um clone. Desse modo, todo clone equivale à geração  $F_1$  de um híbrido simples. De modo análogo, as plantas oriundas de um clone autofecundado constituem a geração  $F_2$  do referido híbrido. Por esse motivo, aqui, quando se referir à propagação clonal, será considerada a geração  $F_1$  e, quando se referir às plantas provenientes de autofecundação, a geração  $F_2$ .

Na avaliação da geração  $F_1$ , a estimativa do coeficiente de variação experimental (CV) foi de pequena magnitude para a densidade básica da madeira (maior precisão experimental) e de média magnitude para a circunferência à altura do peito (Tabela 12). Como já mencionado, na geração  $F_2$ , devido à segregação e recombinação dos genes, a variação entre as plantas de um mesmo clone é de natureza genética e ambiental. Nessa condição, como era esperado, a precisão experimental foi menor (Tabela 13). Entretanto, houve a mesma tendência na precisão experimental, em relação à observada na geração  $F_1$ .

Comparações dos coeficientes de variação experimentais obtidos com os da literatura são difíceis. Na maioria dos trabalhos foi avaliado apenas o volume. Além do mais, os dados disponíveis relacionam-se a várias plantas por parcela. Assim, por exemplo, na avaliação de 121 clones, também em Aracruz, aos três anos de idade, a estimativa do CV para o volume da madeira variou de 21,0% a 24,0% (Nunes, 2000). O único trabalho encontrado na literatura utilizando uma

planta por parcela envolveu a avaliação de clones de *Eucalyptus camaldulensis* na região noroeste de Minas Gerais. Aos 27 meses de idade, os CV obtidos variaram de 27,0% a 37,0% para o volume da madeira (Andrade, 2002). Como se constata, esses valores foram superiores ao obtido para a circunferência à altura do peito no presente trabalho, na geração F<sub>1</sub>.

Detectou-se diferença significativa entre os clones nas duas gerações (Tabelas 12 e 13). Os maiores destaques para a circunferência à altura do peito foram os clones 3, 4, 5, 7 e 8 (Tabela 14). Já para a densidade básica da madeira, os clones 2, 4 e 5 apresentaram maior desempenho (Tabela 14). Esses resultados evidenciam que é possível identificar clones, como os de números 4 e 5, que associem os fenótipos de interesse para a empresa em relação aos caracteres avaliados.

O principal objetivo deste trabalho foi estimar a depressão por endogamia (DE). A existência de efeito de gerações nas análises de variância evidencia que houve depressão por endogamia (Tabela 15). Os resultados médios das gerações F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub> mostram que, na média dos 10 clones, a depressão foi de 17,5% para a circunferência à altura do peito e de 4,0% para a densidade básica da madeira (Tabela 14).

Esses valores são compatíveis com as estimativas relatadas na literatura em outras condições. Foram encontrados relatos da depressão por endogamia em *E. grandis*, aos dois anos de idade, de 40,0% para a circunferência à altura do peito e de 22,0% para a altura das plantas e, aos três anos de idade, de 26,0% para a circunferência à altura do peito e de 24,0% para a altura, em relação às progênies obtidas no cruzamento de *E. grandis* x *E. urophylla* (Campinhos et al., 1998). Em *E. globulus*, aos 19 meses de idade, foram estimadas depressões por endogamia de 21,0% para o diâmetro à altura do peito e de 22,0% para a altura das plantas (Hardner & Potts, 1995). Os autores constataram que a depressão sofreu ligeiro aumento com a idade; aos 43 meses, ela foi de 24,0% para o

diâmetro e de 26,0% para a altura. Em *E. regnans*, aos 45 meses de idade, a estimativa obtida para a depressão por endogamia foi de 11,0% para o diâmetro à altura do peito, 18,0% para a altura e de 37,0% para o volume de madeira (Griffin & Cotterill, 1988).

Para a ocorrência de depressão por endogamia há necessidade, além da ocorrência de locos em heterozigose, de que, no controle do caráter, ocorra dominância e ou epistasia. Não foram encontrados relatos da ocorrência de epistasia no gênero *Eucalyptus*. Contudo, a presença de dominância tem sido detectada para o volume de madeira (Rezende & Resende, 2000; Bouvet & Vigneron 1996). No presente trabalho é provável que a dominância e ou epistasia esteja envolvida no controle genético da circunferência à altura do peito.

Outro objetivo do trabalho foi verificar se a depressão por endogamia difere entre os clones. A existência de interação tratamentos x gerações significativa ( $p < 0,01$ ) evidencia que a depressão por endogamia não foi a mesma entre os clones (Tabela 15). Considerando, por exemplo, a circunferência à altura do peito, a depressão por endogamia foi mais pronunciada para os clones 3, 4 e 7, ao passo que, para o clone 8, ela foi nula (Tabela 14). Em princípio, estes resultados evidenciam que os clones 3, 4 e 7 possuem maior proporção de locos em heterozigose para essa característica em relação ao clone 8. Para a densidade básica da madeira, a depressão por endogamia, apesar de pequena, foi mais acentuada para os clones 7 e 8.

Era esperado que a depressão por endogamia no eucalipto fosse maior. Uma das razões de isso não ter ocorrido é que como neste gênero a taxa de autofecundação natural varia de 10,0% a 30,0% (Eldridge et al., 1993), em cada geração, parte dos alelos letais é naturalmente eliminada, diminuindo gradativamente a depressão por endogamia. Outra razão é que, durante a obtenção das mudas, há mortalidade das plântulas que expressam alelos

deletérios. Esta mortalidade também ocorre no campo, durante o desenvolvimento das árvores. Desse modo, as estimativas estariam subestimadas.

A mortalidade no campo foi constatada neste trabalho. Verifica-se, nas Tabelas 14 e 16, que um dos principais efeitos da endogamia é na mortalidade das plantas. Em alguns casos, como para os clones 3, 4, 7, 9 e 10, ocorreu mortalidade superior a 32,0%. Isto indica que estes clones possuem elevada carga genética, que se expressa quando autofecundados. Este resultado é semelhante ao obtido por Hardner & Potts (1995), em *E. globulus*, aos 43 meses de idade.

Um outro questionamento a respeito da confiabilidade da estimativa da depressão por endogamia obtida seria em relação ao número de plantas utilizadas para representar as gerações  $F_2$ . No presente caso, foram utilizadas 40 plantas. Não há informações disponíveis a esse respeito na cultura do eucalipto.

A comprovação dos resultados obtidos em relação à depressão por endogamia pode ser confirmada por meio das estimativas da contribuição dos locos em homozigose ( $m+a$ ) e em heterozigose ( $d$ ) para o desempenho dos diferentes clones (Tabela 17). De modo geral, verifica-se que a contribuição dos locos em homozigose é bem mais expressiva do que a dos locos em heterozigose, especialmente para a densidade básica da madeira. Além do mais, ficou novamente evidenciado que o clone 7 possui maior proporção de locos em heterozigose.

Comparações da estimativa de  $m+a$  e  $d$  com outras plantas alógamas é difícil, principalmente devido à diferença nos caracteres considerados. Entretanto, tomando como referência a cultura do milho e o caráter produtividade de grãos, por exemplo, verifica-se que a contribuição de  $d$  é em torno de 70,0% e  $m+a$  em torno de 30,0% (Ramalho et al., 2003). Há, contudo, outros caracteres nesta gramínea, cujos resultados são bem semelhantes aos

obtidos para a circunferência à altura do peito em eucalipto, como por exemplo, a altura de plantas e a altura de espigas, em que a estimativa da contribuição de  $d$  é em torno de 30,0% (Hallauer & Miranda Filho, 1988).

Outro questionamento que surge é se seria possível obter, dentro de uma população segregante ( $F_2$ ), indivíduos com desempenho superior ao da geração  $F_1$ . Este fato é esperado se o caráter for controlado por genes cuja interação alélica predominante seja aditiva ou com dominância parcial. Para responder a essa indagação foi estimado o ganho esperado com a seleção dentro da geração  $F_2$  (Tabelas 18 a 19). Para essa estimativa foi considerada como variância ambiental a variância média entre as plantas de cada clone na geração  $F_1$ . Também foi estimado o ganho percentual em relação à média da geração  $F_1$  de cada clone. Mesmo tendo sido utilizadas populações relativamente pequenas na geração  $F_2$ , como já mencionado, em quase todos os casos existe a possibilidade de se obter novos clones superiores ao clone parental. Em alguns casos, o ganho foi bem expressivo, como, por exemplo, para as populações dos clones 1, 6, 8 e 9, para a circunferência à altura do peito. No caso da densidade, os ganhos foram mais expressivos para as populações 3, 4, 9 e 10. É importante salientar que o clone 4 é o mais plantado pela empresa e que seria possível obter, dentro de uma população segregante deste clone, plantas com maior densidade básica da madeira, o que seria muito importante na indústria de celulose.

Evidentemente, essas estimativas podem ser consideradas não muito fidedignas por não existirem repetições das plantas avaliadas em cada  $F_2$ . Seria muito importante que elas fossem comprovadas, multiplicando os indivíduos selecionados e procedendo a comparação de seus desempenhos em relação aos parentais. Se estes resultados forem comprovados, fica evidenciado que, no controle genético dos caracteres, o grau médio de dominância é menor que 1 e mais ainda, que essa poderia ser uma estratégia para obter novos clones superiores. Para isso, os melhores clones da empresa deveriam ser

autofecundados. Nesse caso, uma estratégia adequada seria colher sementes no centro dos talhões comerciais, o que possibilitaria a obtenção de um grande número de sementes autofecundadas com pequeno trabalho.

Desse modo, seria possível avaliar um grande número de plantas endogâmicas em cada população. Aquelas que manifestarem alelos letais poderiam ser eliminadas precocemente no viveiro. Além do mais, como há possibilidade de obter um grande número de descendentes, poder-se-ia aplicar uma alta intensidade de seleção.

TABELA 12 Resumo das análises de variância para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação da geração F<sub>1</sub> dos clones elite, aos dois anos de idade, em Aracruz, ES.

FV	GL	CAP (cm)		DEN (kg/m <sup>3</sup> )	
		QM	P	QM	P
Repetições	39	36,83	0,00	202,23	0,00
Tratamentos	9	111,34	0,00	11682,6	0,00
Erro	325	9,33		107,82	
CV(%)		11,63		2,41	
Média		26,26		431,59	

TABELA 13 Resumo das análises de variância para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação da geração F<sub>2</sub> dos clones elite, aos dois anos de idade, em Aracruz, ES.

FV	GL	CAP (cm)		DEN (kg/m <sup>3</sup> )	
		QM	P	QM	P
Repetições	39	33,72	0,14	576,69	0,10
Tratamentos	9	280,05	0,00	9113,64	0,00
Erro	242	26,56		433,99	
CV(%)		23,30		5,02	
Média		22,12		414,85	

TABELA 14 Estimativa da depressão por endogamia (DE) de alguns clones elite, para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), aos dois anos de idade, em Aracruz, ES.

TRAT	CAP (cm)			DEN (kg/m <sup>3</sup> )			Sobrevivência (%)	
	Geração		DE (%)	Geração		DE (%)	Geração	
	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>		F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>		F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>
1	25,36 B	22,42 B	<b>11,59</b>	430,37 C	407,13 C	<b>5,40</b>	92,50	82,50
2	26,09 B	20,24 C	<b>22,41</b>	445,70 A	423,24 B	<b>5,04</b>	95,00	85,00
3	27,80 A	21,01 C	<b>24,42</b>	387,39 E	379,34 D	<b>2,08</b>	95,00	57,50
4	28,17 A	20,88 C	<b>25,90</b>	444,23 A	441,13 A	<b>0,70</b>	97,50	67,50
5	26,55 A	23,34 B	<b>12,07</b>	448,39 A	427,29 B	<b>4,71</b>	95,00	87,50
6	25,24 B	22,03 B	<b>12,69</b>	436,45 B	414,33 B	<b>5,07</b>	92,50	72,50
7	27,55 A	19,46 C	<b>29,35</b>	440,95 B	401,52 C	<b>8,94</b>	90,00	55,00
8	28,30 A	28,88 A	<b>0,00</b>	427,83 C	394,59 C	<b>7,77</b>	95,00	97,50
9	23,45 C	20,20 C	<b>13,84</b>	430,00 C	430,29 B	<b>0,00</b>	90,00	62,50
10	23,90 C	18,55 C	<b>22,39</b>	423,94 D	423,14 B	<b>0,19</b>	92,50	60,00
<b>Média</b>	<b>26,24</b>	<b>21,70</b>	<b>17,47</b>	<b>431,52</b>	<b>414,20</b>	<b>3,99</b>	<b>93,50</b>	<b>72,75</b>

Em cada coluna, tratamentos com a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott (P<0,05).

TABELA 15 Resumo das análises de variância para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação das gerações F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub> dos clones elite, aos dois anos de idade, em Aracruz, ES.

FV	GL	CAP (cm)		DEN (kg/m <sup>3</sup> )	
		QM	P	QM	P
Repet. / geração	78	35,27	0,00	389,46	0,00
Gerações (G)	1	3184,57	0,00	46399,4	0,00
Tratamentos (T)	9	271,96	0,00	16839,9	0,00
G x T	9	112,76	0,00	2819,67	0,00
Erro	567	16,68		247,03	
CV(%)		16,71		3,70	

TABELA 16 Resumo da análise de variância para a sobrevivência das plantas dos clones elite, nas gerações F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub>, aos dois anos de idade, em Aracruz, ES.

FV	GL	Sobrevivência (%)	
		QM	P
Gerações	1	2152,81	0,00
Tratamentos	9	124,48	0,34
Erro	9	94,48	
CV(%)		11,69	
Média F <sub>1</sub>		93,50	
Média F <sub>2</sub>		72,75	

TABELA 17 Estimativas da contribuição dos locos em homozigose ( $m+a$ ) e em heterozigose ( $d$ ) para a média de alguns clones elite, para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), aos dois anos de idade, em Aracruz, ES.

Tratamento	CAP (cm)		DEN (kg/m <sup>3</sup> )	
	$m+a$ (%)	$d$ (%)	$m+a$ (%)	$d$ (%)
1	86,89	13,11	94,29	5,71
2	71,11	28,89	94,69	5,31
3	67,68	32,32	97,88	2,12
4	65,04	34,96	99,30	0,70
5	86,27	13,73	95,06	4,94
6	85,46	14,54	94,66	5,34
7	58,46	41,54	90,18	9,82
8	100,00	0,00	91,58	8,42
9	83,93	16,07	100,00	0,00
10	71,15	28,85	99,81	0,19
<b>Média</b>	<b>79,09</b>	<b>20,91</b>	<b>95,82</b>	<b>4,18</b>

TABELA 18 Estimativas da herdabilidade no sentido amplo ( $h_a^2$ ) dentro das populações  $F_2$  e do ganho esperado com a seleção (GS), em relação à média do clone parental, para a circunferência à altura do peito (CAP), aos dois anos de idade, em Aracruz, ES.

Tratamento	$h_a^2$	mc	ms	ds	GS	GS (%)
1	0,52	25,35	31,60	6,25	3,25	12,82
2	0,58	26,09	29,23	3,14	1,82	6,97
3	0,52	27,82	28,78	0,96	0,50	1,79
4	0,60	28,17	28,98	0,81	0,48	1,71
5	0,44	26,56	30,50	3,94	1,73	6,53
6	0,51	25,23	30,48	5,25	2,67	10,60
7	0,55	27,53	26,43	-1,11	0,00	0,00
8	0,63	28,30	38,03	9,73	6,13	21,65
9	0,70	23,47	30,23	6,76	4,73	20,15
10	0,51	23,89	26,28	2,39	1,22	5,09

$h_a^2$  – herdabilidade no sentido amplo; mc – média do clone ( $F_1$ ); ms – média das plantas selecionadas na geração  $F_2$ ; ds – diferencial de seleção.

TABELA 19 Estimativas da herdabilidade no sentido amplo ( $h_a^2$ ) dentro das populações  $F_2$  e do ganho esperado com a seleção (GS), em relação à média do clone parental, para a densidade básica da madeira (DEN), aos dois anos de idade, em Aracruz, ES.

Tratamento	$h_a^2$	mc	ms	ds	GS	GS (%)
1	0,69	430,46	441,75	11,29	7,79	1,81
2	0,55	445,74	451,37	5,63	3,10	0,70
3	0,86	387,39	417,00	29,61	25,46	6,57
4	0,72	444,23	477,50	33,27	23,95	5,39
5	0,62	448,43	454,12	5,69	3,53	0,79
6	0,65	436,54	441,75	5,21	3,39	0,78
7	0,78	440,89	434,88	-6,01	0,00	0,00
8	0,78	427,83	434,88	7,05	5,50	1,28
9	0,84	430,03	467,88	37,85	31,79	7,39
10	0,81	423,96	463,75	39,79	32,23	7,60

$h_a^2$  – herdabilidade no sentido amplo; mc – média do clone ( $F_1$ ); ms – média das plantas selecionadas na geração  $F_2$ ; ds – diferencial de seleção.

## 4 CONCLUSÕES

A depressão por endogamia variou entre os clones e foi, em média, de 17,5% para a circunferência à altura do peito e de 4,0% para a densidade básica da madeira.

Para a maioria dos clones foi possível selecionar plantas na geração F<sub>2</sub> com desempenho superior ao do clone parental, evidenciando que esta é uma boa alternativa para os melhoristas procederem à seleção de plantas superiores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, H. B. **Eficiência dos experimentos com clones na cultura do eucalipto**. 2002. 162 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- BOUVET, J. M.; VIGNERON, P. Variance structure in *Eucalyptus* hybrid populations. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 45, n. 2-3, p. 171-177, 1996.
- CAMPINHOS, E. N.; PETERS-ROBINSON, I.; BERTOLUCCI, F. L.; ALFENAS, A. C. Interspecific hybridization and inbreeding effect in seed from a *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* clonal orchard in Brazil. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 21, n. 3, p. 369-374, Sept. 1998.
- ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, I.; HARWOOD, C.; VAN WYK, G. **Eucalypt domestication and breeding**. New York: Oxford University Press, 1993. 288 p.
- GRIFFIN, A. R.; COTTERILL, P. P. Genetic variation in growth of outcrossed, selfed and open-pollinated progenies of *Eucalyptus regnans* and some implications for breeding strategy. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 37, n. 3/4, p. 124-131, 1988.
- HALLAUER, A. R.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. 2. ed. Ames: Iowa State University Press, 1988. 468 p.
- HARDNER, C. M.; POTTS, B. M. Inbreeding depression and changes in variation after selfing in *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 44, n. 1, p. 46-54, 1995.
- LIMA, M.W. de P. **Alternativa de escolha de populações de milho para extração de linhagens**. 1999. 49 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- NUNES, G. H. de S. **Interação genótipos x ambientes em eucalipto: implicações sobre a seleção e formas de atenuar seu efeito**. 2000. 155 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- RAMALHO, M. A. P.; SOUZA, E. A.; SOUZA, J. C. **Genética de populações e quantitativa**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2003. 43 p. Textos acadêmicos.

REZENDE, G. D. S. P.; RESENDE, M. D. V. de. Dominance effects in *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* and hybrids. In: HYBRID BREEDING AND GENETICS OF FOREST TREES, 2000, Noosa. **Proceedings...** Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 93-100.

SAS INSTITUTE. SAS: user's guide statistical version 8.0. Cary, NC, 2000.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. Cluster analyses method for grouping means in the analyses of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n. 3, p. 507-512, Sept. 1974.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G. P. **Melhoramento e produção do milho**. 2. ed. rev. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 135-214.

## **CAPÍTULO 3**

### **CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO ENTRE CLONES ELITE DE EUCALIPTO COM CLONES DE *Eucalyptus camaldulensis* E *Eucalyptus globulus***

## RESUMO

BISON, Odair. **Capacidade de combinação entre clones elite de eucalipto com clones de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus globulus***. 2004. 169 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.\*

O melhoramento do *Eucalyptus* no Brasil, para a produção de celulose, tem utilizado principalmente as espécies *E. grandis* e *E. urophylla*. Seria interessante introgridir alelos de outras espécies, tais como *E. camaldulensis* e *E. globulus*, para a melhoria do volume e qualidade da madeira. Com esse objetivo, foi conduzido o presente trabalho visando avaliar o potencial dos híbridos entre clones elites da Aracruz Celulose S. A. com clones de *E. camaldulensis* e *E. globulus*. Para isso, seis clones elite da empresa foram cruzados com dez clones de *E. camaldulensis* e com dez clones de *E. globulus*, adotando-se um esquema dialélico parcial. As combinações híbridas obtidas e mais quatro testemunhas foram avaliadas em dois experimentos, um para cada dialelo. Os dois experimentos foram instalados no período de setembro a outubro de 2001, em três locais: Aracruz, ES, São Mateus, ES e Caravelas, BA, no delineamento de blocos casualizados com 40 repetições e uma planta por parcela. Dois anos após o plantio foram avaliadas a circunferência à altura do peito e a densidade básica da madeira. Os dados médios foram submetidos à análise dialélica segundo o método de Griffing (1956), adaptado por Geraldi & Miranda Filho (1988). Constatou-se que: os cruzamentos dialélicos mostraram-se promissores tanto para a obtenção de ganhos em volume de madeira como na qualidade da madeira; a capacidade geral de combinação explicou a maior parte da variação entre os híbridos; dos clones elite da empresa, o testador mais apropriado variou com a espécie utilizada e para a característica avaliada.

---

\* Comitê de orientação: Magno Antonio Patto Ramalho – UFLA (Orientador); Gabriel Dehon Sampaio Peçanha Rezende – Aracruz Celulose S. A.

## ABSTRACT

BISON, Odair. **Combining ability between elite *Eucalyptus* clones with *Eucalyptus camaldulensis* and *Eucalyptus globulus***. 2004. 169 p. Thesis (Doctorate in Genetics and Plant Breeding) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.\*

*Eucalyptus* breeding for cellulose production in Brazil has been using two species, *E. grandis* and *E. urophylla*. Nevertheless, it would be interesting to introgress alleles from other species, such as *E. camaldulensis* and *E. globulus* to improve wood quality and volume. The objective of this research was to evaluate the hybrid potential between elite clones from Aracruz Celulose S. A. and *E. camaldulensis* and *E. globulus* clones. To do so, six elite clones were crossed with ten *E. camaldulensis* and *E. globulus* clones, in a half-diallel mating design. The resulting hybrid combinations as well as the four check clones were evaluated in two experiments, one for each diallel. Both experiments were carried out from September to October 2001, in three sites, Aracruz and São Mateus, in the Espírito Santo State, and Caravelas, Bahia State, Brazil, in a randomized complete block design with single plant plots and 40 replicates. Two years later the circumference at breast height and the wood basic density were measured. The means were submitted to diallel analysis according to the Griffing method (1956), adapted by Geraldi & Miranda Filho (1988). It was observed that the diallel crossings were promising both for the wood volume and wood quality gain; the crossings average performance allow us to infer that it is possible to obtain gains with selection; the general combining ability was responsible for most of the variations between the hybrids; as for the elite clones, the most appropriate tester varied according to each species being used and with the trait being evaluated.

---

\* Guidance Committee: Magno Antonio Patto Ramalho – UFLA (Advisor); Gabriel Dehon Sampaio Peçanha Rezende – Aracruz Celulose S. A.

## 1 INTRODUÇÃO

O sucesso no melhoramento do *Eucalyptus* no Brasil com ênfase no volume de madeira é inquestionável. Contudo, as empresas almejam que se continue o programa de seleção para volume, porém, associado a outros fatores que possam reduzir o consumo específico de madeira ou o custo do processo industrial.

Até o momento, os trabalhos de seleção visando à indústria de celulose concentraram-se nas espécies *E. grandis* e *E. urophylla*, bem como nos híbridos entre estas. Seria muito importante introgridir alelos de outras espécies visando à melhoria da qualidade da madeira. Uma das opções é a espécie *E. camaldulensis*, que é bem adaptada às condições tropicais e associa bom volume de madeira com alta densidade. O aumento da densidade básica da madeira proporciona uma redução do consumo específico de madeira, devido à maior quantidade de fibras de celulose contidas em um determinado volume. Uma outra opção promissora é a espécie *E. globulus*, que é de clima temperado e, provavelmente, possui menor adaptação; porém, apresenta densidade mais elevada do que *E. grandis* e *E. urophylla*, além do seu menor teor de lignina, o que permite o aumento do rendimento de celulose e a redução do custo de extração das fibras.

Seria muito importante verificar a capacidade de combinação dessas espécies. Como o melhoramento é uma acumulação de vantagens (Rasmusson & Phillips, 1997), seria importante que os cruzamentos se restringissem a clones elite das espécies envolvidas. Uma estratégia para avaliar a capacidade de combinação desses clones é a utilização dos cruzamentos dialélicos. No caso, os dialelos parciais, pois um grupo de genitores de uma espécie é cruzado com os de outra espécie (Geraldi & Miranda Filho, 1988). Por meio dos cruzamentos

dialélicos é possível obter informações a respeito da capacidade de combinação, bem como fazer inferência sobre o tipo de efeito gênico prevaemente no controle dos caracteres.

Infelizmente, os dialelos têm sido pouco utilizados no melhoramento florestal. Por esse motivo, foi realizado o presente trabalho, com o objetivo de verificar a capacidade de combinação de clones elite de eucalipto, da Aracruz Celulose S. A., com clones de *E. camaldulensis* e de *E. globulus*, utilizando-se cruzamentos dialélicos parciais.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados dois dialelos em três locais de plantio comerciais da empresa Aracruz Celulose S. A., que foram Aracruz, ES, São Mateus, ES e Caravelas, BA. As coordenadas geográficas dos locais de plantio são: Aracruz: 19° 50' 19" de latitude S e 40° 12' 43" de longitude W; São Mateus: 18° 36' 13" de latitude S e 40° 01' 32" de longitude W e Caravelas: 17° 47' 17" de latitude S e 39° 33' 57" de longitude W.

Foi conduzido um experimento para a avaliação da capacidade de combinação de clones elite com clones de *E. camaldulensis* e outro para a avaliação da capacidade de combinação de clones elite com clones de *E. globulus*. No primeiro experimento foram avaliadas 44 combinações híbridas entre clones elite de eucalipto da Aracruz Celulose S. A. e clones de *E. camaldulensis* da V & M Florestal Ltda. No segundo experimento foram avaliadas 47 combinações híbridas entre clones elite da Aracruz Celulose S. A. e clones de *E. globulus* oriundos do Chile.

Para a realização dos cruzamentos, pólen de 10 clones superiores de *E. camaldulensis* e de 10 clones superiores de *E. globulus* foi enviado para a Aracruz Celulose S. A. Desse modo, a propriedade desses clones ficou preservada pelas empresas detentoras dos mesmos. Seis clones elite da Aracruz Celulose S. A. foram utilizados como mães em cruzamentos dialélicos parciais com os clones de *E. camaldulensis* e de *E. globulus*. Os clones elite foram os mesmos nos dois dialelos e a relação destes consta na Tabela 20.

As sementes obtidas nos cruzamentos foram coletadas e semeadas em tubetes na casa de vegetação para a obtenção das mudas. Também foram produzidas mudas dos clones utilizados como testemunhas. Os experimentos foram instalados de setembro a outubro de 2001, adotando-se o delineamento de

blocos casualizados com 40 repetições e uma planta por parcela, com espaçamento entre plantas de 3 x 3m. Os clones de números 1 a 4 foram incluídos como testemunhas nos dois experimentos. O manejo dos experimentos foi o mesmo adotado para o plantio comercial.

Dois anos após a implantação dos experimentos foram tomados os seguintes dados:

- circunferência à altura do peito (cm);
- penetração da agulha do pilodyn na madeira (mm).

A partir da avaliação realizada com o pilodyn foi estimada a densidade básica da madeira ( $\text{kg/m}^3$ ), pela expressão: Densidade =  $615 - 11 * \text{Leitura do pilodyn}$ . Para a obtenção desta expressão, anteriormente, foram avaliadas 142 árvores de diferentes espécies de eucalipto, com dois anos de idade, utilizando o pilodyn e, em seguida, determinou-se a densidade básica da madeira no laboratório. A partir destas avaliações foi construída a equação de regressão entre a leitura do pilodyn e a densidade básica da madeira.

Foi realizada, inicialmente, a análise de variância por local, em cada experimento e, posteriormente, a análise de variância conjunta, envolvendo os três locais, para cada experimento, adotando-se o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = m + t_i + r_{j(k)} + l_k + (tl)_{ik} + e_{(ijk)}$$

em que:

$Y_{ijk}$ : valor observado na parcela que recebeu o tratamento  $i$ , na repetição  $j$ , no local  $k$ ;

$m$ : média geral do experimento;

$t_i$ : efeito fixo do tratamento  $i$  ( $i=1,2,3,\dots,n$ );

$r_{j(k)}$ : efeito fixo da repetição  $j$  dentro do local  $k$  ( $j=1,2,3,\dots,40$ );

$l_k$ : efeito fixo do local  $k$  ( $k=1,2,3$ );

$(tl)_{ik}$ : efeito fixo da interação entre o tratamento  $i$  com o local  $k$ ;

$e_{(ijk)}$ : erro experimental associado à observação  $Y_{ijk}$ , tendo  $e_{(ijk)} \sim N(0, \sigma^2)$ .

As análises de variância foram feitas utilizando-se o *Procedure for General Linear Models* (PROC GLM) do SAS® (SAS..., 2000). As rotinas computacionais utilizadas para as análises são descritas no anexo A.

Para se ter uma idéia da magnitude das alterações no desempenho dos tratamentos nos locais dois a dois, foram estimadas as correlações entre as médias dos tratamentos nos pares de locais.

Utilizando-se os dados médios por local e na análise conjunta, foram obtidas as estimativas da capacidade de combinação, utilizando o modelo de Griffing (1956), adaptado aos cruzamentos dialélicos parciais por Geraldi & Miranda Filho (1988). O modelo foi o seguinte:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + \bar{e}_{ij}$$

em que:

$Y_{ij}$ : é a média do cruzamento envolvendo o i-ésimo genitor do grupo 1 e o j-ésimo genitor do grupo 2;

$\mu$ : média geral do dialelo;

$g_i$ : efeito da capacidade geral de combinação do i-ésimo genitor do grupo 1;

$g_j$ : efeito da capacidade geral de combinação do j-ésimo genitor do grupo 2;

$s_{ij}$ : efeito da capacidade específica de combinação;

$\bar{e}_{ij}$ : erro experimental médio.

Considerando que nem todos as combinações foram obtidas e que houve diferenças no número de repetições, as análises dialélicas foram realizadas pelo método dos quadrados mínimos, utilizando-se o *Procedure for Interactive Matrix Language* (PROC IML) do SAS® (SAS..., 2000). Para isso, o professor Eduardo Bearzoti, do Departamento de Ciências Exatas da UFLA, construiu uma rotina computacional que é descrita no anexo A.

TABELA 20 Relação dos clones elite utilizados nos cruzamentos com *E. camaldulensis* e com *E. globulus*.

Clones elite	Origem
1	Híbrido cuja mãe é de <i>E. grandis</i> , de Rio Claro, SP
2	Híbrido cuja mãe é de <i>E. saligna</i> , de Rio Claro, SP
3	Híbrido cuja mãe é de <i>E. urophylla</i> , de Rio Claro, SP
4	Híbrido cuja mãe é de <i>E. grandis</i> , de Rio Claro, SP
5	Híbrido de <i>E. urophylla</i> , de Flores-Indonésia
6	Híbrido de <i>E. grandis</i> , de Zimbabwe

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos seis clones elite utilizados nos cruzamentos com *Eucalyptus camaldulensis* e *E. globulus*, dois são híbridos intra-específicos e quatro são híbridos naturais em que se conhece somente a espécie materna (Tabela 20). Provavelmente, são híbridos interespecíficos, devido ao grande número de espécies introduzidas no Horto Florestal de Rio Claro, SP e a possibilidade de ocorrência de cruzamentos entre elas.

Os resumos das análises de variância individuais e conjunta para a avaliação dos cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* x clones elite são apresentados nas Tabelas 21 a 24 e para a avaliação dos cruzamentos dialélicos entre clones de *E. globulus* x clones elite, nas Tabelas 25 a 28. Nos dois experimentos, os coeficientes de variação experimental (CV) foram baixos para a densidade básica da madeira (maior precisão experimental) e médios para a circunferência à altura do peito. A menor precisão experimental observada na avaliação dos cruzamentos de *E. globulus* x clones elite ocorreu devido à maior mortalidade de plantas, desde a fase juvenil até o momento da avaliação. Essa maior mortalidade, em princípio, se deve à menor adaptação da espécie *E. globulus*.

O teste F foi significativo para o efeito de tratamentos (híbridos, testemunhas e o contraste híbridos *versus* testemunhas), em quase todas as avaliações, tanto nas análises individuais quanto nas conjuntas. Comparando-se as médias dos híbridos com as das testemunhas, observa-se que, nos dois experimentos, os híbridos apresentaram menor média para a circunferência à altura do peito e maior média para a densidade básica da madeira (Tabelas 21 a 28).

As interações tratamentos x locais (híbridos x locais, testemunhas x locais e híbridos *versus* testemunhas x locais) foram significativas na maioria das avaliações (Tabelas 24 e 28). Isso indica que os híbridos e as testemunhas não apresentaram comportamento coincidente nos diferentes locais de avaliação. Embora as interações tenham sido significativas, constata-se que a soma de quadrados devido à interação foi proporcionalmente bem inferior à soma de quadrados de tratamentos. No dialeto com *E. camaldulensis*, por exemplo, a soma de quadrados da interação foi de apenas 17,0% da soma de quadrados de tratamentos para a circunferência à altura do peito e de 29,0% para a densidade básica da madeira. Valores semelhantes podem ser constatados para o dialeto com *E. globulus*.

A baixa contribuição da interação tratamentos x locais é realçada pelas estimativas das correlações fenotípicas entre o desempenho médio dos tratamentos nos locais dois a dois (Tabela 29). No dialeto com *E. camaldulensis*, as correlações foram superiores a 0,6 para os dois caracteres. No dialeto com *E. globulus*, elas foram de menor magnitude, mas, especialmente para a circunferência à altura do peito, foram relativamente altas.

Os dados encontrados na literatura indicam que a interação tratamentos x locais é maior para o volume de madeira do que para a densidade. Em outros experimentos conduzidos nos mesmos locais, envolvendo a avaliação de clones, verificou-se que a variância da interação tratamentos x locais, foi de 33,0% da variância genética de tratamentos para o volume de madeira (Nunes, 2000) e de 4,0% para a densidade básica da madeira (Lima et al., 2000). As estimativas das correlações entre o desempenho dos tratamentos em outros locais de avaliação também comprovam este fato. Em um trabalho envolvendo a avaliação de clones de *E. grandis*, em vários locais e com várias plantas por parcela, as estimativas das correlações genéticas variaram de 0,6 a 0,7 para o volume de madeira e foram em torno de 0,9 para a densidade (Osório et al., 2001). Em outros

trabalhos, valores de correlações genéticas em torno de 0,6 foram obtidos para o volume de madeira (Marcó & White, 2002) e para o diâmetro à altura do peito (Wei & Borralho, 1998), na avaliação de famílias de meios-irmãos, utilizando-se uma planta por parcela.

Analisando-se as médias obtidas nas análises conjuntas, para o dialelo com *E. camaldulensis*, constatou-se que o desempenho dos híbridos em relação às testemunhas foi de 95,9% para a circunferência à altura do peito e de 101,4% para a densidade. Para o dialelo com *E. globulus*, a média dos híbridos foi bem inferior à das testemunhas para a circunferência à altura do peito (68,1%) e superior à média destas para a densidade básica da madeira (105,5%). Como as testemunhas foram as mesmas para os dois experimentos, constata-se que os híbridos obtidos nos cruzamentos entre *E. camaldulensis* x clones elite apresentaram maior média para a circunferência à altura do peito, provavelmente devido à menor adaptação da espécie *E. globulus* às condições prevalentes na região.

As estimativas das correlações fenotípicas entre os caracteres analisados são apresentadas na Tabela 30. Observe que as correlações foram negativas nos dois dialelos. Devido à magnitude das correlações negativas no dialelo com *E. globulus*, acredita-se que seja mais difícil obter híbridos que associem maior volume e densidade da madeira nestes cruzamentos.

O que interessa realmente é verificar se algum híbrido apresenta desempenho superior à melhor testemunha, já que elas diferiram entre si (Tabelas 21 a 28). O clone 4, por exemplo, o mais utilizado pela empresa, demonstrou sua superioridade em relação à circunferência à altura do peito (Tabelas 31 a 34). Tomando como referência esse clone, constata-se que no dialelo envolvendo *E. camaldulensis*, em Aracruz, por exemplo, 16,0% dos híbridos ficaram no mesmo grupo do clone 4, para a circunferência à altura do peito, pelo teste de Scott & Knott (1974), a 5,0% de probabilidade (Tabela 31).

Em São Mateus e Caravelas, mais de 25,0% dos híbridos ficaram no mesmo grupo do clone 4 (Tabelas 32 e 33). Esse fato é mais expressivo quando se considera que o desempenho dos híbridos é proveniente da média de 40 plantas em cada local e que, como a variação genética entre elas é grande, é provável que novos clones com desempenho superior ao clone 4 possam ser obtidos.

No caso da Aracruz Celulose S. A., a faixa de densidade básica da madeira adotada atualmente é de 500,0 a 550,0 kg/m<sup>3</sup>. Tomando como referência novamente o clone 4, a densidade básica deste clone, aos sete anos de idade, é de 575,0 kg/m<sup>3</sup> (Aguiar, 2004)<sup>1</sup>. Verifica-se que, aos dois anos de idade, o clone 4 apresentou densidade inferior a obtida na idade de corte da árvores (Tabelas 35 a 38), contudo, como a densidade apresenta um ligeiro aumento com a idade, é interessante comparar a densidade básica dos híbridos obtidos com a deste clone. Chama a atenção o fato de que uma grande proporção de híbridos apresentou média superior à do clone 4. No dialelo entre *E. camaldulensis* x clones elite, em Aracruz, 21,0% dos híbridos ocuparam uma classe superior a do clone 4 e, em Caravelas, esse valor já passou para 64,0%. Como a espécie *E. camaldulensis* possui alta densidade básica da madeira (Pereira et al., 2000) e a correlação entre a densidade e a circunferência à altura do peito foi de pequena magnitude, ficou constatado que o cruzamento desta com clones de *E. grandis*, *E. urophylla* ou com o híbrido entre *E. grandis* x *E. urophylla* é uma ótima estratégia para obter novos clones que associem maior volume de madeira e alta densidade. Evidentemente, esses clones terão maior peso de madeira e, conseqüentemente, maior produtividade de celulose por hectare.

Como já mencionado, a espécie *E. globulus* é menos adaptada do que a espécie *E. camaldulensis*. Essa diferença em adaptação é provavelmente devido às suas origens (Eldridge et al., 1993). Essa menor adaptação contribuiu para

---

<sup>1</sup> AGUIAR, A. M. Comunicação pessoal. 2004. (Aracruz Celulose S. A., Centro de Pesquisa e Tecnologia, 29.197-900, Aracruz, Espírito Santo, Brasil).

que o crescimento dos híbridos no dialelo com *E. globulus* fosse menor do que no dialelo com *E. camaldulensis*. Apesar da menor produtividade desses híbridos, alguns deles foram agrupados na mesma classe da melhor testemunha, pelo teste de Scott & Knott (1974), a 5,0% de probabilidade (Tabelas 39 a 42). Essa porcentagem foi de 28,0% em Aracruz, 13,0% em São Mateus e 4,0% em Caravelas.

Para a densidade básica da madeira foram obtidos vários híbridos no dialelo com *E. globulus* com desempenho superior ao do clone 4 (Tabelas 43 a 46). Tanto é assim que, nos três locais, mais de 50,0% dos híbridos agruparam-se em uma classe estatisticamente superior à do clone 4, evidenciando que houve uma boa complementaridade entre *E. globulus* e os clones elite para esse caráter.

Na industrialização da madeira visando à produção de celulose, um dos fatores que mais afeta o custo do processo é o teor de lignina (Do cavaco..., 2003). Assim, é altamente desejável obter clones que associem maior peso da madeira por área e menor teor de lignina. Considerando que uma das principais vantagens da espécie *E. globulus* é o menor teor de lignina (Pereira et al., 2000), os resultados desse trabalho mostram que, provavelmente, há possibilidade de associar menor teor de lignina com maior circunferência à altura do peito e densidade, obtendo assim, menor custo para a extração das fibras de celulose e maior peso da madeira.

Os cruzamentos dialélicos têm como vantagem a possibilidade não só de identificar boas combinações híbridas como também inferir sobre a capacidade de combinação dos genitores envolvidos (Cruz & Regazzi, 2001). Os resultados da análise de variância dos dialelos mostram que o desempenho dos híbridos dependeu tanto da capacidade geral de combinação dos genitores do grupo 1 e grupo 2, como da capacidade específica de combinação. Isto porque, em todos os casos, o teste de F foi significativo ( $p < 0,10$ ) para essas fontes de variação (Tabela 47).

Embora ocorressem diferenças significativas em todos os casos, a contribuição relativa da soma de quadrados dessas fontes de variação para a variação total foi diferente. Tomando como referência, por exemplo, o dialeto envolvendo *E. camaldulensis*, em Aracruz, para a circunferência à altura do peito, constata-se que 70,0% da soma de quadrados atribuída aos híbridos foram explicados pela capacidade geral de combinação e apenas 30,0% pela capacidade específica de combinação. Para a densidade básica da madeira, a contribuição da capacidade geral de combinação (80,0%) também foi superior à contribuição da capacidade específica de combinação (20,0%). Esse comportamento foi muito semelhante para os outros locais (Tabela 47).

Para o dialeto com *E. globulus*, embora a contribuição da capacidade específica de combinação tenha sido ligeiramente superior à observada para o dialeto com *E. camaldulensis*, houve a mesma tendência da contribuição da capacidade geral de combinação em relação à contribuição da capacidade específica de combinação observada no dialeto com *E. camaldulensis*, para as duas características e em todos os locais de avaliação (Tabela 47).

Em princípio, os resultados obtidos possibilitam inferir que no controle genético desses caracteres há predominância de efeitos aditivos, embora a dominância também seja importante. A ocorrência de dominância na expressão de caracteres na cultura do eucalipto tem sido relatada em algumas oportunidades. A estimativa da relação entre a variância de dominância e a variância aditiva obtida no híbrido entre *E. grandis* x *E. urophylla*, para o caráter volume de madeira, aos três anos de idade, foi de 0,2 (Rezende & Resende, 2000), o que equivale a um grau médio de dominância igual a 0,6 (dominância parcial), assumindo frequência alélica média de 0,5. Para o híbrido *E. urophylla* x *E. pellita*, a relação entre a variância de dominância e a variância aditiva mostrou-se mais elevada (Bouvet & Vigneron, 1996). Isso comprova que a variância de dominância contribui para a manifestação do caráter volume de

madeira. Já para a densidade da madeira, os resultados encontrados na literatura indicam que a variância de dominância tem menor importância na manifestação desta característica (Assis, 2000). Esses resultados concordam com os obtidos no presente trabalho.

Assim, infere-se que a heterose não foi muito elevada nos dois dialelos. Ela foi maior para a circunferência à altura do peito das plantas do que para a densidade básica da madeira. Estes resultados estão de acordo com a maior estimativa de depressão por endogamia obtida para a circunferência à altura do peito (17,5%) em relação à densidade básica da madeira (4,0%), utilizando-se clones elite (Capítulo 2).

Comparando a participação da capacidade geral de combinação (CGC) do grupo 1 (clones elite), em relação à CGC do grupo 2, para explicar a variação entre os híbridos, na análise conjunta, por exemplo, os clones elite tiveram menor contribuição para a circunferência à altura do peito e maior para a densidade básica da madeira, nos dois dialelos (Tabela 47). Para o dialelo com *E. camaldulensis* a contribuição da CGC dos clones elite foi de 27,0% para a circunferência à altura do peito e de 54,0% para a densidade básica da madeira. Já para o dialelo com *E. globulus* esses valores foram ligeiramente superiores aos obtidos para o dialelo anterior, sendo iguais a 43,0% para a circunferência à altura do peito e de 81,0% para a densidade básica da madeira.

Considerando-se apenas um loco, a capacidade de combinação (CC) é obtida pela expressão:  $CC = (p_i - \bar{p}) [\bullet + (1-2\bar{r}) \cdot ]$ , em que  $p_i$  é a frequência do alelo favorável para o referido loco no genitor sob avaliação;  $\bar{p}$  é a frequência alélica média dos genitores do mesmo grupo;  $\bar{r}$  é a frequência alélica média dos genitores do outro grupo;  $\bullet$  é a contribuição do loco em homozigose em relação à média e  $\cdot$  é a contribuição do heterozigoto em relação à média. A capacidade de combinação depende assim da contribuição dos efeitos aditivos ( $\bullet$ ) e de dominância ( $\cdot$ ). Neste último caso, a contribuição será possível se o

testador (genitor do outro grupo) apresentar frequência alélica média inferior a 0,5. No caso da circunferência à altura do peito, maior variação da CGC ocorreu entre os clones do grupo 2, *E. camaldulensis* e *E. globulus*, ou seja, no grupo com menor frequência de alelos favoráveis para o referido caráter. O contrário foi observado para a densidade básica da madeira (Tabela 47).

Já a capacidade específica de combinação (CEC) é obtida pela expressão:  $CEC = 2 [(\bar{p} - p_i) (r_i - \bar{r})]$  • (Vencovsky, 1987). Assim, a CEC depende da divergência entre os genitores e da ocorrência de dominância. Como os genitores pertencem a “pools” gênicos diferentes e também são de origens diferentes, infere-se que a CEC foi de menor magnitude devido à pequena contribuição da dominância na expressão dos caracteres, especialmente para a densidade básica da madeira.

As estimativas da capacidade de combinação nos cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* x clones elite, para a circunferência à altura do peito e a densidade básica da madeira, são apresentadas nas Tabelas 48 a 55. Para a circunferência à altura do peito, observa-se, no grupo 1 (clones elite), que os clones com estimativa da CGC positiva foram os de números 2, 5 e 6 (Tabela 51). A princípio, era esperado que o clone 4 apresentasse CGC positiva, pois ele possui média alta. Provavelmente, este clone é vigoroso devido à ocorrência da maioria dos locos em heterozigose, isto é, ele possui frequência alélica média igual a 0,5 ( $p=0,5$ ). Esse fato é justificado pela sua grande depressão quando autofecundado (Capítulo 2). Os demais clones devem ter maior frequência de alelos favoráveis em homozigose. Assim, a frequência alélica média dos alelos favoráveis nos genitores desse grupo é superior a 0,5. Desse modo, fica fácil explicar a menor estimativa da CGC do clone 4 para a circunferência à altura do peito. No grupo 2 (*E. camaldulensis*), os clones com CGC positiva foram os de números 2, 5, 6 e 7 (Tabela 51).

Entre os cruzamentos com capacidade específica de combinação (CEC) positiva, é interessante escolher aqueles cujos pais apresentem CGC positiva. As médias dos cruzamentos também devem ser levadas em consideração para a escolha das melhores combinações. Desse modo, os cruzamentos que mais se destacaram foram os números 2 x 7, 6 x 1, 6 x 2, 6 x 3 e 6 x 7 (Tabela 51).

Ainda no dialelo com *E. camaldulensis*, considerando a densidade básica da madeira, os clones que apresentaram CGC positiva no grupo 1 foram os de números 1, 3 e 4 (Tabela 55). No grupo 2, os clones que apresentaram CGC positiva foram os de números 5, 6, e 7. Neste grupo, os genitores com CGC positiva também apresentaram CGC positiva para a circunferência à altura do peito, evidenciando que estes possuem maior frequência de alelos favoráveis, em relação aos demais genitores deste grupo, para as duas características. Os cruzamentos que se destacaram com base na estimativa da CEC e nas médias foram os números 1 x 10, 3 x 6, 4 x 5, 4 x 7 e 4 x 8 (Tabela 55).

As estimativas da capacidade de combinação nos cruzamentos dialélicos entre clones de *E. globulus* x clones elite, para a circunferência à altura do peito e para a densidade básica da madeira, são apresentadas nas Tabelas 56 a 63. Para a circunferência à altura do peito observa-se que, no grupo 1 (clones elite), o clone que apresentou CGC positiva foi o de número 5 (Tabela 59). É interessante destacar que o clone 4 deste grupo, a semelhança do que ocorreu nos cruzamentos com *E. camaldulensis*, apresentou CGC negativa. No grupo 2 (*E. globulus*), o clone com CGC positiva foi o de número 6. Os cruzamentos que se destacaram com base na CEC e nas médias foram os números 3 x 6, 5 x 6, 5 x 10, 6 x 6 e 6 x 9 (Tabela 59). Já para a densidade básica da madeira, os clones do grupo 1 que apresentaram CGC positiva foram os de números 2 e 4 (Tabela 63). No grupo 2, o clone que apresentou CGC positiva foi o número 10. Os cruzamentos que se destacaram com base na estimativa da CEC e nas médias foram os números 2 x 10, 4 x 4, 4 x 8, 4 x 10 e 6 x 10 (Tabela 63).

Como no grupo dos clones elite o clone 6 apresentou maior CGC para a circunferência à altura do peito no dialelo com *E. camaldulensis*, ele deve ser utilizado como testador quando forem realizadas novas introduções de clones desta espécie. Da mesma forma, o clone 5 deve ser utilizado como testador para *E. globulus* quando o interesse for a seleção de genitores que proporcionem aumento da circunferência à altura do peito. Verifica-se, assim, que o testador apropriado irá variar de acordo com o “pool” gênico do outro grupo.

Ao que tudo indica, o clone 6 pertence ao “pool” gênico de *E. grandis*, enquanto que o clone 5 ao de *E. urophylla* (Tabela 20). Provavelmente, essa é a principal razão para a diferença no comportamento entre eles em relação à capacidade de combinação com *E. camaldulensis* e *E. globulus*. Os demais clones elite são híbridos naturais de “pools” gênicos diferentes, provavelmente *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. saligna*. Por essa razão, não tiveram comportamento tão diferenciado quando foram utilizados como testadores nos dois dialelos. Os dados encontrados na literatura comprovam que a espécie *E. grandis* possui boa capacidade de combinação com *E. camaldulensis* (Verryn, 2000; Assis, 2000; Barbour et al., 2000) e a espécie *E. urophylla* possui boa capacidade de combinação com *E. globulus* (Assis, 2000). Já para a densidade básica da madeira, o clone 4 mostrou-se um excelente testador nos dois dialelos.

Um dos principais questionamentos é de que modo as informações do dialelo podem ser utilizadas pelos melhoristas de um gênero como o *Eucalyptus*, que pode ser propagado sexuadamente ou assexuadamente. Em um primeiro momento, seria a seleção dos melhores indivíduos para a obtenção de novos clones. A distribuição de frequência para a circunferência à altura do peito e densidade básica da madeira do dialelo envolvendo *E. camaldulensis* mostram que deverá ocorrer sucesso com a seleção (Figuras 1 e 2). A variação, independente do cruzamento, foi grande em todos os locais. Em São Mateus, por exemplo, para a circunferência à altura do peito, a amplitude de variação

correspondeu a 150,0% da média geral (Figura 1b), o que, evidentemente, é uma condição muito favorável para a seleção. No caso da densidade, a amplitude de variação em relação à média não foi tão acentuada como para a circunferência à altura do peito, sendo igual a 26,0% para os três locais (Figura 2).

No caso de uma espécie em que as informações são obtidas por indivíduo, como no eucalipto, uma grande vantagem do dialelo é que, ao mesmo tempo em que se identifica o cruzamento com maior média, pode-se ter, sem esforço adicional, a estimativa da variabilidade dentro do cruzamento. Desse modo, pode-se identificar a população segregante mais promissora para a seleção, isto é, a que associa média e variância altas. Nas Figuras 3 e 4 são apresentadas as distribuições de frequência da circunferência à altura do peito e densidade de alguns cruzamentos com *E. camaldulensis* que se destacaram no dialelo. Evidentemente, a variabilidade é menor do que a anterior, sobretudo porque o número de indivíduos envolvidos é bem inferior. Mas, em todos os casos, fica evidenciado que as populações associaram média alta e variabilidade.

Para a seleção de indivíduos seria interessante a utilização da seleção combinada, conforme preconizada por Resende (2002) e por Bueno Filho & Vencovsky (2000), considerando o desempenho de cada indivíduo e também o desempenho da combinação híbrida a que ele pertence. Outra alternativa seria a seleção de indivíduos com base no valor genotípico, pela metodologia dos modelos mistos, utilizando o BLUP individual (Resende, 2002).

De posse das informações do dialelo, uma boa estratégia seria o melhorista refazer os melhores cruzamentos para obter um grande número de indivíduos e poder aplicar uma forte intensidade de seleção. Como a amplitude de variação genética entre as plantas aumenta com o aumento do tamanho da amostra (Steel et al., 1997), avaliando-se um grande número de indivíduos é possível selecionar plantas com excelente desempenho dentro destas populações e, por conseguinte, obter maior sucesso com a seleção.

Outra informação que pode ser utilizada a partir do dialelo, seria a identificação de genitores para a síntese de um composto visando o melhoramento intrapopulacional, ou de dois compostos para o melhoramento interpopulacional. No caso do melhoramento intrapopulacional, a escolha poderia ser realizada diretamente nos genitores com maior CGC, ou a partir das melhores combinações híbridas, identificando-se os melhores indivíduos para serem intercruzados.

As informações do dialelo, sobretudo numa situação como a do presente trabalho, podem ser utilizadas também para identificar testadores para avaliações futuras de novos clones introduzidos. Essa alternativa já foi discutida anteriormente.

Os dialelos parciais, como utilizado na presente situação, serviram também para mostrar que a utilização de “pools” gênicos de outras espécies deve ser mais explorada no melhoramento do eucalipto. No caso da espécie *E. camaldulensis*, o sucesso seletivo poderá ser mais rápido, uma vez que esta é bem mais adaptada. Já com *E. globulus*, apesar do desempenho dos cruzamentos ter sido inferior, é possível identificar combinações híbridas que associem bom volume de madeira com maior densidade e, provavelmente, menor teor de lignina.

Finalmente, é oportuno salientar que a estratégia da utilização de pólen de clones elite de outras empresas para a realização de cruzamentos com clones plantados comercialmente é muito interessante, pois garante o direito de propriedade dos materiais genéticos à empresa detentora dos clones e, ao mesmo tempo, permite que sejam obtidos híbridos superiores para as empresas que utilizam o pólen. Como salientado por Rasmusson & Philips (1997), o melhoramento é a acumulação de vantagens. Desse modo, todas as empresas poderiam compartilhar dos avanços genéticos obtidos e, por conseguinte, o sucesso do melhoramento genético no Brasil certamente seria ampliado.

TABELA 21 Resumo das análises de variância para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* e clones elite, aos dois anos de idade, em Aracruz, ES.

FV	GL	CAP (cm)		DEN (kg/m <sup>3</sup> )	
		QM	P	QM	P
Repetições	39	36,16	0,01	1103,01	0,00
Tratamentos	47	155,50	0,00	1129,32	0,00
Híbridos (H)	43	164,06	0,00	1070,01	0,00
Testemunhas (T)	3	84,60	0,01	1931,57	0,00
H vs T	1	0,52	0,88	1047,74	0,01
Erro	1653	22,88		178,13	
CV(%)		16,46		2,99	
Média tratamentos		29,07		445,91	
Média híbridos		28,99		446,11	
Média testemunhas		29,06		443,34	

TABELA 22 Resumo das análises de variância para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* e clones elite, aos dois anos de idade, em São Mateus, ES.

FV	GL	CAP (cm)		DEN (kg/m <sup>3</sup> )	
		QM	P	QM	P
Repetições	35	124,80	0,00	769,34	0,00
Tratamentos	47	176,48	0,00	806,37	0,00
Híbridos (H)	43	179,63	0,00	800,12	0,00
Testemunhas (T)	3	91,49	0,07	1047,99	0,00
H vs T	1	360,29	0,00	369,49	0,18
Erro	1145	39,35		208,02	
CV(%)		20,69		3,30	
Média tratamentos		30,31		437,48	
Média híbridos		29,81		438,56	
Média testemunhas		31,74		436,60	

TABELA 23 Resumo das análises de variância para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* e clones elite, aos dois anos de idade, em Caravelas, BA.

FV	GL	CAP (cm)		DEN (kg/m <sup>3</sup> )	
		QM	P	QM	P
Repetições	39	77,98	0,00	595,36	0,00
Tratamentos	47	260,59	0,00	1808,20	0,00
Híbridos (H)	43	251,20	0,00	1289,80	0,00
Testemunhas (T)	3	336,99	0,00	1531,58	0,00
H vs T	1	482,61	0,00	25813,3	0,00
Erro	1675	37,13		236,58	
CV(%)		19,36		3,65	
Média tratamentos		31,47		420,76	
Média híbridos		31,20		422,07	
Média testemunhas		33,06		408,53	

TABELA 24 Resumo das análises de variância conjuntas para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* e clones elite, aos dois anos de idade.

FV	GL	CAP (cm)		DEN (kg/m <sup>3</sup> )	
		QM	P	QM	P
Repetições / locais	113	78,05	0,00	824,45	0,00
Locais (L)	2	1491,76	0,00	144881	0,00
Tratamentos (Trat)	47	493,93	0,00	2810,41	0,00
Híbridos (H)	43	502,36	0,00	2508,07	0,00
Testemunhas (T)	3	377,54	0,00	3636,83	0,00
H vs T	1	595,99	0,00	13454,9	0,00
Trat x L	94	41,71	0,03	403,00	0,00
H x L	86	46,27	0,01	325,93	0,00
T x L	6	67,77	0,05	437,16	0,05
H vs T x L	2	143,80	0,01	5426,78	0,00
Erro	4473	32,43		207,67	
CV(%)		18,80		3,32	
Média tratamentos		30,28		434,35	
Média híbridos		30,00		435,58	
Média testemunhas		31,29		429,49	

TABELA 25 Resumo das análises de variância para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. globulus* e clones elite, aos dois anos de idade, em Aracruz, ES.

FV	GL	CAP (cm)		DEN (kg/m <sup>3</sup> )	
		QM	P	QM	P
Repetições	39	62,90	0,20	407,33	0,31
Tratamentos	50	523,49	0,00	1686,33	0,00
Híbridos (H)	46	321,76	0,00	1100,08	0,00
Testemunhas (T)	3	510,41	0,00	321,08	0,46
H vs T	1	11381,5	0,00	27663,7	0,00
Erro	822	52,78		368,67	
CV(%)		24,86		4,39	
Média tratamentos		29,21		437,13	
Média híbridos		26,27		439,67	
Média testemunhas		36,54		423,67	

TABELA 26 Resumo das análises de variância para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. globulus* e clones elite, aos dois anos de idade, em São Mateus, ES.

FV	GL	CAP (cm)		DEN (kg/m <sup>3</sup> )	
		QM	P	QM	P
Repetições	39	115,63	0,00	368,73	0,09
Tratamentos	49	712,95	0,00	2246,56	0,00
Híbridos (H)	45	443,54	0,00	1462,63	0,00
Testemunhas (T)	3	647,71	0,00	1456,13	0,00
H vs T	1	15991,5	0,00	41914,9	0,00
Erro	758	54,18		279,24	
CV(%)		23,15		3,86	
Média tratamentos		31,79		432,34	
Média híbridos		27,59		438,03	
Média testemunhas		40,15		417,68	

TABELA 27 Resumo das análises de variância para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. globulus* e clones elite, aos dois anos de idade, em Caravelas, BA.

FV	GL	CAP (cm)		DEN (kg/m <sup>3</sup> )	
		QM	P	QM	P
Repetições	39	81,12	0,09	653,48	0,03
Tratamentos	48	710,77	0,00	3794,55	0,00
Híbridos (H)	44	285,52	0,00	1814,62	0,00
Testemunhas (T)	3	449,99	0,00	1784,54	0,01
H vs T	1	19755,7	0,00	89606,3	0,00
Erro	665	61,13		434,05	
CV(%)		26,50		5,01	
Média tratamentos		29,51		415,46	
Média híbridos		25,74		423,13	
Média testemunhas		40,05		392,64	

TABELA 28 Resumo das análises de variância conjuntas para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. globulus* e clones elite, aos dois anos de idade.

FV	GL	CAP (cm)		DEN (kg/m <sup>3</sup> )	
		QM	P	QM	P
Repetições / locais	117	87,46	0,00	469,47	0,01
Locais (L)	2	541,69	0,00	66319,8	0,00
Tratamentos (Trat)	48	1685,38	0,00	6248,34	0,00
Híbridos (H)	44	770,09	0,00	2942,02	0,00
Testemunhas (T)	3	1543,56	0,00	2328,41	0,00
H vs T	1	47401,5	0,00	154931	0,00
Trat x L	96	123,04	0,00	755,42	0,00
H x L	88	141,95	0,00	702,10	0,00
T x L	6	31,97	0,75	616,09	0,11
H vs T x L	2	471,17	0,00	5593,75	0,00
Erro	2227	55,41		356,38	
CV(%)		24,68		4,40	
Média tratamentos		30,15		429,03	
Média híbridos		26,50		433,77	
Média testemunhas		38,92		411,33	

TABELA 29 Estimativa das correlações fenotípicas ( $r_F$ ) entre as médias dos tratamentos nos locais dois a dois, nos experimentos envolvendo os cruzamentos de *E. camaldulensis* x clones elite e *E. globulus* x clones elite, aos dois anos de idade.

Cruzamentos	Correlação	CAP	P	DEN	P
<i>E. camaldulensis</i>	$r_{12}$	0,79	0,00	0,76	0,00
x	$r_{13}$	0,83	0,00	0,69	0,00
clones elite	$r_{23}$	0,79	0,00	0,62	0,00
<i>E. globulus</i>	$r_{12}$	0,68	0,00	0,41	0,00
x	$r_{13}$	0,71	0,00	0,47	0,00
clones elite	$r_{23}$	0,51	0,00	0,34	0,02

1 – Aracruz ; 2 – São Mateus ; 3 – Caravelas.

TABELA 30 Estimativa das correlações fenotípicas ( $r_F$ ) entre as médias dos tratamentos para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), nos experimentos envolvendo os cruzamentos de *E. camaldulensis* x clones elite e *E. globulus* x clones elite, aos dois anos de idade.

Cruzamentos	Aracruz		São Mateus		Caravelas		Conjunta	
	r	P	r	P	r	P	r	P
<i>E. camaldulensis</i> x clones elite	-0,10	0,51	-0,21	0,15	-0,39	0,01	-0,24	0,10
<i>E. globulus</i> x clones elite	-0,48	0,00	-0,81	0,00	-0,85	0,00	-0,75	0,00

TABELA 31 Médias dos híbridos e dos clones utilizados como testemunhas, para a circunferência à altura do peito (CAP), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em Aracruz, ES.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<i>Per se</i>
1	28,20 C	28,37 C		25,45 D	28,10 C	28,10 C			28,77 C	24,29 D	28,86 C
2	29,56 B	29,53 B		24,67 D	30,65 B	30,86 B	31,46 A	28,41 C	30,56 B	26,77 C	27,94 C
3	28,28 C	29,11 B		27,11 C	29,47 B	29,98 B	30,30 B	28,75 C	31,42 A	26,75 C	28,21 C
4	29,42 B	29,58 B		26,97 C	30,83 B		31,41 A	23,95 D	28,73 C	25,90 D	31,21 A
5				27,14 C	28,62 C		29,93 B	29,75 B	30,05 B	29,10 B	
6	32,70 A	32,71 A	32,93 A				32,27 A		28,79 C		

Tratamentos com a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott ( $p < 0,05$ ).

06

TABELA 32 Médias dos híbridos e dos clones utilizados como testemunhas, para a circunferência à altura do peito (CAP), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em São Mateus, ES.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<i>Per se</i>
1	28,69 B	28,56 B		27,49 B	30,11 A	27,20 B			27,36 B	26,21 B	29,91 A
2	31,91 A	31,48 A		27,78 B	30,89 A	33,34 A	34,55 A	30,72 A	33,17 A	27,94 B	31,39 A
3	27,47 B	28,74 B		27,49 B	31,07 A	30,62 A	31,68 A	29,11 B	31,33 A	29,75 A	31,31 A
4	28,02 B	31,64 A		26,21 B	29,77 A		32,45 A	25,11 B	25,67 B	25,05 B	34,36 A
5				27,76 B	30,84 A		32,71 A	32,39 A	32,40 A	26,22 B	
6	34,32 A	33,55 A	32,45 A				33,64 A		26,84 B		

Tratamentos com a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott ( $p < 0,05$ ).

TABELA 33 Médias dos híbridos e dos clones utilizados como testemunhas, para a circunferência à altura do peito (CAP), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em Caravelas, BA.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<i>Per se</i>
1	29,89 C	30,59 C		29,38 C	29,83 C	31,27 B			30,31 C	25,79 D	33,71 A
2	30,20 C	32,56 B		26,40 D	33,08 B	33,65 A	35,06 A	29,56 C	32,81 B	27,51 D	29,85 C
3	33,06 B	33,82 A		29,34 C	34,01 A	32,08 B	34,66 A	28,65 C	33,93 A	30,36 C	31,88 B
4	30,10 C	33,76 A		27,48 D	31,64 B		33,16 B	25,09 D	27,31 D	29,77 C	36,78 A
5				28,83 C	31,93 B		34,41 A	31,81 B	32,47 B	29,76 C	
6	35,25 A	35,18 A	33,78 A				33,37 B		30,09 C		

Tratamentos com a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott ( $p < 0,05$ ).

16

TABELA 34 Médias dos híbridos e dos clones utilizados como testemunhas, para a circunferência à altura do peito (CAP), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, na análise conjunta.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<i>Per se</i>
1	28,93 D	29,17 D		27,44 E	29,34 D	28,86 D			28,81 D	25,43 F	30,83 C
2	30,56 C	31,19 C		26,28 E	31,54 C	32,62 B	33,69 A	29,56 D	32,18 B	27,41 E	29,73 D
3	29,60 D	30,56 C		27,98 D	31,52 C	30,89 C	32,21 B	28,84 D	32,23 B	28,95 D	30,46 C
4	29,18 D	31,66 C		26,89 E	30,74 C		32,34 B	24,72 F	27,24 E	26,90 E	34,12 A
5				27,91 D	30,47 C		32,35 B	31,31 C	31,64 C	28,36 D	
6	34,09 A	33,81 A	33,06 B				33,10 B		28,58 D		

Tratamentos com a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott ( $p < 0,05$ ).

TABELA 35 Médias dos híbridos e dos clones utilizados como testemunhas, para a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em Aracruz, ES.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Per se
1	447,68 B	445,45 B		449,22 B	455,79 A	452,52 A			444,83 C	456,02 A	451,50 A
2	446,71 B	440,90 C		443,52 C	446,90 B	446,30 B	448,15 B	447,48 B	437,66 D	447,92 B	440,99 C
3	444,22 C	442,87 C		443,05 C	451,85 A	456,36 A	455,56 A	446,30 B	439,73 D	445,95 B	434,56 D
4	447,73 B	447,69 B		442,04 C	449,82 B		451,93 A	450,77 A	437,64 D	449,88 B	446,30 B
5				442,27 C	449,27 B		442,38 C	436,99 D	436,00 D	438,39 D	
6	445,33 B	443,25 C	445,40 B				453,19 A		436,09 D		

Tratamentos com a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott ( $p < 0,05$ ).

TABELA 36 Médias dos híbridos e dos clones utilizados como testemunhas, para a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em São Mateus, ES.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Per se
1	440,67 A	443,91 A		440,83 A	443,99 A	442,44 A			438,87 A	448,45 A	443,18 A
2	440,11 A	432,40 B		432,40 B	443,16 A	436,03 B	437,45 B	438,01 A	429,42 B	437,20 B	435,54 B
3	443,41 A	443,93 A		442,75 A	439,40 A	444,92 A	440,61 A	438,24 A	438,79 A	436,59 B	428,34 B
4	448,20 A	441,26 A		433,62 B	444,08 A		448,96 A	446,61 A	434,83 B	436,37 B	439,34 A
5				434,69 B	439,49 A		435,23 B	426,39 B	426,24 B	432,02 B	
6	439,30 A	430,78 B	432,86 B				441,09 A		430,50 B		

Tratamentos com a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott ( $p < 0,05$ ).

TABELA 37 Médias dos híbridos e dos clones utilizados como testemunhas, para a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em Caravelas, BA.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<i>Per se</i>
1	426,16 B	425,27 B		427,14 B	430,15 A	425,77 B			425,74 B	435,14 A	407,75 D
2	424,28 B	417,90 C		421,17 B	422,98 B	417,23 C	417,50 C	423,12 B	416,69 C	421,01 B	410,31 D
3	419,67 C	420,63 B		419,01 C	426,38 B	425,94 B	423,46 B	425,46 B	415,03 C	422,21 B	400,38 E
4	421,67 B	422,59 B		424,50 B	432,47 A		428,34 A	433,75 A	421,28 B	429,13 A	415,68 C
5				418,08 C	429,33 A		415,60 C	418,28 C	408,62 D	413,71 C	
6	414,35 C	417,35 C	416,65 C				420,60 B		409,61 D		

Tratamentos com a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott ( $p < 0,05$ ).

93

TABELA 38 Médias dos híbridos e dos clones utilizados como testemunhas, para a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, na análise conjunta.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<i>Per se</i>
1	438,17 B	438,21 B		439,06 B	443,31 A	440,24 B			436,48 B	446,54 A	434,14 C
2	437,03 B	430,40 C		432,36 C	437,68 B	433,18 C	434,37 C	436,20 B	427,92 D	435,38 B	428,95 D
3	435,77 B	435,81 B		434,93 B	439,21 B	442,41 A	439,88 B	436,67 B	431,18 C	434,92 B	421,09 E
4	439,20 B	437,18 B		433,39 C	442,13 A		443,08 A	443,71 A	431,25 C	438,46 B	433,78 C
5				431,68 C	439,36 B		431,07 C	427,22 D	423,62 E	428,04 D	
6	432,99 C	430,46 C	431,64 C				438,30 B		425,40 D		

Tratamentos com a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott ( $p < 0,05$ ).

TABELA 39 Médias dos híbridos e dos clones utilizados como testemunhas, para a circunferência à altura do peito (CAP), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. globulus* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em Aracruz, ES.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<i>Per se</i>
1					25,47 B	31,97 A			26,65 B	30,97 A	36,49 A
2	22,96 B	24,59 B	23,25 B	22,61 B	20,01 B	32,11 A	26,50 B	23,61 B	23,84 B	22,51 B	32,88 A
3		18,42 B	25,00 B	22,65 B	24,23 B	33,70 A	23,28 B	22,80 B	24,35 B	31,67 A	35,30 A
4		25,50 B	22,30 B	20,81 B	19,71 B	32,53 A	30,97 A	22,99 B	25,45 B	24,98 B	41,46 A
5			25,75 B	32,64 A		33,44 A		28,48 B	32,08 A	34,43 A	
6		22,37 B	27,25 B	26,77 B	28,46 B	31,93 A	24,87 B	18,90 B	37,37 A	21,77 B	

Tratamentos com a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott (p<0,05).

94

TABELA 40 Médias dos híbridos e dos clones utilizados como testemunhas, para a circunferência à altura do peito (CAP), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. globulus* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em São Mateus, ES.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<i>Per se</i>
1					23,27 C	31,81 B			26,34 C	34,08 B	37,94 A
2	30,46 B	31,07 B	26,34 C	21,46 C	20,89 C	28,27 B	29,17 B	23,83 C	30,39 B	21,70 C	37,56 A
3		17,03 C	28,51 B	22,72 C		32,50 B	25,29 C	22,65 C	18,92 C	33,19 B	38,87 A
4		24,45 C	30,16 B	22,53 C	36,95 A	33,06 B	23,54 C	24,56 C	22,72 C	21,89 C	46,24 A
5			30,40 B	30,48 B		36,45 A		30,98 B	34,24 B	38,54 A	
6		38,36 A	20,58 C	10,53 C	40,57 A	35,80 A	25,21 C	20,67 C	30,07 B	26,40 C	

Tratamentos com a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott (p<0,05).

TABELA 41 Médias dos híbridos e dos clones utilizados como testemunhas, para a circunferência à altura do peito (CAP), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. globulus* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em Caravelas, BA.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<i>Per se</i>
1					23,40 C	32,49 B			23,63 C	26,02 C	38,84 A
2	20,78 C	22,50 C	21,94 C	21,57 C	20,73 C	28,42 C	26,34 C	23,84 C	22,57 C	18,77 C	36,70 A
3		26,70 C	27,10 C	23,69 C		32,68 B	24,39 C	23,08 C	25,88 C	29,09 B	39,83 A
4		12,69 C	25,09 C	19,33 C	25,12 C	27,39 C	24,37 C	17,21 C	24,09 C	20,45 C	44,84 A
5			32,54 B	27,73 C		33,93 B		32,28 B	29,65 B	31,01 B	
6			37,29 A	25,73 C	16,28 C	32,70 B	36,56 A	22,39 C	34,55 B	24,38 C	

Tratamentos com a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott ( $p < 0,05$ ).

95

TABELA 42 Médias dos híbridos e dos clones utilizados como testemunhas, para a circunferência à altura do peito (CAP), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. globulus* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, na análise conjunta.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<i>Per se</i>
1					24,03 D	32,08 C			25,55 D	30,35 C	37,76 B
2	24,71 D	26,08 D	23,87 D	21,88 E	20,57 E	29,61 C	27,34 D	23,77 D	25,60 D	20,96 E	35,72 B
3		20,73 E	26,86 D	23,04 E		32,98 C	24,32 D	22,87 E	23,03 E	31,32 C	38,00 B
4		20,85 E	25,83 D	20,92 E	27,29 D	31,02 C	26,28 D	21,63 E	24,07 D	22,47 E	44,18 A
5			29,55 C	30,31 C		34,59 B		30,58 C	31,98 C	34,67 B	
6			28,40 C	21,13 E	28,49 C	33,44 C	28,90 C	20,70 E	33,87 C	24,11 D	

Tratamentos com a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott ( $p < 0,05$ ).

TABELA 43 Médias dos híbridos e dos clones utilizados como testemunhas, para a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. globulus* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em Aracruz, ES.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<i>Per se</i>
1					437,06 B	445,06 A			436,51 B	443,53 A	427,53 B
2	434,69 B	438,45 A	451,02 A	450,50 A	431,44 B	439,16 A	443,96 A	440,15 A	450,40 A	449,24 A	424,46 B
3		439,66 A	438,77 A	440,54 A	440,21 A	445,29 A	439,63 A	431,08 B	443,98 A	431,92 B	420,93 B
4		428,07 B	451,51 A	450,62 A	457,71 A	441,62 A	443,81 A	444,10 A	440,73 A	458,30 A	421,77 B
5			427,66 B	426,28 B		435,61 B		423,89 B	430,27 B	434,74 B	
6		442,68 A	425,15 B	430,79 B	427,80 B	443,52 A	440,94 A	429,32 B	428,97 B	458,25 A	

Tratamentos com a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott ( $p < 0,05$ ).

96

TABELA 44 Médias dos híbridos e dos clones utilizados como testemunhas, para a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. globulus* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em São Mateus, ES.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<i>Per se</i>
1					436,38 D	442,48 C			438,91 C	432,91 D	425,49 D
2	436,92 D	442,65 C	432,68 D	440,59 C	440,87 C	445,58 C	434,98 D	437,41 C	439,86 C	453,35 B	418,88 D
3		458,70 B	430,88 D	442,97 C		435,11 D	435,64 D	450,75 B	443,54 C	431,64 D	415,49 D
4		435,09 D	425,67 D	450,43 B	424,04 D	444,67 C	452,77 B	442,79 C	447,06 C	459,53 B	410,86 D
5			424,55 D	431,25 D		426,84 D		423,15 D	422,90 D	426,80 D	
6		414,62 D	445,97 C	475,61 A	418,24 D	425,11 D	428,58 D	428,36 D	438,76 C	451,70 B	

Tratamentos com a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott ( $p < 0,05$ ).

TABELA 45 Médias dos híbridos e dos clones utilizados como testemunhas, para a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. globulus* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em Caravelas, BA.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<i>Per se</i>
1					417,40 C	422,52 B			432,19 B	426,06 B	393,71 C
2	438,83 A	421,56 B	435,75 B	416,45 C	434,15 B	432,86 B	422,99 B	422,77 B	428,56 B	433,35 B	401,49 C
3		402,88 C	410,49 C	436,26 B		416,20 C	420,88 B	429,95 B	417,63 C	422,56 B	385,01 C
4		457,68 A	432,37 B	432,96 B	419,99 B	440,36 A	428,28 B	447,93 A	427,69 B	449,01 A	390,36 C
5			405,73 C	408,24 C		407,91 C		404,10 C	409,04 C	415,17 C	
6			400,11 C	407,42 C	452,88 A	417,01 C	397,76 C	417,01 C	394,19 C	425,91 B	

Tratamentos com a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott ( $p < 0,05$ ).

97

TABELA 46 Médias dos híbridos e dos clones utilizados como testemunhas, para a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. globulus* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, na análise conjunta.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<i>Per se</i>
1					430,23 B	436,65 B			435,88 B	434,18 B	415,57 D
2	436,92 B	434,08 B	439,86 B	435,84 B	435,41 B	439,18 B	433,98 B	433,39 B	439,59 B	445,35 A	414,93 D
3		433,77 B	426,75 C	439,98 B		432,19 B	432,04 B	437,19 B	435,07 B	428,70 C	407,14 D
4		440,40 B	436,69 B	444,61 A	433,84 B	442,20 A	441,69 A	444,88 A	438,52 B	455,56 A	407,66 D
5			419,38 C	421,96 C		423,46 C		417,05 D	420,75 C	425,59 C	
6			423,77 C	437,86 B	433,03 B	428,63 C	422,45 C	424,91 C	420,60 C	445,48 A	

Tratamentos com a mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott e Knott ( $p < 0,05$ ).

TABELA 47 Resumo das análises de variância para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN) das combinações híbridas resultantes dos cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* x clones elite e entre clones de *E. globulus* x clones elite, aos dois anos de idade, em Aracruz, ES; São Mateus, ES; Caravelas, BA e na análise conjunta.

Cruzamentos	Local	FV	GL	CAP (cm)		DEN (kg/m <sup>3</sup> )	
				QM	P	QM	P
<i>E. camaldulensis</i> x clones elite	Aracruz	CGC1 <sup>1/</sup>	5	216,53	0,00	2437,05	0,00
		CGC2 <sup>1/</sup>	9	346,79	0,00	2747,99	0,00
		CEC	29	62,61	0,00	312,49	0,01
		Erro	1653	22,88		178,13	
	São Mateus	CGC1	5	354,66	0,00	2672,36	0,00
		CGC2	9	297,55	0,00	946,91	0,00
		CEC	29	86,40	0,00	363,50	0,01
		Erro	1145	39,35		208,02	
	Caravelas	CGC1	5	347,45	0,00	5124,98	0,00
		CGC2	9	615,41	0,00	1762,95	0,00
		CEC	29	93,78	0,00	359,12	0,04
		Erro	1675	37,13		236,58	
	Conjunta	CGC1	5	802,07	0,00	9488,51	0,00
		CGC2	9	1177,57	0,00	4417,85	0,00
		CEC	29	187,46	0,00	680,83	0,00
		Erro	4473	32,43		207,67	
<i>E. globulus</i> x clones elite	Aracruz	CGC1 <sup>1/</sup>	5	301,64	0,00	2425,97	0,00
		CGC2 <sup>1/</sup>	9	375,23	0,00	663,60	0,06
		CEC	32	115,01	0,00	526,28	0,06
		Erro	822	52,78		368,67	
	São Mateus	CGC1	5	477,96	0,00	2171,02	0,00
		CGC2	9	419,64	0,00	1121,62	0,00
		CEC	31	241,42	0,00	913,17	0,00
		Erro	758	54,18		279,24	
	Caravelas	CGC1	5	531,08	0,00	5338,87	0,00
		CGC2	9	287,03	0,00	734,74	0,09
		CEC	30	96,06	0,03	957,90	0,00
		Erro	665	61,13		434,05	
	Conjunta	CGC1	5	1330,48	0,00	10771,2	0,00
		CGC2	9	962,43	0,00	1417,54	0,00
		CEC	30	238,05	0,00	681,07	0,00
		Erro	2227	55,41		356,38	

<sup>1/</sup> CGC1 – clones elite; CGC2 – clones de *E. camaldulensis* ou clones de *E. globulus*.

TABELA 48 Estimativa dos efeitos da capacidade geral de combinação do grupo 1 (CGC<sub>i</sub>), capacidade geral de combinação do grupo 2 (CGC<sub>j</sub>) e capacidade específica de combinação (CEC<sub>ij</sub>), para a circunferência à altura do peito (CAP), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em Aracruz, ES.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CGC <sub>i</sub>
1	0,17 <sup>II</sup>	0,13		0,36	-0,09	-0,39			0,68	-0,93	-1,63 *
2	-0,40	-0,64		-2,35 *	0,53	0,44	0,58	0,46	0,54	-0,38	0,30
3	-1,40 *	-0,78		0,37	-0,37	-0,16	-0,29	1,08	1,68 *	-0,12	0,02
4	0,28	0,23		0,77	1,53 *		1,36	-3,18 *	-0,47	-0,43	-0,52 *
5				-0,13	-1,75 *		-1,20	1,55 *	-0,22	1,70 *	0,55
6	1,26 *	1,06	!				-0,08		-2,70 *		1,78 *
CGC <sub>j</sub>	0,58	0,79 *	2,07 *	-2,36 *	0,74 *	1,04 *	1,49 *	-1,43 *	0,63 *	-2,23 *	

<sup>II</sup> CEC- parte interna da tabela; \* - significativo a 5% de probabilidade, pelo teste T; ! - CEC<sub>ij</sub> não estimada.

66

TABELA 49 Estimativa dos efeitos da capacidade geral de combinação do grupo 1 (CGC<sub>i</sub>), capacidade geral de combinação do grupo 2 (CGC<sub>j</sub>) e capacidade específica de combinação (CEC<sub>ij</sub>), para a circunferência à altura do peito (CAP), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em São Mateus, ES.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CGC <sub>i</sub>
1	0,05 <sup>II</sup>	-0,88		1,37	0,97	-1,84			-0,59	0,49	-1,58 *
2	0,17	-1,07		-1,45	-1,36	1,19	0,51	-0,11	2,11 *	-0,89	1,53 *
3	-2,51 *	-2,05 *		0,02	0,58	0,23	-0,60	0,03	2,02	2,68 *	-0,23
4	-0,46	2,36 *		0,24	0,78		1,67	-2,46 *	-2,13	-0,52	-1,73 *
5				-0,89	-0,83		-0,75	2,14 *	1,92 *	-2,03 *	0,95
6	2,75 *	1,17	!				-0,23		-4,05 *		1,36 *
CGC <sub>j</sub>	0,26	1,07 *	1,14	-2,25 *	0,77	0,67	2,56 *	-0,64	-0,42	-2,65 *	

<sup>II</sup> CEC- parte interna da tabela; \* - significativo a 5% de probabilidade, pelo teste T; ! - CEC<sub>ij</sub> não estimada.

TABELA 50 Estimativa dos efeitos da capacidade geral de combinação do grupo 1 (CGC<sub>i</sub>), capacidade geral de combinação do grupo 2 (CGC<sub>j</sub>) e capacidade específica de combinação (CEC<sub>ij</sub>), para a circunferência à altura do peito (CAP), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em Caravelas, BA.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CGC <sub>i</sub>
1	-0,33 <sup>II</sup>	-1,10		2,44 *	-0,78	0,48			0,75	-1,43	-1,68 *
2	-1,81 *	-0,91		-2,33 *	0,68	1,07	1,22	0,77	1,47	-1,49	0,10
3	0,19	-0,52		-0,25	0,75	-1,36	-0,04	-1,00	1,73 *	0,50	0,96 *
4	-0,50	1,69 *		0,16	0,65		0,72	-2,29 *	-2,62 *	2,17 *	-1,30 *
5				-0,76	-1,33		-0,30	2,15 *	0,26	-0,11	0,97 *
6	2,32 *	0,78	!				-1,39		-2,17 *		1,02*
CGC <sub>i</sub>	0,59	2,05 *	1,44	-2,69 *	0,98 *	1,15 *	2,42 *	-2,63 *	-0,08	-2,42 *	

<sup>II</sup> CEC- parte interna da tabela; \* - significativo a 5% de probabilidade, pelo teste T; ! - CEC<sub>ij</sub> não estimada.

100

TABELA 51 Estimativa dos efeitos da capacidade geral de combinação do grupo 1 (CGC<sub>i</sub>), capacidade geral de combinação do grupo 2 (CGC<sub>j</sub>) e capacidade específica de combinação (CEC<sub>ij</sub>), para a circunferência à altura do peito (CAP), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, na análise conjunta.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CGC <sub>i</sub>
1	-0,04 <sup>II</sup>	-0,62		1,38 *	0,00	-0,61			0,27	-0,62	-1,62 *
2	-0,67	-0,86		-2,04 *	-0,06	0,89 *	0,77	0,36	1,38 *	-0,90	0,64 *
3	-1,24 *	-1,11 *		0,04	0,31	-0,46	-0,32	0,02	1,81 *	1,03 *	0,26
4	-0,22	1,44 *		0,40	0,97 *		1,25 *	-2,65 *	-1,73 *	0,43	-1,19 *
5				-0,58	-1,29 *		-0,73	1,95 *	0,67	-0,11	0,80 *
6	2,10 *	0,99 *	!				-0,58		-2,99 *		1,40 *
CGC <sub>i</sub>	0,47	1,29 *	1,54 *	-2,43 *	0,84 *	0,97 *	2,16 *	-1,56 *	0,04	-2,45 *	

<sup>II</sup> CEC- parte interna da tabela; \* - significativo a 5% de probabilidade, pelo teste T; ! - CEC<sub>ij</sub> não estimada.

TABELA 52 Estimativa dos efeitos da capacidade geral de combinação do grupo 1 (CGC<sub>i</sub>), capacidade geral de combinação do grupo 2 (CGC<sub>j</sub>) e capacidade específica de combinação (CEC<sub>ij</sub>), para a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em Aracruz, ES.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CGC <sub>i</sub>
1	-2,23 <sup>II</sup>	-2,29		0,50	0,46	-2,63			1,30	3,80 *	4,62 *
2	2,95	-0,69		0,95	-2,28	-2,70	-1,54	2,38	0,29	1,85	-1,53 *
3	-2,00	-1,18		-1,98	0,21	4,90 *	3,40	-1,26	-0,11	-2,58	0,93
4	1,11	3,24		-3,39	-2,22		-0,63	2,81	-2,60	0,95	1,33
5				3,87 *	4,26 *		-3,14	-3,94 *	2,80	-3,50 *	-5,70 *
6	0,17	0,26	!				2,10		-2,68		-0,13
CGC <sub>j</sub>	-0,81	-2,98 *	-0,57	-2,00 *	4,61 *	4,43 *	5,12 *	0,53	-7,19 *	1,50	

<sup>II</sup> CEC- parte interna da tabela; \* - significativo a 5% de probabilidade, pelo teste T; ! - CEC<sub>ij</sub> não estimada.

101

TABELA 53 Estimativa dos efeitos da capacidade geral de combinação do grupo 1 (CGC<sub>i</sub>), capacidade geral de combinação do grupo 2 (CGC<sub>j</sub>) e capacidade específica de combinação (CEC<sub>ij</sub>), para a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em São Mateus, ES.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CGC <sub>i</sub>
1	-5,16 *	2,16		0,09	-2,10	-1,82			1,15	6,17 *	4,26 *
2	0,85 <sup>II</sup>	-2,78		-1,76	3,65	-1,65	-1,68	2,50	-1,72	1,50	-2,32 *
3	-0,31	4,29		4,13	-4,57	2,78	-2,99	-1,73	3,18	-3,57	2,15 *
4	3,67	0,81		-5,82 *	-0,71		4,55	5,83 *	-1,59	-4,61	2,96 *
5				4,06	3,51		-0,37	-5,58 *	-1,37	-0,14	-5,85 *
6	0,91	-3,53	!				2,83		0,23		-3,19 *
CGC <sub>j</sub>	3,02 *	-1,06	-2,51	-2,08	3,27 *	1,44	2,89 *	-0,73	-5,10 *	-0,54	

<sup>II</sup> CEC- parte interna da tabela; \* - significativo a 5% de probabilidade, pelo teste T; ! - CEC<sub>ij</sub> não estimada.

TABELA 54 Estimativa dos efeitos da capacidade geral de combinação do grupo 1 (CGC<sub>i</sub>), capacidade geral de combinação do grupo 2 (CGC<sub>j</sub>) e capacidade específica de combinação (CEC<sub>ij</sub>), para a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em Caravelas, BA.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CGC <sub>i</sub>
1	-0,65 <sup>∟</sup>	-1,12		-0,63	-3,98	-2,61			2,88	4,97 *	6,48 *
2	5,98 *	0,03		1,91	-2,63	-2,63	-2,90	-0,73	2,35	-0,64	-2,04 *
3	-0,53	0,85		-2,15	-1,14	4,17 *	1,16	-0,29	-1,22	-1,35	-0,13
4	-3,03	-1,69		-1,16	0,45		1,53	3,49	0,53	1,07	4,37 *
5				2,41	7,31 *		-1,21	-1,98	-2,13	-4,35 *	-5,63 *
6	-1,73	1,69	!				2,42		-2,52		-4,25 *
CGC <sub>j</sub>	-1,58	-2,01	-1,01	-0,62	5,73 *	-0,01	0,52	3,97 *	-5,54 *	1,78	

<sup>∟</sup> CEC- parte interna da tabela; \* - significativo a 5% de probabilidade, pelo teste T; ! - CEC<sub>ij</sub> não estimada.

TABELA 55 Estimativa dos efeitos da capacidade geral de combinação do grupo 1 (CGC<sub>i</sub>), capacidade geral de combinação do grupo 2 (CGC<sub>j</sub>) e capacidade específica de combinação (CEC<sub>ij</sub>), para a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. camaldulensis* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, na análise conjunta.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CGC <sub>i</sub>
1	-2,70 *	-0,46		-0,08	-1,87	-2,38			1,75	4,97 *	5,15 *
2	3,32 *	-1,11		0,38	-0,34	-2,28 *	-2,05	1,41	0,35	0,97	-2,01 *
3	-0,98 <sup>∟</sup>	1,26		-0,08	-1,84	3,91 *	0,42	-1,16	0,57	-2,52 *	1,02 *
4	0,59	0,77		-3,48 *	-0,79		1,76	4,02 *	-1,22	-0,85	2,88 *
5				3,44 *	5,07 *		-1,62	-3,84 *	-0,22	-2,64 *	-5,74 *
6	-0,19	-0,52	!				2,41 *		-1,64		-2,55 *
CGC <sub>j</sub>	0,21	-1,99 *	-1,33	-1,52 *	4,52 *	1,96 *	2,92 *	1,29	-5,93 *	0,91	

<sup>∟</sup> CEC- parte interna da tabela; \* - significativo a 5% de probabilidade, pelo teste T; ! - CEC<sub>ij</sub> não estimada.

TABELA 56 Estimativa dos efeitos da capacidade geral de combinação do grupo 1 (CGC<sub>i</sub>), capacidade geral de combinação do grupo 2 (CGC<sub>j</sub>) e capacidade específica de combinação (CEC<sub>ij</sub>), para a circunferência à altura do peito (CAP), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. globulus* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em Aracruz, ES.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CGC <sub>i</sub>
1					0,59	-1,27			-1,04	1,29	0,56
2	!	1,74 <sup>1/</sup>	0,53	-0,15	-2,30	1,44	1,57	1,12	-1,28	-4,60 *	-2,01 *
3		-5,85 *	0,87	-1,53	0,50	1,61	-3,07 *	-1,10	-2,19	3,14	-0,59
4		2,48	-0,59	-2,12	-2,77	1,68	5,87 *	0,33	0,15	-2,31	-1,83 *
5			-2,84	4,00		-3,11		0,11	1,08	1,43	3,87 *
6		-2,88	2,14	1,61	3,75	-1,14	-2,45	-5,98 *	9,85 *	-7,74 *	0,39
CGC <sub>i</sub>	-2,72	-2,83 *	-2,97 *	-2,92 *	-3,37 *	4,99 *	-0,76	-3,20 *	-0,56	1,43	

<sup>1/</sup> CEC- parte interna da tabela; \* - significativo a 5% de probabilidade, pelo teste T; ! - CEC<sub>ij</sub> não estimada.

TABELA 57 Estimativa dos efeitos da capacidade geral de combinação do grupo 1 (CGC<sub>i</sub>), capacidade geral de combinação do grupo 2 (CGC<sub>j</sub>) e capacidade específica de combinação (CEC<sub>ij</sub>), para a circunferência à altura do peito (CAP), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. globulus* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em São Mateus, ES.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CGC <sub>i</sub>
1					-7,19 *	-0,39			-0,81	3,65 *	-0,91
2	!	1,16 <sup>1/</sup>	2,80	0,39	-7,67 *	-2,03	4,22 *	1,23	5,14 *	-6,83 *	-2,81 *
3		-14,98*	2,87	-0,45		0,10	-1,76	-2,05	-8,43 *	2,56	-0,72
4		-5,80 *	6,28 *	1,12	8,05 *	2,42	-1,75	1,62	-2,87	-6,98 *	-2,48 *
5			-1,59	0,96		-2,30		-0,07	0,54	1,56	5,64 *
6		4,74 *	-6,67 *	-14,25 *	8,30 *	1,79	-3,46	-5,64	1,11	-5,84	0,90
CGC <sub>i</sub>	3,38	2,83	-3,54 *	-6,01 *	1,47	3,21 *	-2,13	-4,48 *	-1,83	1,45	

<sup>1/</sup> CEC- parte interna da tabela; \* - significativo a 5% de probabilidade, pelo teste T; ! - CEC<sub>ij</sub> não estimada.

TABELA 58 Estimativa dos efeitos da capacidade geral de combinação do grupo 1 (CGC<sub>i</sub>), capacidade geral de combinação do grupo 2 (CGC<sub>j</sub>) e capacidade específica de combinação (CEC<sub>ij</sub>), para a circunferência à altura do peito (CAP), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. globulus* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em Caravelas, BA.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CGC <sub>i</sub>
1					-1,40	2,13			-1,23	0,48	-1,03
2	!	1,99 <sup>U</sup>	-3,65	0,91	-2,31	-0,18	2,00	1,65	-0,53	-5,01	-2,79 *
3		3,25	-1,43	0,09		1,14	-2,89	-2,05	-0,17	2,37	0,15
4		-6,82 *	0,49	-0,34	3,07	-0,22	1,02	-3,99	1,97	-2,34	-3,78 *
5			-0,28	-0,15		-1,90		2,86	-0,69	-0,00	4,43 *
6			5,32 *	-1,31	-13,1 *	-2,28	5,83	-6,18 *	5,06	-5,78	3,59 *
CGC <sub>j</sub>	-3,42	-3,69	1,39	-3,54 *	-1,15	4,40 *	0,14	-2,00	-1,09	-0,42	

<sup>U</sup> CEC- parte interna da tabela; \* - significativo a 5% de probabilidade, pelo teste T; ! - CEC<sub>ij</sub> não estimada.

TABELA 59 Estimativa dos efeitos da capacidade geral de combinação do grupo 1 (CGC<sub>i</sub>), capacidade geral de combinação do grupo 2 (CGC<sub>j</sub>) e capacidade específica de combinação (CEC<sub>ij</sub>), para a circunferência à altura do peito (CAP), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. globulus* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, na análise conjunta.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CGC <sub>i</sub>
1					-1,95	0,18			-1,12	1,75	-0,38
2	!	3,15 *	-0,52	0,17	-3,44 *	-0,33	2,25 *	1,16	0,89	-5,67 *	-2,34 *
3		-4,16 *	0,52	-0,62		1,08	-2,73 *	-1,70	-3,64 *	2,73 *	-0,38
4		-1,84 <sup>U</sup>	1,69	-0,54	3,52 *	1,32	1,43	-0,73	-0,40	-3,92 *	-2,58 *
5			-1,83	1,61		-2,34 *		0,98	0,27	1,04	4,66 *
6			0,94	-3,65 *	1,40	0,43	0,73	-4,98 *	6,08 *	-5,60 *	0,73
CGC <sub>j</sub>	-0,95	-2,73 *	-1,28 *	-3,96 *	-1,65 *	4,28 *	-0,57	-3,06 *	-0,95	0,97	

<sup>U</sup> CEC- parte interna da tabela; \* - significativo a 5% de probabilidade, pelo teste T; ! - CEC<sub>ij</sub> não estimada.

TABELA 60 Estimativa dos efeitos da capacidade geral de combinação do grupo 1 (CGC<sub>i</sub>), capacidade geral de combinação do grupo 2 (CGC<sub>j</sub>) e capacidade específica de combinação (CEC<sub>ij</sub>), para a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. globulus* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em Aracruz, ES.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CGC <sub>i</sub>
1					-1,04	3,96			-2,89	0,46	-0,39
2	!	1,28 <sup>1/</sup>	6,66	4,32	-12,11	-7,39	-0,79	0,89	5,55	0,72	5,06 *
3		8,87	0,78	0,74	3,03	5,11	1,25	-1,81	5,50	-10,22 *	-1,31
4		-12,02 *	4,22	1,52	11,23 *	-7,86	-3,86	1,91	-7,05	6,85	7,99 *
5			-2,39	-5,59		3,37		-1,06	-0,27	0,53	-9,24 *
6		14,38 *	-10,34 *	-6,52	-6,89	5,83	5,06	-1,08	-7,02	18,60 *	-3,80
CGC <sub>j</sub>	-10,20	-7,73 *	-0,53	1,28	-1,34	1,65	-0,15	-5,63	-0,04	3,62	

<sup>1/</sup> CEC- parte interna da tabela; \* - significativo a 5% de probabilidade, pelo teste T; ! - CEC<sub>ij</sub> não estimada.

TABELA 61 Estimativa dos efeitos da capacidade geral de combinação do grupo 1 (CGC<sub>i</sub>), capacidade geral de combinação do grupo 2 (CGC<sub>j</sub>) e capacidade específica de combinação (CEC<sub>ij</sub>), para a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. globulus* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em São Mateus, ES.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CGC <sub>i</sub>
1					8,94	4,65			0,78	-7,14	1,60
2	!	11,04 <sup>1/</sup>	-8,15	-8,23	9,00	3,31	-5,86	-4,03	-2,70	8,86	6,04 *
3		33,93 *	-3,11	0,99		-0,31	1,64	16,15 *	7,82	-6,01	-0,80
4		-0,21	-18,85*	-2,07	-11,52 *	-1,28	8,24	-2,34	0,81	11,35 *	9,72 *
5			1,37	0,08		2,22		-0,65	-2,01	-0,04	-11,6 1*
6		-5,96	16,16 *	37,82 *	-2,61	-6,13	-1,24	-2,06	7,22	18,23 *	-4,99
CGC <sub>j</sub>	-4,62	-9,93 *	-0,71	7,28 *	-9,67 *	0,73	-0,70	-0,09	1,03	2,95	

<sup>1/</sup> CEC- parte interna da tabela; \* - significativo a 5% de probabilidade, pelo teste T; ! - CEC<sub>ij</sub> não estimada.

TABELA 62 Estimativa dos efeitos da capacidade geral de combinação do grupo 1 (CGC<sub>i</sub>), capacidade geral de combinação do grupo 2 (CGC<sub>j</sub>) e capacidade específica de combinação (CEC<sub>ij</sub>), para a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. globulus* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, em Caravelas, BA.

Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CGC <sub>i</sub>
1					-1,11	-3,31			6,89	-4,73	4,15
2	!	-5,24 <sup>1/2</sup>	12,25	-10,55	13,24	4,63	-1,77	-5,66	0,86	0,16	6,55 *
3		-15,67	-4,75	17,51 *		-3,78	4,37	9,76	-1,82	-2,38	-1,70
4		22,67 *	0,67	-2,24	-9,13	3,93	-4,68	11,29	-8,21	7,62	14,75 *
5			1,98	0,99		-0,57		-4,59	1,09	1,73	-13,20 *
6			-4,83	-1,02	50,52 *	7,34	-8,44	7,13	-14,95 *	11,28	-12,01 *
CGC <sub>j</sub>	11,01	-1,02	-4,33	-0,83	-6,91	0,41	-3,06	0,61	-0,12	5,36	

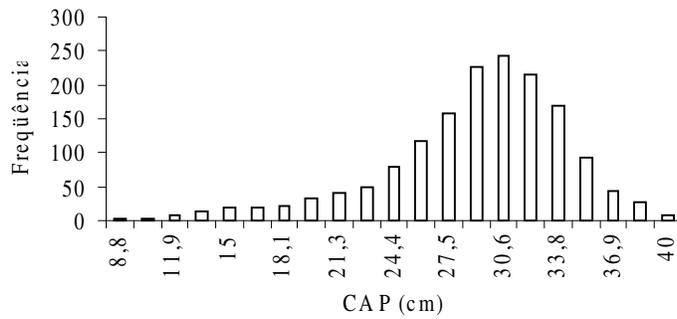
<sup>1/2</sup> CEC- parte interna da tabela; \* - significativo a 5% de probabilidade, pelo teste T; ! - CEC<sub>ij</sub> não estimada.

TABELA 63 Estimativa dos efeitos da capacidade geral de combinação do grupo 1 (CGC<sub>i</sub>), capacidade geral de combinação do grupo 2 (CGC<sub>j</sub>) e capacidade específica de combinação (CEC<sub>ij</sub>), para a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de cruzamentos dialélicos entre clones de *E. globulus* (pais) e clones elite (mães), aos dois anos de idade, na análise conjunta.

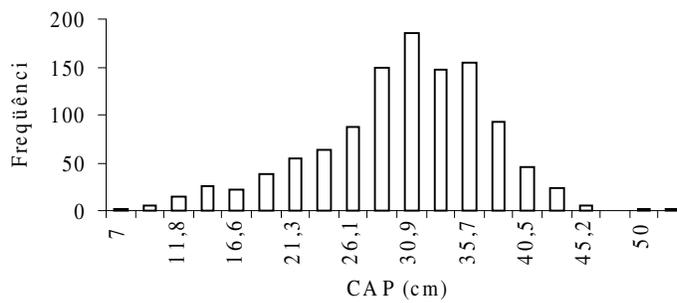
Mãe\Pai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CGC <sub>i</sub>
1					1,09	1,72			1,97	-3,32	1,20
2	!	-1,49 <sup>1/2</sup>	5,06	-4,92	2,08	0,06	-2,10	-2,35	1,49	3,67	5,39 *
3		4,87	-1,37	5,89 *		-0,25	2,64	8,13 *	3,65	-6,31 *	-1,29
4		-0,48	-3,41	-1,46	-4,80	-2,22	0,30	3,84	-4,89	8,57 *	10,69 *
5			1,47	-1,92		1,23		-1,80	-0,46	0,79	-11,50 *
6			-1,45	6,67	9,27 *	-0,91	-4,05	-1,25	-7,92 *	13,37 *	-4,19 *
CGC <sub>j</sub>	-1,13	-2,47	-3,25 *	2,72	-4,72 *	1,07	-1,97	-2,31	0,05	3,64 *	

<sup>1/2</sup> CEC- parte interna da tabela; \* - significativo a 5% de probabilidade, pelo teste T; ! - CEC<sub>ij</sub> não estimada.

a)



b)



c)

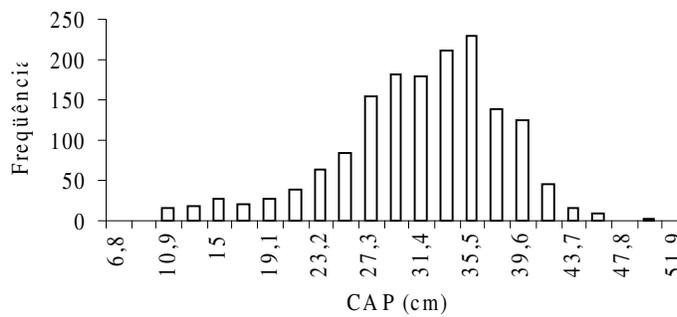
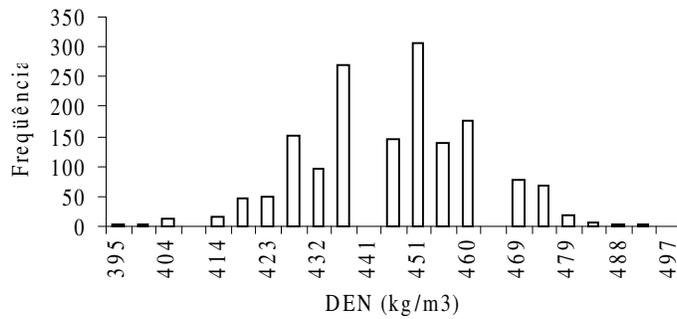
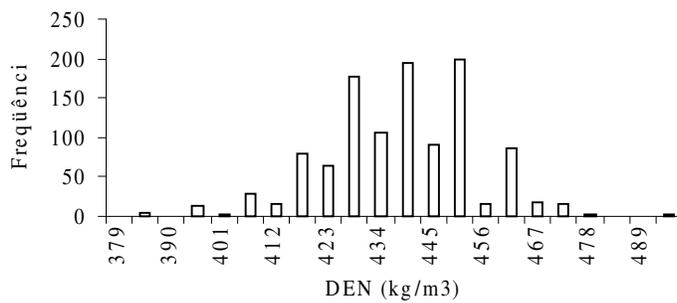


FIGURA 01 Distribuição de freqüência das plantas nos cruzamentos de clones elite x *E. camaldulensis*, para a circunferência à altura do peito (CAP), em Aracruz, ES (a), São Mateus, ES (b) e Caravelas, BA (c).

a)



b)



c)

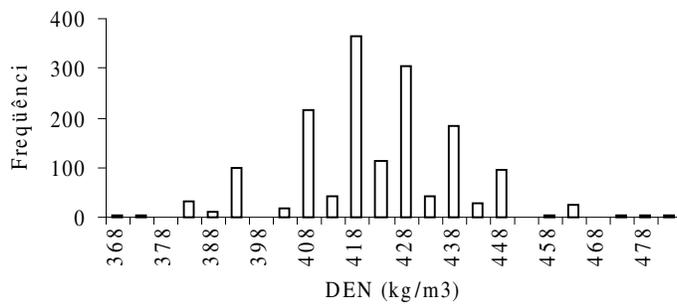
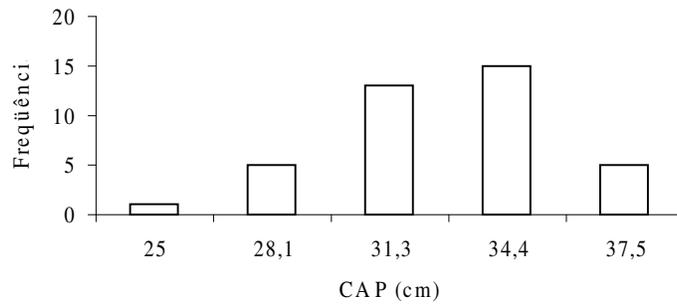
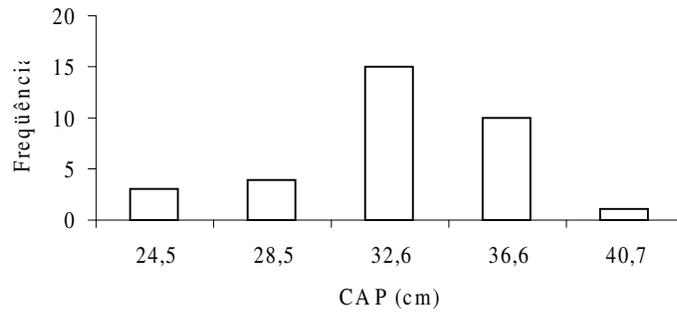


FIGURA 02 Distribuição de frequência das plantas nos cruzamentos de clones elite x *E. camaldulensis*, para a densidade básica da madeira (DEN), em Aracruz, ES (a), São Mateus, ES (b) e Caravelas, BA (c).

a)



b)



c)

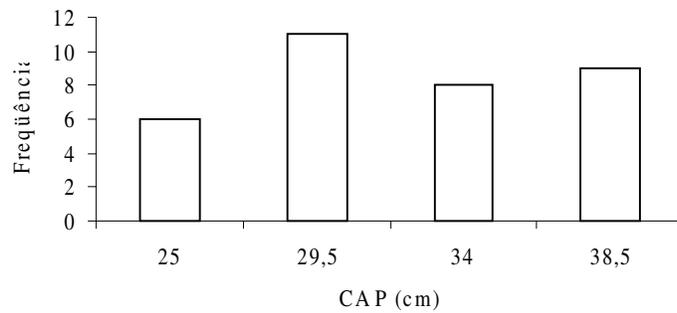
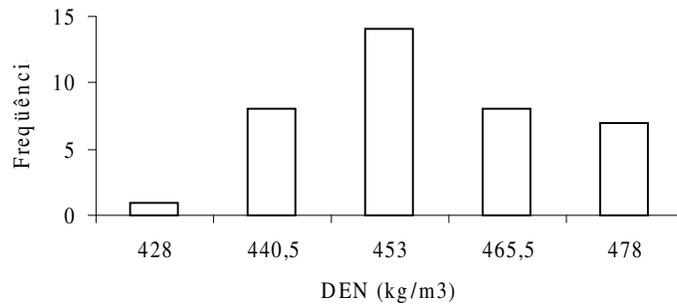
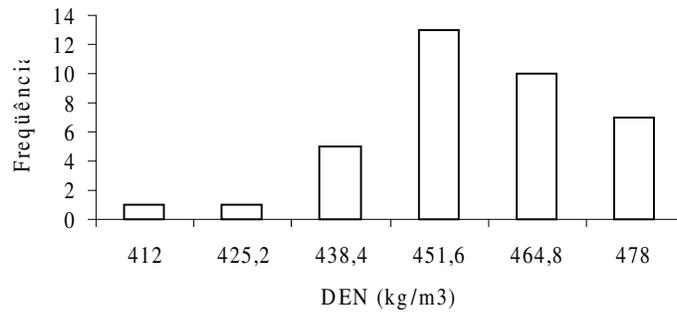


FIGURA 03 Distribuição de frequência das plantas dentro das combinações híbridas 6 x 1 (a), 6 x 3 (b) e 6 x 7 (c) entre clones elite x *E. camaldulensis*, para a circunferência à altura do peito (CAP), em Aracruz, ES.

a)



b)



c)

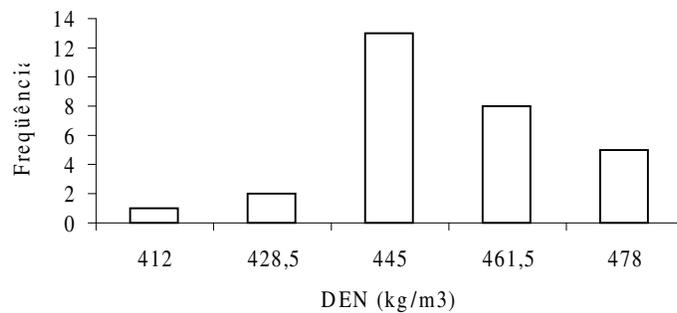


FIGURA 04 Distribuição de frequência das plantas dentro das combinações híbridas 1 x 10 (a), 3 x 6 (b) e 4 x 7 (c) entre clones elite x *E. camaldulensis*, para a densidade básica da madeira (DEN), em Aracruz, ES.

## 4 CONCLUSÕES

Os cruzamentos de clones elite da empresa com clones introduzidos de *E. camaldulensis* e *E. globulus* mostraram-se promissores, tanto para a obtenção de ganhos em volume como na qualidade da madeira.

A capacidade geral de combinação explicou a maior parte da variação entre os híbridos.

Dos clones elite da empresa, o testador mais apropriado variou com a espécie utilizada e para a característica avaliada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, T. F. de. Production and use of *Eucalyptus* hybrids for industrial purposes. In: HYBRID BREEDING AND GENETICS OF FOREST TREES, 2000, Noosa. **Proceedings...** Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 63-74.

BARBOUR, E. L.; RALPH, A.; SPENCER, N. Early growth assessment of a range of *Eucalyptus* hybrids in the South-West Western Australia. In: HYBRID BREEDING AND GENETICS OF FOREST TREES, 2000, Noosa. **Proceedings...** Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 81-86.

BOUVET, J. M.; VIGNERON, P. Variance structure in *Eucalyptus* hybrid populations. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 45, n. 2/3, p. 171-177, 1996.

BUENO FILHO, J. S. S.; VENCOVSKY, R. Efficiency of combined selection over sequential selection in forest tree progeny trials. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 49, n. 4/5, p. 169-173, 2000.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. rev. Viçosa, MG: UFV, 2001. 390 p.

DO CAVACO da madeira à polpa de celulose. **Aracruz em revista**, Aracruz, v. 11, n. 128, p. 8-9, nov. 2003.

ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, I.; HARWOOD, C.; VAN WYK, G. **Eucalypt domestication and breeding**. New York: Oxford University Press, 1993. 288 p.

GERALDI, I. O.; MIRANDA FILHO, J. B. Adapted models for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel crosses. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 11, n. 2, p. 419-430, jun. 1988.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal Biological Science**, Melbourne, v. 9, p. 463-493, 1956.

LIMA, J. T.; BREESE, M. C.; CAHALAN, C. M. Genotype-environment interaction in wood basic density of *Eucalyptus* clones. **Wood Science and Technology**, New York, v. 34, n. 3, p. 197-206, Oct. 2000.

MARCÓ, M.; WHITE, T. L. Genetic parameter estimates and genetic gains for *Eucalyptus grandis* and *E. dunnii* in Argentina. **Forest Genetics**, Suwon, v. 9, n. 3, p. 205-215, 2002.

OSORIO, L. F.; WHITE, T. L.; HUBER, D. A. Age trends of heritabilities and genotype-by-environment interactions for growth traits and wood density from clonal trials of *Eucalyptus grandis* HILL ex MAIDEN. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 50, n. 3/4, p. 108-116, 2001.

NUNES, G. H. de S. **Interação genótipos x ambientes em eucalipto: implicações sobre a seleção e formas de atenuar seu efeito.** 2000. 155 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil.** Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 38).

RASMUSSEN, D. C.; PHILLIPS, R. L. Plant breeding progress and genetic diversity from de novo variation and elevated epistasis. **Crop Science**, Madison, v. 37, n. 2, p. 303-308, Mar./Apr. 1997.

RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística: no melhoramento de plantas perenes.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975 p.

REZENDE, G. D. S. P.; RESENDE, M. D. V. de. Dominance effects in *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* and hybrids. In: HYBRID BREEDING AND GENETICS OF FOREST TREES, 2000, Noosa. **Proceedings...** Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 93-100.

SAS INSTITUTE. SAS: user's guide statistical version 8.0. ed. Cary, NC, 2000.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. Cluster analyses method for grouping means in the analyses of variance. **Biometrics**, Raleigh, v. 30, n. 3, p. 507-512, Sept. 1974.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; DICKEY, D. A. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach.** 3. ed. New York: Mc Graw-Hill Book Company, 1997. 666 p.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G. P. **Melhoramento e produção do milho**. 2. ed. rev. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 135-214.

VERRYN, S. D. *Eucalyptus* hybrid breeding in South Africa. In: HYBRID BREEDING AND GENETICS OF FOREST TREES, 2000, Noosa. **Proceedings...** Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 191-199.

WEI, X.; BORRALHO, M. G. Genetic control of growth traits of *Eucalyptus urophylla* S. T. BLAKE in South East China. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 47, n. 2-3, p. 158-165, 1998.

## CAPÍTULO 4

### **ESTIMAÇÃO DA HETEROSE PARA CARACTERES DE CRESCIMENTO E PARA A QUALIDADE DA MADEIRA EM CRUZAMENTOS ENTRE *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***

## RESUMO

BISON, Odair. **Estimação da heterose para caracteres de crescimento e para a qualidade da madeira em cruzamentos entre *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***. 2004. 169 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.\*

A indústria de celulose no Brasil utiliza, principalmente, híbridos entre *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla*. Como tanto o volume quanto a densidade da madeira exercem grande influência na produtividade de celulose, uma alternativa para aumentar a eficiência dos programas de melhoramento seria realizar a seleção para estas características concomitantemente. Com o objetivo de verificar se a seleção recorrente recíproca é vantajosa em relação à seleção recorrente intrapopulacional para o melhoramento das duas características, foi realizado o presente trabalho. Para isso, foram avaliadas 62 famílias de meios-irmãos de *E. grandis*, 68 famílias de meios-irmãos de *E. urophylla*, 50 famílias de irmãos germanos interpopulacionais, além de quatro testemunhas. Os experimentos foram instalados no período de outubro a novembro de 2001, em três locais, Aracruz, ES, São Mateus, ES e Caravelas, BA, em látice 14 x 14, com 40 repetições e uma planta por parcela. Dois anos após o plantio, foram avaliadas a circunferência à altura do peito e a densidade básica da madeira. Constatou-se que a circunferência à altura do peito apresentou alta heterose, indicando divergência genética entre as famílias oriundas de *E. grandis* e *E. urophylla*, e a presença de dominância no controle deste caráter. Nesta condição, a seleção recorrente recíproca é uma estratégia que deve ser utilizada nos programas de melhoramento visando maior volume de madeira. No caso da densidade básica da madeira, a heterose foi praticamente nula. Como ocorreu divergência entre os genitores para este caráter, infere-se que a interação alélica de dominância tem menor importância na sua expressão. A seleção recorrente intrapopulacional é uma alternativa mais promissora se a seleção for direcionada apenas para este caráter. A correlação negativa observada entre a circunferência à altura do peito e a densidade básica da madeira poderá dificultar a seleção simultânea para ambos os caracteres, dependendo da faixa de densidade adotada pela indústria de celulose.

---

\* Comitê de orientação: Magno Antonio Patto Ramalho – UFLA (Orientador); Gabriel Dehon Sampaio Peçanha Rezende – Aracruz Celulose S. A.

## ABSTRACT

BISON, Odair. **Estimation of heterosis for growth and wood quality in crossing between *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***. 2004. 169 p. Thesis (Doctorate in Genetics and Plant Breeding) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.\*

The cellulose industry in Brazil uses, mainly, hybrids between *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*. Not only the volume but also the wood density has great influence in the cellulose productivity, therefore a selection for both characteristics should be done as an alternative to increase the improvement program efficiency. The present work has been carried out with the objective of verifying if the reciprocal recurrent selection has advantage over the recurrent selection for the improvement of these characteristics. To do so, 62 half-sib families of *E. grandis*, 68 half-sib families of *E. urophylla*, 50 full-sib families of *E. grandis* x *E. urophylla*, plus four checks were evaluated. The experiment was carried out from October to November 2001, in three sites, Aracruz and São Mateus, in the Espírito Santo State, and Caravelas, Bahia State, Brazil, in a 14 x 14 lattice design with single plant plots and 40 replicates. Two years later the circumference at breast height and the wood basic density were measured. The circumference at breast height showed high heterosis, indicating genetic divergence between the *E. grandis* and *E. urophylla* families, and also that dominance control this character. Thus, the reciprocal recurrent selection should be used as a strategy for breeding programs aiming a high wood volume. The heterosis was close to zero for the wood basic density. Since there was divergence between the parents, it can be inferred that dominance has no importance for this character. Consequently, the recurrent selection is the most appropriate if selection is made only for the wood basic density. The negative correlation between the circumference at breast height and the wood basic density could impair the simultaneous selection for both characters, depending on the wood basic density range used by the industry.

---

\* Guidance Committee: Magno Antonio Patto Ramalho – UFLA (Advisor); Gabriel Dehon Sampaio Peçanha Rezende – Aracruz Celulose S. A.

## 1 INTRODUÇÃO

O progresso genético obtido na cultura do eucalipto para o volume da madeira tem sido expressivo. Contudo, é conhecido que quando amostras sucessivas são retiradas de uma mesma população, a probabilidade de obter indivíduos superiores aos já obtidos é praticamente nula (Gonçalves et al., 2001). Assim, para continuar tendo ganhos genéticos, é necessário o melhoramento prévio das populações existentes, para aumentar a frequência dos alelos favoráveis.

No Brasil, a obtenção de clones superiores para a produção de celulose tem se dado principalmente por meio de hibridação interespecífica, natural ou via polinização controlada, devido ao bom desempenho de algumas espécies em combinações híbridas para o volume de madeira. Neste contexto, merece destaque a combinação *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, de forma que a seleção recorrente recíproca envolvendo estas espécies certamente propiciará, a curto e médio prazo, a identificação de indivíduos superiores aos existentes.

Como o objetivo dos programas de melhoramento não é só a melhorar o volume, mas também a qualidade da madeira, uma dúvida que surge é se o emprego da seleção recorrente recíproca será eficiente para melhorar estas duas características ao mesmo tempo, uma vez que não foi detectada heterose para a densidade da madeira (Assis, 2000). Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar famílias intra e interpopulacionais, a fim de estimar a heterose para caracteres de crescimento e qualidade da madeira e obter informações que possam auxiliar os melhoristas na tomada de decisão a respeito da condução de programas de seleção recorrente intrapopulacional ou recíproca para estas características.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Experimentos foram avaliados em três áreas da empresa Aracruz Celulose S. A., situadas nos municípios de Aracruz, ES, São Mateus, ES e Caravelas, BA. As coordenadas geográficas dos locais de plantio são: Aracruz: 19° 50' 19" de latitude S e 40° 12' 43" de longitude W; São Mateus: 18° 36' 13" de latitude S e 40° 01' 32" de longitude W e Caravelas: 17° 47' 17" de latitude S e 39° 33' 57" de longitude W.

Para a obtenção das populações, a empresa selecionou 200 árvores de *E. grandis* e, por meio de propagação clonal, obteve um pomar de produção de sementes. O mesmo foi feito com 200 árvores de *E. urophylla*. Nestes dois pomares foram obtidas 180 famílias, sendo 62 de meios-irmãos de *E. grandis*, 68 de meios-irmãos de *E. urophylla* e 50 de irmãos germanos entre *E. grandis* x *E. urophylla*. Para 15 famílias de irmãos germanos, as respectivas famílias de meios-irmãos de cada população se encontravam disponíveis, enquanto que, para 22 famílias de irmãos germanos, somente um dos pais estava disponível. No ensaio, também foram adicionados quatro clones comerciais como testemunhas.

Os experimentos foram instalados de outubro a novembro de 2001, utilizando-se látice 14 x 14 com 40 repetições e uma planta por parcela. As 12 famílias de irmãos germanos que possuíam maior quantidade de mudas foram repetidas em cada experimento. O espaçamento entre plantas foi de 3 x 3m e o manejo dos experimentos foi o mesmo adotado para o plantio comercial.

Dois anos após a implantação dos experimentos foram tomados os seguintes dados:

- circunferência à altura do peito (cm);
- penetração da agulha do pilodyn na madeira (mm).

A partir da avaliação realizada com o pilodyn foi estimada a densidade básica da madeira ( $\text{kg/m}^3$ ), pela expressão: Densidade = 615 - 11 \* Leitura do pilodyn. Para a obtenção desta expressão, anteriormente, foram avaliadas 142 árvores de diferentes espécies de eucalipto, com dois anos de idade, utilizando o pilodyn e, em seguida, determinou-se a densidade da madeira no laboratório. A partir destas avaliações foi construída a equação de regressão entre a leitura do pilodyn e a densidade básica da madeira.

Foi realizada, inicialmente, a análise de variância por local, para a circunferência à altura do peito e densidade básica da madeira e, posteriormente, a análise de variância conjunta, envolvendo os três locais, adotando-se o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijkl} = m + t_{i(l)} + b_{j(kl)} + r_{k(l)} + l_l + (tl)_{il} + e_{(ijkl)}$$

em que:

$Y_{ijkl}$ : valor observado na parcela que recebeu o tratamento  $i$ , no bloco  $j$ , na repetição  $k$  e no local  $l$ ;

$m$ : constante comum a todas as observações;

$t_i$ : efeito aleatório do tratamento  $i$  dentro do local  $l$  ( $i=1,2,3,\dots,184$ );

$b_{j(kl)}$ : efeito aleatório do bloco  $j$  dentro da repetição  $k$  e do local  $l$  ( $j=1,2,3,\dots,14$ );

$r_{k(l)}$ : efeito aleatório da repetição  $k$  dentro do local  $l$  ( $k=1,2,3,\dots,40$ );

$l_l$ : efeito aleatório do local  $l$  ( $l=1,2,3$ );

$(tl)_{il}$ : efeito aleatório da interação entre o tratamento  $i$  com o local  $l$ ;

$e_{(ijkl)}$ : erro experimental associado à observação  $Y_{ijkl}$ , tendo  $e_{(ijkl)} \sim N(0, \sigma^2)$ .

As análises estatísticas foram feitas utilizando-se o *Procedure for Mixed Linear Models* (PROC MIXED) do SAS® (SAS..., 2000). As rotinas computacionais utilizadas para as análises são descritas no anexo B. Foi utilizado o comando *solution* para obter os desvios genotípicos preditos de cada tipo de tratamento em relação à constante comum a todas as observações ( $\tilde{g}_i$ ). Posteriormente, os  $\tilde{g}_i$  foram somados a esta constante para a obtenção dos

valores genotípicos de cada tratamento (BLUPs). Com os valores genotípicos foi estimada a heterose pela expressão:

$$h_{ij}(\%) = \left( (UG_{ij} - \left( \frac{G_i + U_j}{2} \right)) / \left( \frac{G_i + U_j}{2} \right) \right) \times 100$$

em que:

$h_{ij}$ : heterose da família interpopulacional ij;

$UG_{ij}$ : valor genotípico da família de irmãos germanos interpopulacional ij;

$G_i$  e  $U_j$ : valor genotípico da família de meios-irmãos i de *E. grandis* e j de *E. urophylla*, genitores da família de irmãos germanos ij.

Para os casos em que somente um dos pais foi avaliado, a heterose foi estimada em relação a ele, do seguinte modo:

$$h_{ij}(\%) = ((UG_{ij} - G_i \text{ ou } U_j) / (G_i \text{ ou } U_j)) \times 100 .$$

Foi estimada a correlação entre o valor genotípico dos tratamentos nos locais, dois a dois. Em cada local, também foi obtida a correlação entre os caracteres avaliados. Como foram estimadas correlações envolvendo valores genotípicos, estas são de natureza genética.

Estimou-se o progresso genético com a seleção intra e interpopulacional. Como o  $\tilde{g}_i$  já é o próprio ganho esperado com a seleção, este foi obtido pela

expressão:  $GS_k(\%) = \left( \frac{ds_k}{m} \right) \times 100$ , em que:

$GS_k$  : ganho esperado com a seleção das famílias da população k;

$ds_k$  : diferencial de seleção para a população k, ou seja, valor genotípico das 10 melhores famílias menos o valor genotípico médio das famílias da população k;

m: valor genotípico médio das famílias da população k.

Também foi calculada a resposta esperada (RE) em uma característica com a seleção efetuada na outra, para cada população e para o híbrido interpopulacional, da seguinte forma:  $RE_{Y(X)}(\%) = (\text{valor genotípico do caráter Y}$

nas famílias selecionadas para o caráter X – valor genotípico médio do caráter Y) / m x 100.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resumos das análises de variância por local, para as duas características analisadas, são apresentados nas Tabelas 64 a 66 e os resumos da análise de variância conjunta são apresentados na Tabela 67. Chama a atenção o fato de não ter sido detectada significância para os componentes de variância atribuídos ao efeito de locais e testemunhas. Para as demais fontes de variação, os componentes de variância foram significativamente diferentes de zero.

As interações envolvendo famílias x locais, embora significativas, foram de pequena magnitude. Para a circunferência à altura do peito, por exemplo, independente da origem das famílias, o componente da interação correspondeu apenas a 8,0% do atribuído a famílias. Para a densidade básica da madeira, esse valor foi ligeiramente maior, cerca de 12,0%. Resultados semelhantes a respeito da interação tratamentos x locais foram obtidos em outros experimentos conduzidos nos mesmos locais, envolvendo a avaliação de clones (Lima et al., 2000; Nunes, 2000). De modo análogo, na avaliação de híbridos entre clones, utilizando-se uma planta por parcela, em experimentos contíguos a esses, a interação tratamentos x locais também foi de pequena magnitude (Capítulo 3).

Além do mais, neste trabalho, as estimativas das correlações genéticas entre o desempenho médio dos tratamentos nos locais dois a dois foram superiores a 0,8 (Tabela 68). Este fato, pelo menos em princípio, indica que a interação foi predominantemente simples (Vencovsky & Barriga, 1992). Desse modo, é esperado que ela não modifique expressivamente a classificação das famílias. Assim, a ênfase nas discussões será direcionada ao desempenho das famílias na média dos locais.

Como já mencionado, houve diferenças significativas entre as famílias avaliadas para as duas características (Tabela 67). Na sua decomposição,

constatou-se que a variância obtida entre as famílias de meios-irmãos intrapopulacionais de *E. grandis* e *E. urophylla* foram diferentes de zero. O mesmo ocorreu entre as famílias interpopulacionais. Contudo, a variância associada às famílias de *E. urophylla* foi de menor magnitude.

A distribuição de frequência dos valores genotípicos médios das famílias em cada grupo, para a circunferência à altura do peito, também evidencia este fato (Figura 5). Considerando cada tipo de família separadamente, na média dos locais, a amplitude de variação em relação à média foi de 67,0% para as famílias de *E. grandis*, 47,0% para as famílias de *E. urophylla* e de 57,0% para as famílias de irmãos germanos. Já para a densidade básica da madeira, a amplitude de variação em relação à média foi em torno de 10,0% para os três tipos de famílias (Figura 6).

É interessante salientar a significância do teste F para o contraste famílias de meios-irmãos de *E. grandis* versus famílias de meios-irmãos de *E. urophylla* (Tabela 67). Para a circunferência à altura do peito, em média, o desempenho das famílias de *E. urophylla* foi 32,0% superior ao obtido para as famílias de *E. grandis*. Já para a densidade básica da madeira, o desempenho médio das famílias de *E. grandis* foi superior à de *E. urophylla* em 1,5%. A maior densidade básica da madeira obtida para as famílias de *E. grandis* em relação às de *E. urophylla*, a princípio, não era esperada. Há relatos na literatura de que o *E. urophylla* possui maior densidade básica da madeira (Pereira et al., 2000).

Outro contraste avaliado foi o valor genotípico das famílias intrapopulacionais em relação às famílias interpopulacionais (G e U vs UG). Em todos os casos, o teste F foi significativo (Tabela 67). Por exemplo, as famílias interpopulacionais apresentaram desempenho 33,0% acima das famílias intrapopulacionais para a circunferência à altura do peito. Por outro lado, para a

densidade básica da madeira, o valor genotípico das famílias interpopulacionais ficou apenas 1,5% abaixo do valor genotípico das famílias intrapopulacionais.

A superioridade das combinações híbridas entre *E. grandis* x *E. urophylla* para atender às exigências da indústria de celulose foi constatada em várias ocasiões, devido ao crescimento vigoroso e à boa qualidade da madeira (Rezende & Resende, 2000; Assis, 2000; Verryn, 2000; Bouvet & Vigneron, 1996; Bertolucci et al., 1995). Por este motivo, híbridos entre essas duas espécies têm sido utilizados comercialmente em vários países, como Brasil, África do Sul, Colômbia, Venezuela e Congo (Resende, 2002).

Uma provável explicação para o comportamento não coincidente da densidade básica da madeira, em relação à circunferência à altura do peito, é que ocorreu correlação negativa significativa entre estas características (Tabela 69). Assim, árvores com maior circunferência à altura do peito tendem a apresentar menor densidade.

Estimativas de correlações negativas entre a densidade e a circunferência à altura do peito também foram obtidas em outros trabalhos conduzidos nos mesmos locais (Capítulo 3). Há alguns relatos em que as correlações entre a densidade e o diâmetro à altura do peito e entre aquela e o volume de madeira foram positivas, porém, de pequena magnitude (Paula et al., 2002; Trugilho et al., 2001).

As testemunhas utilizadas nos experimentos foram clones comerciais da empresa, que possuem bom desempenho nos diferentes locais de cultivo de eucalipto. Este fato foi comprovado neste trabalho. O valor genotípico das testemunhas foi superior ao das famílias para as duas características analisadas (Tabela 67). Contudo, para a circunferência à altura do peito, o desempenho médio das famílias interpopulacionais foi ligeiramente superior ao das testemunhas. A amplitude de variação das famílias de irmãos germanos em relação ao desempenho médio indica que existe suficiente variabilidade genética

para que o melhorista possa atuar. Média alta e variabilidade genética são imprescindíveis para se obter sucesso com a seleção (Ramalho et al., 2001). Estes resultados evidenciam que é possível identificar famílias interpopulacionais com desempenho superior ao destas testemunhas.

Das famílias interpopulacionais avaliadas, 15 delas têm ambos os genitores avaliados por meio de famílias de meios-irmãos. Este fato permite obter informações mais detalhadas a respeito da ocorrência de heterose. As estimativas obtidas mostram que esta foi elevada para a circunferência à altura do peito e próxima de zero para a densidade básica da madeira (Tabelas 70 a 73). A heterose média obtida, independente do local, foi acima de 31,0% para a circunferência à altura do peito. Contudo, houve grande variação na heterose entre as famílias de irmãos germanos avaliadas, para esta característica. Na média dos locais, por exemplo, ela variou de 10,0% a 69,0% da média dos pais.

Para as famílias interpopulacionais que possuíam apenas um dos genitores sendo avaliado no experimento, a heterose foi estimada em relação a ele (Tabelas 74 a 77). Também foi constatada heterose para a circunferência à altura do peito e ausência de heterose para a densidade básica da madeira. Contudo, nos casos em que se estimou a heterose em relação ao desempenho dos genitores de *E. urophylla*, ela foi menor, principalmente porque esta espécie apresentou melhor desempenho do que *E. grandis*.

Considerando apenas um loco, a heterose é função da diferença nas frequências alélicas entre os genitores e da presença de interação alélica de dominância (Falconer & Mackay, 1996). Os resultados obtidos evidenciam que os genitores são divergentes, como mostrado na análise de variância e que ocorre dominância na expressão da circunferência à altura do peito. Já para a densidade básica da madeira, como os genitores também foram divergentes, pode-se inferir que a ausência de heterose deve-se à ausência de dominância na expressão deste caráter.

Resultados encontrados na literatura mostram que existe heterose para caracteres associados ao crescimento das plantas, evidenciando também a ocorrência de dominância no controle genético do volume da madeira (Rezende & Resende, 2000; Bouvet & Vigneron, 1996). Contudo, não tem sido detectada heterose para a densidade da madeira (Assis, 2000). Estes resultados estão de acordo com os obtidos no presente trabalho.

Outros resultados concordantes com os obtidos referem-se às estimativas da depressão por endogamia para estas características. Por exemplo, utilizando-se clones elite da Aracruz Celulose S. A., a estimativa da depressão por endogamia foi, em média, de 17,0% para a circunferência à altura do peito e de 4,0% para a densidade básica da madeira (Capítulo 2).

Para a circunferência à altura do peito, em que ocorreu heterose, algumas famílias de meios-irmãos tiveram excelente desempenho e, mesmo assim, as combinações híbridas entre elas apresentaram pequena heterose, como no caso das famílias números 8 e 15 (Tabelas 70 a 73). Houve ainda situações em que o valor genotípico das famílias de meios-irmãos não foi muito elevado e a heterose foi bastante expressiva, como para a família número 5, cuja heterose foi de 90,0% para a circunferência à altura do peito em Caravelas.

Desconsiderando a ocorrência de epistasia, o desempenho médio de um híbrido é função da média dos pais, da contribuição dos locos em homozigose e também da heterose. Assim, o desempenho *per se* dos genitores não é suficiente para a obtenção de boas combinações híbridas. Correlações entre o desempenho *per se* dos pais e dos híbridos em *Eucalyptus* não foram encontradas na literatura. Contudo, para a cultura do milho, não tem sido encontrada associação entre o desempenho *per se* das linhagens e os híbridos delas derivados (Bernardo, 2002). Esses resultados mostram que há necessidade de obter as combinações híbridas para se identificar as mais promissoras.

A existência de heterose para a circunferência à altura do peito e a ausência para a densidade básica da madeira implica que os melhoristas da área florestal devem utilizar diferentes estratégias para o melhoramento destas duas características. Quando há heterose, a melhor opção é a seleção recorrente recíproca (SRR), porque este tipo de seleção promove melhoria na heterose das populações, quando cruzadas (Souza Júnior, 2001). Por outro lado, tem sido constatado que, quando se conduz a SRR, a média do híbrido aumenta, porém, o desempenho *per se* de pelo menos uma população diminui. Inclusive, foi proposto um esquema de SRR modificado, em que uma das populações é testadora da outra e também dela mesma. Assim, é esperado melhorar o desempenho *per se* das populações e, ao mesmo tempo, o híbrido entre elas (Souza Júnior, 1993).

Esse comentário de Souza Júnior (1993) é válido para a circunferência à altura do peito, por exemplo. Contudo, para a densidade básica da madeira, a seleção recorrente recíproca não será vantajosa. Neste caso, há ainda um complicador adicional, que é a correlação negativa entre a circunferência à altura do peito e a densidade básica da madeira, embora esta não seja de grande magnitude.

Na seleção recorrente recíproca com a avaliação de famílias de irmãos germanos, o ganho esperado com a seleção é obtido pela seguinte expressão:  $GS = (i \sigma_{A_{12}}^2 / 2\sigma_{F_{12}})$ , em que  $i$  é o diferencial de seleção estandardizado (intensidade de seleção);  $\sigma_{A_{12}}^2$  é a variância genética aditiva interpopulacional relacionada às populações 1 e 2, e  $\sigma_{F_{12}}$  é o desvio padrão fenotípico da unidade de seleção associado às populações 1 e 2 (Souza Júnior, 2001). Como a variância genética entre as famílias de irmãos germanos interpopulacionais é obtida pela expressão:  $\sigma_G^2 = 1/2\sigma_{A_{12}}^2 + 1/4\sigma_{D_{12}}^2$ , para calcular o ganho esperado

com a seleção recorrente é necessário isolar a  $\sigma_{A_{12}}^2$  e  $\sigma_{D_{12}}^2$ . Com os tipos de famílias utilizados no presente trabalho não foi possível isolar estes componentes de variância genética (Souza Júnior, 2004)<sup>2</sup>. Além do mais, o número de famílias de irmãos germanos que possuem os genitores avaliados no experimento foi pequeno, impossibilitando fazer inferências sobre as propriedades genéticas das populações envolvidas.

Como já foi mencionado, para a densidade básica da madeira o mais recomendável é a seleção recorrente intrapopulacional. Por isso foi estimado o ganho para este caráter e a resposta esperada na circunferência à altura do peito. Constatou-se que o ganho esperado com a seleção foi de 4,2% para a população de *E. grandis* e de 3,7% para a população de *E. urophylla* (Tabela 78). Por outro lado, a seleção para a densidade básica da madeira irá proporcionar uma redução na circunferência à altura do peito de 15,9% para a população de *E. grandis* e de 8,7% para a população de *E. urophylla*.

Infelizmente, como nem todas as famílias de meios-irmãos avaliadas originaram híbridos interpopulacionais, não foi possível estimar a resposta esperada na circunferência à altura do peito interpopulacional pela seleção praticada na densidade básica, o que seria mais importante. Os resultados obtidos neste trabalho deixam claro que há necessidade de mais informações a respeito da associação destes dois caracteres para orientar futuros trabalhos de seleção.

Muito embora alguns dos genitores envolvidos na obtenção das famílias de irmãos germanos não tenham sido avaliados, as árvores matrizes são conhecidas e há possibilidade de serem envolvidas na recombinação. Assim, a estimativa do ganho pode ser utilizada como referência para o primeiro ciclo de

---

<sup>2</sup> SOUZA JÚNIOR, C. L. de. Comunicação pessoal. 2004. (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Departamento de Genética, 13.400-970, Piracicaba, São Paulo, Brasil).

seleção recorrente recíproca. Deve ser enfatizado que, para a seleção recorrente recíproca, este valor está superestimado, pois, na estimativa da herdabilidade, a variância genética entre as famílias envolve não só a variância aditiva interpopulacional, mas também a variância de dominância interpopulacional, que não será aproveitada após a recombinação. Contudo, como em *Eucalyptus* é possível realizar a seleção clonal, esse ganho é aplicado se for considerada a seleção apenas no mérito das famílias.

A estimativa do ganho esperado com a seleção entre as famílias interpopulacionais para a circunferência à altura do peito e a resposta correlacionada na densidade básica da madeira é apresentada na Tabela 78. O ganho esperado na circunferência à altura do peito foi de 12,3%. Contudo, a seleção para esta característica acarretará redução na densidade básica da madeira de 2,3%, devido à correlação negativa entre estas características.

Há relatos, na literatura, de ganhos estimados mais expressivos para o volume de madeira com a seleção recorrente recíproca, envolvendo famílias de irmãos germanos dessas mesmas espécies (Baudouim et al., 1997). Contudo, no trabalho mencionado, foi avaliado um maior número de famílias e foi aplicada uma maior intensidade de seleção.

A correlação negativa entre a circunferência à altura do peito e a densidade básica da madeira deve ser considerada no processo seletivo. Uma alternativa seria a utilização de níveis independentes de seleção (Falconer & Mackay, 1996), isto é, só seriam selecionadas as famílias e ou indivíduos com maior circunferência à altura do peito que apresentassem uma densidade mínima aceitável pela indústria de celulose. Nessa condição, a correlação negativa torna-se de menor importância.

Vale salientar que o desempenho médio das 10 melhores famílias de irmãos germanos avaliadas foi 3,0% superior à ao desempenho médio da melhor testemunha, para a circunferência à altura do peito. Desse modo, os genitores

destas famílias deverão ser clonados para a montagem de dois lotes de recombinação, de forma a completar o primeiro ciclo de seleção recorrente recíproca. Para ganhar tempo e melhorar a eficiência da recombinação, são recomendadas a indução de florescimento precoce e a realização de cruzamentos aos pares.

A utilização destas combinações na extração de novos clones na empresa certamente irá proporcionar ganhos genéticos bem superiores aos relatados. A melhor alternativa para a seleção dos melhores indivíduos seria com base no valor genotípico predito de cada um, utilizando-se a metodologia dos modelos mistos (Resende, 2002). Neste caso, poderiam ser selecionados os melhores indivíduos pelo BLUP individual, considerando todas as famílias de irmãos germanos avaliadas, o que possibilitaria a aplicação de uma altíssima intensidade de seleção, pois foram avaliados em torno de 7.000 indivíduos híbridos interpopulacionais.

Deve ser enfatizado também que uma outra estratégia viável de ser empregada, a partir dos resultados relatados na presente pesquisa, seria refazer os cruzamentos que deram origem às melhores famílias de irmãos germanos, a fim de obter populações com maior número de indivíduos. Desse modo, haveria um aumento da chance de ocorrência de indivíduos com desempenho superior (Steel et al., 1997).

TABELA 64 Resumo das análises estatísticas para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de famílias de meios-irmãos de *E. grandis* e *E. urophylla*, e famílias de irmãos germanos entre essas duas espécies, em Aracruz, ES.

FV	CAP (cm)			DEN (kg/m <sup>3</sup> )	
	$\sigma_{FV}^2$	P	$\sigma_{FV}^2$	P	
Efeito aleatório					
Blocos / repetições	1,34	0,00	8,77	0,00	
Repetições	0,42	0,00	47,37	0,00	
Tratamentos	21,32	0,00	132,93	0,00	
Famílias (F)	21,71	0,00	121,91	0,00	
G <sup>1/</sup>	44,21	0,00	138,86	0,00	
U <sup>1/</sup>	5,76	0,00	106,45	0,00	
UG <sup>1/</sup>	20,19	0,00	123,03	0,00	
Testemunhas (T)	4,20	0,12	620,02	0,08	
Erro	27,73	0,00	312,90	0,00	
Efeito fixo	GL	F	P	F	P
G vs U	1	1241,86	0,00	256,64	0,00
G e U vs UG	1	1896,60	0,00	114,49	0,00
F vs T	1	10,11	0,00	266,99	0,00
Testemunhas <sup>3/</sup>		27,11		448,66	
Famílias		25,69		424,52	
<i>E. grandis</i>		20,91		430,47	
<i>E. urophylla</i>		26,75		421,77	
Urograndis		30,14		420,92	

<sup>1/</sup> G – meios-irmãos de *E. grandis*; U – meios-irmãos de *E. urophylla*; UG – irmãos germanos de *E. grandis* x *E. urophylla*; <sup>2/</sup> clone mais plantado pela empresa; <sup>3/</sup> valores médios das predições em cada grupo.

TABELA 65 Resumo das análises estatísticas para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de famílias de meios-irmãos de *E. grandis* e *E. urophylla*, e famílias de irmãos germanos entre essas duas espécies, em São Mateus, ES.

FV	CAP (cm)			DEN (kg/m <sup>3</sup> )	
	$\sigma_{FV}^2$	P	$\sigma_{FV}^2$	P	
Efeito aleatório					
Blocos / repetições	3,92	0,00	5,19	0,03	
Repetições	0,52	0,03	16,04	0,00	
Tratamentos	49,73	0,00	127,39	0,00	
Famílias (F)	49,70	0,00	123,06	0,00	
G <sup>1/</sup>	89,73	0,00	142,86	0,00	
U <sup>1/</sup>	14,15	0,00	105,76	0,00	
UG <sup>1/</sup>	54,44	0,00	124,59	0,00	
Testemunhas (T)	51,14	0,09	305,57	0,09	
Erro	62,02	0,00	370,98	0,00	
Efeito fixo	GL	F	P	F	P
G vs U	1	842,74	0,00	53,14	0,00
G e U vs UG	1	1774,94	0,00	52,56	0,00
F vs T	1	88,92	0,00	109,83	0,00
Testemunhas <sup>3/</sup>		36,57		422,47	
Famílias		30,34		405,70	
<i>E. grandis</i>		23,29		409,34	
<i>E. urophylla</i>		31,54		404,51	
Urograndis		37,45		402,85	

<sup>1/</sup> G – meios-irmãos de *E. grandis*; U – meios-irmãos de *E. urophylla*; UG – irmãos germanos de *E. grandis* x *E. urophylla*; <sup>2/</sup> clone mais plantado pela empresa; <sup>3/</sup> valores médios das predições em cada grupo.

TABELA 66 Resumo das análises estatísticas para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de famílias de meios-irmãos de *E. grandis* e *E. urophylla*, e famílias de irmãos germanos entre essas duas espécies, em Caravelas, BA.

FV		CAP (cm)		DEN (kg/m <sup>3</sup> )	
Efeito aleatório		$\sigma_{FV}^2$	P	$\sigma_{FV}^2$	P
Blocos / repetições		2,21	0,00	9,57	0,00
Repetições		0,95	0,00	21,99	0,00
Tratamentos		37,98	0,00	179,86	0,00
Famílias (F)		37,31	0,00	182,40	0,00
G <sup>1/</sup>		63,91	0,00	198,59	0,00
U <sup>1/</sup>		11,32	0,00	113,87	0,00
UG <sup>1/</sup>		42,36	0,00	257,33	0,00
Testemunhas (T)		67,87	0,09	75,01	0,13
Erro		51,40	0,00	570,31	0,00
Efeito fixo		GL	F	P	F
G vs U		1	864,36	0,00	30,80
G e U vs UG		1	1827,56	0,00	173,98
F vs T		1	175,30	0,00	9,00
Testemunhas <sup>3/</sup>			34,14		393,88
Famílias			26,27		388,42
<i>E. grandis</i>			20,24		393,03
<i>E. urophylla</i>			27,21		388,84
Urograndis			32,47		382,24

<sup>1/</sup> G – meios-irmãos de *E. grandis*; U – meios-irmãos de *E. urophylla*; UG – irmãos germanos de *E. grandis* x *E. urophylla*; <sup>2/</sup> clone mais plantado pela empresa; <sup>3/</sup> valores médios das predições em cada grupo.

TABELA 67 Resumo das análises estatísticas conjuntas para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), obtidas na avaliação de famílias de meios-irmãos de *E. grandis* e *E. urophylla*, e famílias de irmãos germanos entre estas duas espécies.

FV		CAP (cm)		DEN (kg/m <sup>3</sup> )		
Efeito aleatório		$\sigma_{FV}^2$	P	$\sigma_{FV}^2$	P	
Bloc./ rep. x locais		2,46	0,00	8,05	0,00	
Repetições / locais		0,64	0,00	28,55	0,00	
Locais (L)		6,67	0,16	323,68	0,16	
Tratamentos (TR)		33,24	0,00	131,29	0,00	
Famílias (F)		33,34	0,00	128,58	0,00	
G <sup>1/</sup>		62,17	0,00	143,10	0,00	
U <sup>1/</sup>		8,22	0,00	98,49	0,00	
UG <sup>1/</sup>		35,92	0,00	151,90	0,00	
Testemunhas (T)		28,84	0,12	251,51	0,11	
TR x L		2,88	0,00	16,56	0,00	
F x L		2,66	0,00	15,15	0,00	
G x L		2,67	0,00	20,21	0,00	
U x L		2,30	0,00	10,93	0,00	
UG x L		3,03	0,00	15,65	0,00	
T x L		12,14	0,04	75,60	0,04	
Erro		46,22	0,00	417,27	0,00	
Efeito fixo		GL	F	P	F	
G vs U		1	1160,76	0,00	125,89	0,00
G e U vs UG		1	1772,41	0,00	146,41	0,00
F vs T		1	22,18	0,00	31,36	0,00
Testemunhas <sup>3/</sup>			31,97		420,62	
Famílias			27,42		406,33	
<i>E. grandis</i>			21,50		411,16	
<i>E. urophylla</i>			28,47		405,05	
Urograndis			33,31		402,03	

<sup>1/</sup> G – meios-irmãos de *E. grandis*; U – meios-irmãos de *E. urophylla*; UG – irmãos germanos de *E. grandis* x *E. urophylla*; <sup>2/</sup> clone mais plantado pela empresa; <sup>3/</sup> valores médios das predições em cada grupo.

TABELA 68 Estimativa das correlações genéticas ( $r_G$ ) entre os valores genotípicos dos tratamentos nos locais dois a dois, para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), na avaliação de famílias de meios-irmãos de *E. grandis* e *E. urophylla*, e famílias de irmãos germanos entre estas duas espécies, aos dois anos de idade.

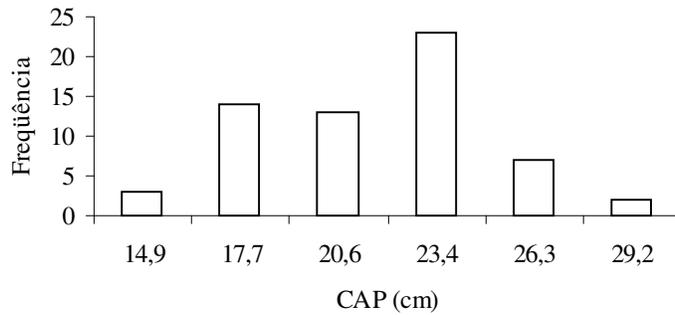
Correlação	CAP	P	DEN	P
$r_{12}$	0,90	0,00	0,83	0,00
$r_{13}$	0,90	0,00	0,79	0,00
$r_{23}$	0,94	0,00	0,84	0,00

1 – Aracruz ; 2 – São Mateus ; 3 – Caravelas.

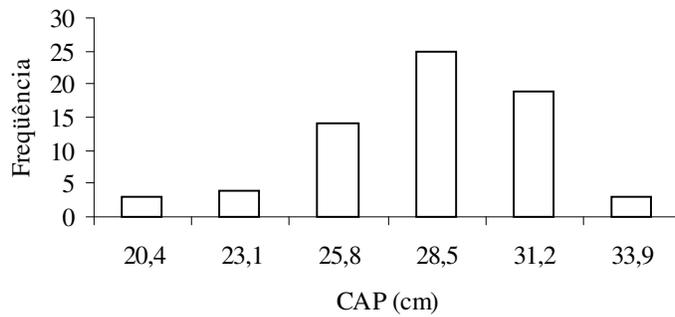
TABELA 69 Estimativa das correlações genéticas ( $r_G$ ) entre a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), na avaliação de famílias de meios-irmãos de *E. grandis* e *E. urophylla*, e famílias de irmãos germanos entre estas duas espécies, aos dois anos de idade.

Aracruz		São Mateus		Caravelas		Conjunta	
r	P	r	P	r	P	r	P
-0,57	0,00	-0,39	0,00	-0,50	0,00	-0,50	0,00

a)



b)



c)

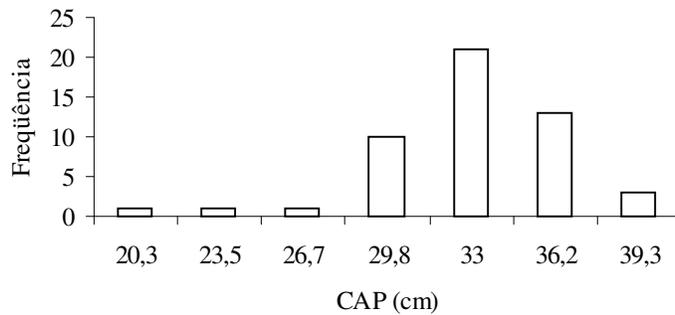
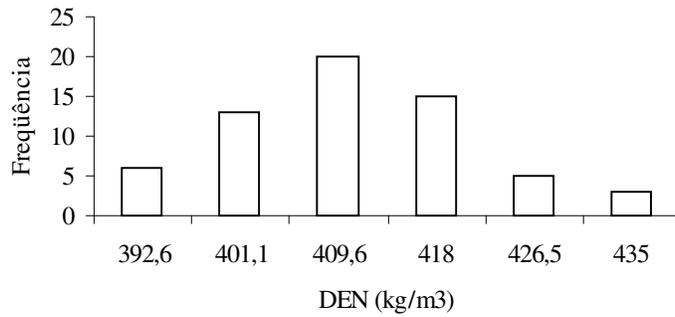
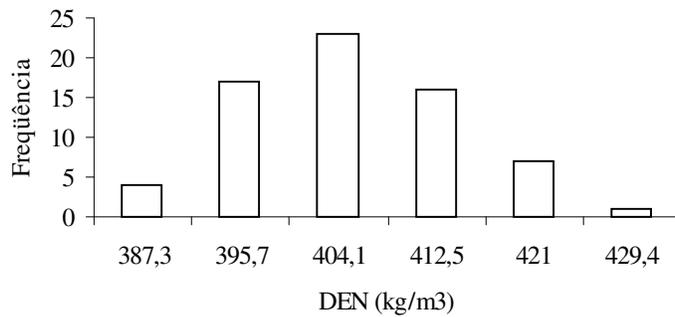


FIGURA 05 Distribuição de frequência dos valores genotípicos para a circunferência à altura do peito (CAP), nas famílias de meios-irmãos de *E. grandis* (a) e *E. urophylla* (b) e irmãos germanos entre *E. grandis* x *E. urophylla* (c), na análise conjunta.

a)



b)



c)

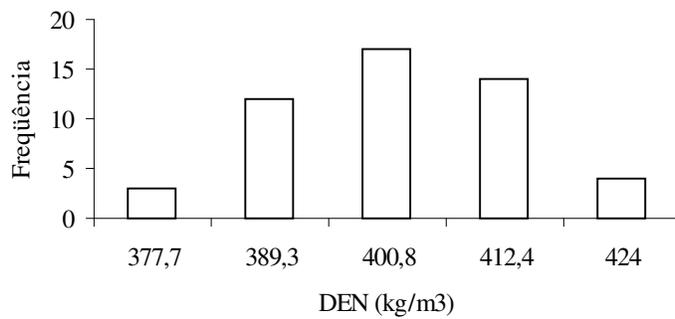


FIGURA 06 Distribuição de frequência dos valores genotípicos para a densidade básica da madeira (DEN), nas famílias de meios-irmãos de *E. grandis* (a) e *E. urophylla* (b) e irmãos germanos entre *E. grandis* x *E. urophylla* (c), na análise conjunta.

TABELA 70 Estimativa da heterose (h) das famílias de irmãos germanos entre *E. grandis* x *E. urophylla*, em relação ao valor genotípico das famílias de meios-irmãos de *E. grandis* e *E. urophylla*, para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), aos dois anos de idade, em Aracruz, ES.

Família	CAP (cm)			h (%)	DEN (kg/m <sup>3</sup> )			h (%)
	G <sup>U</sup>	U <sup>U</sup>	UG <sup>U</sup>		G	U	UG	
1	18,72	24,78	31,78	<b>46,13</b>	421,09	429,62	411,94	<b>-3,15</b>
2	20,70	27,70	30,33	<b>25,35</b>	415,02	404,93	411,04	<b>0,26</b>
3	17,42	26,02	27,36	<b>25,95</b>	445,76	421,64	436,66	<b>0,68</b>
4	23,48	21,77	28,49	<b>25,91</b>	429,03	415,15	423,75	<b>0,39</b>
5	18,78	23,41	30,77	<b>45,85</b>	446,07	439,71	435,01	<b>-1,78</b>
6	18,70	27,10	28,18	<b>23,07</b>	435,25	438,27	437,93	<b>0,27</b>
7	15,78	20,03	27,32	<b>52,57</b>	439,98	442,77	431,30	<b>-2,28</b>
8	22,93	27,45	28,35	<b>12,53</b>	425,07	417,67	422,96	<b>0,38</b>
9	23,62	27,67	35,08	<b>36,80</b>	424,15	423,09	414,95	<b>-2,05</b>
10	21,58	27,37	30,24	<b>23,55</b>	422,27	418,69	420,42	<b>-0,01</b>
11	23,20	26,32	31,05	<b>25,39</b>	418,70	404,57	416,12	<b>1,09</b>
12	18,00	26,79	32,27	<b>44,11</b>	443,87	418,18	425,69	<b>-1,24</b>
13	23,22	27,66	36,09	<b>41,88</b>	414,55	407,42	399,97	<b>-2,68</b>
14	18,99	27,15	29,97	<b>29,90</b>	431,60	423,50	414,65	<b>-3,02</b>
15	22,32	27,29	28,38	<b>14,41</b>	421,88	437,17	433,08	<b>0,83</b>
<b>Média</b>				<b>31,56</b>				<b>-0,82</b>

<sup>U</sup> G – meios-irmãos de *E. grandis*; U – meios-irmãos de *E. urophylla*; UG – irmãos germanos de *E. grandis* x *E. urophylla*.

TABELA 71 Estimativa da heterose (h) das famílias de irmãos germanos entre *E. grandis* x *E. urophylla*, em relação ao valor genotípico das famílias de meios-irmãos de *E. grandis* e *E. urophylla*, para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), aos dois anos de idade, em São Mateus, ES.

Família	CAP (cm)			h (%)	DEN (kg/m <sup>3</sup> )			h (%)
	G <sup>U</sup>	U <sup>U</sup>	UG <sup>U</sup>		G	U	UG	
1	17,79	34,85	39,86	<b>51,47</b>	399,73	407,46	391,59	<b>-2,97</b>
2	24,08	36,33	38,81	<b>28,52</b>	392,54	398,38	392,84	<b>-0,66</b>
3	18,86	29,12	35,48	<b>47,90</b>	428,73	406,01	405,83	<b>-2,77</b>
4	29,15	21,06	34,84	<b>38,78</b>	400,32	399,65	405,93	<b>1,49</b>
5	22,66	23,08	39,57	<b>73,00</b>	418,37	430,77	413,54	<b>-2,60</b>
6	17,93	32,44	37,23	<b>47,79</b>	416,56	413,82	419,12	<b>0,95</b>
7	18,67	26,08	32,88	<b>46,95</b>	412,22	410,19	407,41	<b>-0,92</b>
8	25,76	32,09	33,48	<b>15,72</b>	405,53	401,94	408,06	<b>1,07</b>
9	23,55	31,98	41,93	<b>51,02</b>	402,54	413,23	411,68	<b>0,93</b>
10	25,00	32,46	38,51	<b>34,03</b>	404,07	404,47	400,55	<b>-0,92</b>
11	25,01	29,69	37,32	<b>36,44</b>	393,59	396,38	403,40	<b>2,13</b>
12	16,40	31,31	37,93	<b>58,98</b>	434,06	404,92	408,79	<b>-2,55</b>
13	25,66	26,95	44,87	<b>70,58</b>	392,38	390,44	386,06	<b>-1,37</b>
14	19,72	32,68	35,72	<b>36,36</b>	417,05	413,85	397,67	<b>-4,28</b>
15	28,58	35,41	31,93	<b>-0,22</b>	397,08	419,47	412,14	<b>0,95</b>
<b>Média</b>				<b>42,49</b>				<b>-0,77</b>

<sup>U</sup> G – meios-irmãos de *E. grandis*; U – meios-irmãos de *E. urophylla*; UG – irmãos germanos de *E. grandis* x *E. urophylla*.

TABELA 72 Estimativa da heterose (h) das famílias de irmãos germanos entre *E. grandis* x *E. urophylla*, em relação ao valor genotípico das famílias de meios-irmãos de *E. grandis* e *E. urophylla*, para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), aos dois anos de idade, em Caravelas, BA.

Família	CAP (cm)			h (%)	DEN (kg/m <sup>3</sup> )			h (%)
	G <sup>U</sup>	U <sup>U</sup>	UG <sup>U</sup>		G	U	UG	
1	14,56	28,07	31,72	<b>48,78</b>	392,91	387,43	373,17	<b>-4,36</b>
2	20,68	28,43	33,89	<b>38,03</b>	370,42	376,12	366,66	<b>-1,77</b>
3	16,73	24,78	32,78	<b>57,94</b>	410,25	393,92	399,03	<b>-0,76</b>
4	24,32	18,87	28,75	<b>33,13</b>	382,34	383,23	381,32	<b>-0,38</b>
5	16,35	20,45	34,90	<b>89,63</b>	406,78	416,22	394,16	<b>-4,21</b>
6	17,63	24,18	28,13	<b>34,58</b>	402,51	400,54	406,89	<b>1,34</b>
7	16,88	24,68	27,22	<b>30,99</b>	401,76	391,25	394,11	<b>-0,60</b>
8	21,38	26,65	30,28	<b>26,08</b>	385,35	380,53	387,75	<b>1,26</b>
9	22,73	28,68	35,63	<b>38,62</b>	389,29	405,11	397,23	<b>0,01</b>
10	17,33	27,79	34,80	<b>54,26</b>	391,95	393,87	374,98	<b>-4,56</b>
11	21,05	24,19	33,65	<b>48,78</b>	378,14	384,45	380,34	<b>-0,25</b>
12	15,77	24,72	31,09	<b>53,60</b>	424,17	389,93	395,48	<b>-2,84</b>
13	22,67	23,65	37,24	<b>60,78</b>	378,13	381,10	354,09	<b>-6,72</b>
14	16,91	31,37	33,20	<b>37,55</b>	402,32	386,85	378,42	<b>-4,10</b>
15	22,95	28,89	30,57	<b>17,92</b>	385,02	402,25	395,22	<b>0,40</b>
<b>Média</b>				<b>44,71</b>				<b>-1,84</b>

<sup>U</sup> G – meios-irmãos de *E. grandis*; U – meios-irmãos de *E. urophylla*; UG – irmãos germanos de *E. grandis* x *E. urophylla*.

TABELA 73 Estimativa da heterose (h) das famílias de irmãos germanos entre *E. grandis* x *E. urophylla*, em relação ao valor genotípico das famílias de meios-irmãos de *E. grandis* e *E. urophylla*, para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), aos dois anos de idade, na análise conjunta.

Família	CAP (cm)			h (%)	DEN (kg/m <sup>3</sup> )			h (%)
	G <sup>U</sup>	U <sup>U</sup>	UG <sup>U</sup>		G	U	UG	
1	17,02	29,20	34,42	<b>48,93</b>	404,81	408,20	392,17	<b>-3,53</b>
2	21,85	30,77	34,28	<b>30,30</b>	392,56	393,07	390,09	<b>-0,69</b>
3	17,73	26,67	31,83	<b>43,39</b>	428,65	407,22	413,89	<b>-0,97</b>
4	25,64	20,67	30,68	<b>32,51</b>	403,91	399,05	403,69	<b>0,55</b>
5	19,13	22,34	35,01	<b>68,84</b>	425,29	429,40	414,23	<b>-3,07</b>
6	18,20	27,95	31,14	<b>34,98</b>	418,50	417,73	421,43	<b>0,79</b>
7	16,56	23,62	29,12	<b>44,95</b>	419,33	414,89	411,00	<b>-1,46</b>
8	23,37	28,74	30,72	<b>17,91</b>	405,18	399,93	406,17	<b>0,90</b>
9	23,39	29,44	37,51	<b>42,02</b>	405,36	414,04	407,94	<b>-0,43</b>
10	21,22	29,20	34,40	<b>36,42</b>	406,09	405,65	398,76	<b>-1,75</b>
11	23,08	26,76	33,90	<b>36,04</b>	396,70	394,95	400,06	<b>1,07</b>
12	16,79	27,60	33,66	<b>51,67</b>	434,47	404,37	409,93	<b>-2,26</b>
13	23,91	26,17	39,33	<b>57,05</b>	394,80	392,85	380,00	<b>-3,51</b>
14	18,54	30,40	32,94	<b>34,61</b>	417,16	407,96	396,88	<b>-3,80</b>
15	24,55	30,50	30,31	<b>10,11</b>	401,35	419,74	413,65	<b>0,76</b>
<b>Média</b>				<b>39,31</b>				<b>-1,16</b>

<sup>U</sup> G – meios-irmãos de *E. grandis*; U – meios-irmãos de *E. urophylla*; UG – irmãos germanos de *E. grandis* x *E. urophylla*.

TABELA 74 Estimativa da heterose (h) das famílias de irmãos germanos entre *E. grandis* x *E. urophylla*, em relação ao valor genotípico das famílias de meios-irmãos de *E. grandis* ou *E. urophylla*, para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), aos dois anos de idade, em Aracruz, ES.

Família	CAP (cm)			h (%)	DEN (kg/m <sup>3</sup> )			h (%)
	G <sup>U</sup>	U <sup>U</sup>	UG <sup>U</sup>		G	U	UG	
16	15,70	-	32,01	<b>103,93</b>	443,09	-	407,21	<b>-8,10</b>
17	19,31	-	25,07	<b>29,81</b>	422,11	-	424,24	<b>0,50</b>
18	21,53	-	29,62	<b>37,59</b>	430,25	-	420,97	<b>-2,16</b>
19	23,28	-	32,29	<b>38,67</b>	421,04	-	409,34	<b>-2,78</b>
20	21,36	-	28,65	<b>34,15</b>	432,44	-	430,11	<b>-0,54</b>
21	-	30,64	30,41	<b>-0,75</b>	-	410,60	417,93	<b>1,78</b>
22	-	27,89	31,36	<b>12,42</b>	-	422,11	425,74	<b>0,86</b>
23	-	30,14	31,64	<b>4,97</b>	-	420,42	434,02	<b>3,23</b>
24	-	31,04	34,60	<b>11,45</b>	-	416,90	416,67	<b>-0,06</b>
25	-	31,78	32,16	<b>1,21</b>	-	410,30	410,34	<b>0,01</b>
26	-	28,47	29,39	<b>3,26</b>	-	413,12	405,27	<b>-1,90</b>
27	-	27,15	35,46	<b>30,60</b>	-	414,37	419,02	<b>1,12</b>
28	-	27,20	28,43	<b>4,51</b>	-	413,06	410,01	<b>-0,74</b>
29	-	23,98	28,49	<b>18,80</b>	-	439,74	440,35	<b>0,14</b>
30	-	26,01	26,51	<b>1,92</b>	-	429,55	429,50	<b>-0,01</b>
31	-	29,77	33,11	<b>11,24</b>	-	423,86	429,93	<b>1,43</b>
32	-	23,12	31,03	<b>34,19</b>	-	431,49	426,09	<b>-1,25</b>
33	-	27,11	28,03	<b>3,41</b>	-	418,70	426,28	<b>1,81</b>
34	-	23,09	30,20	<b>30,79</b>	-	436,60	426,27	<b>-2,37</b>
35	-	28,31	27,12	<b>-4,20</b>	-	411,47	435,89	<b>5,93</b>
36	-	19,64	20,28	<b>3,23</b>	-	432,44	439,70	<b>1,68</b>
37	-	28,60	32,17	<b>12,51</b>	-	410,88	405,60	<b>-1,28</b>
<b>Média</b>				<b>19,26</b>				<b>-0,12</b>

<sup>U</sup>G – meios-irmãos de *E. grandis*; U – meios-irmãos de *E. urophylla*; UG – irmãos germanos de *E. grandis* x *E. urophylla*.

TABELA 75 Estimativa da heterose (h) das famílias de irmãos germanos entre *E. grandis* x *E. urophylla*, em relação ao valor genotípico das famílias de meios-irmãos de *E. grandis* ou *E. urophylla*, para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), aos dois anos de idade, em São Mateus, ES.

Família	CAP (cm)			h (%)	DEN (kg/m <sup>3</sup> )			h (%)
	G <sup>U</sup>	U <sup>U</sup>	UG <sup>U</sup>		G	U	UG	
16	17,86	-	40,92	<b>129,08</b>	407,97	-	395,21	<b>-3,13</b>
17	17,39	-	33,80	<b>94,36</b>	407,74	-	404,42	<b>-0,81</b>
18	21,60	-	39,16	<b>81,24</b>	400,44	-	395,93	<b>-1,12</b>
19	21,15	-	41,41	<b>95,78</b>	409,92	-	384,88	<b>-6,11</b>
20	28,50	-	38,15	<b>33,86</b>	406,41	-	419,75	<b>3,28</b>
21	-	33,80	42,78	<b>26,57</b>	-	400,59	402,94	<b>0,59</b>
22	-	33,80	38,90	<b>15,11</b>	-	412,19	416,48	<b>1,04</b>
23	-	36,84	40,58	<b>10,15</b>	-	403,97	415,33	<b>2,81</b>
24	-	35,40	40,59	<b>14,64</b>	-	395,60	397,27	<b>0,42</b>
25	-	38,30	40,88	<b>6,75</b>	-	389,02	397,19	<b>2,10</b>
26	-	30,44	37,46	<b>23,05</b>	-	396,59	383,93	<b>-3,19</b>
27	-	32,00	43,06	<b>34,58</b>	-	409,75	402,43	<b>-1,79</b>
28	-	32,58	37,67	<b>15,63</b>	-	398,10	394,24	<b>-0,97</b>
29	-	33,85	37,14	<b>9,72</b>	-	415,92	420,83	<b>1,18</b>
30	-	29,63	29,73	<b>0,34</b>	-	413,06	410,74	<b>-0,56</b>
31	-	35,27	40,07	<b>13,61</b>	-	411,16	411,24	<b>0,02</b>
32	-	28,73	35,55	<b>23,71</b>	-	415,21	407,55	<b>-1,84</b>
33	-	28,70	35,74	<b>24,51</b>	-	405,03	404,60	<b>-0,11</b>
34	-	30,36	37,72	<b>24,24</b>	-	408,25	405,88	<b>-0,58</b>
35	-	34,06	32,27	<b>-5,24</b>	-	395,41	419,65	<b>6,13</b>
36	-	28,08	21,10	<b>-24,86</b>	-	406,11	413,64	<b>1,85</b>
37	-	36,00	40,69	<b>13,03</b>	-	398,10	385,27	<b>-3,22</b>
<b>Média</b>				<b>29,99</b>				<b>-0,18</b>

<sup>U</sup>G – meios-irmãos de *E. grandis*; U – meios-irmãos de *E. urophylla*; UG – irmãos germanos de *E. grandis* x *E. urophylla*.

TABELA 76 Estimativa da heterose (h) das famílias de irmãos germanos entre *E. grandis* x *E. urophylla*, em relação ao valor genotípico das famílias de meios-irmãos de *E. grandis* ou *E. urophylla*, para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), aos dois anos de idade, em Caravelas, BA.

Família	CAP (cm)			h (%)	DEN (kg/m <sup>3</sup> )			h (%)
	G <sup>U</sup>	U <sup>U</sup>	UG <sup>U</sup>		G	U	UG	
16	14,21	-	36,33	<b>155,61</b>	409,38	-	370,05	<b>-9,61</b>
17	16,20	-	27,20	<b>67,89</b>	397,85	-	382,69	<b>-3,81</b>
18	18,50	-	32,84	<b>77,50</b>	385,37	-	381,47	<b>-1,01</b>
19	16,85	-	36,56	<b>116,93</b>	408,92	-	366,54	<b>-10,36</b>
20	22,32	-	31,20	<b>39,79</b>	385,47	-	398,34	<b>3,34</b>
21	-	28,44	35,74	<b>25,68</b>	-	379,67	381,95	<b>0,60</b>
22	-	26,86	33,19	<b>23,58</b>	-	400,17	390,20	<b>-2,49</b>
23	-	33,09	34,98	<b>5,71</b>	-	386,78	392,44	<b>1,46</b>
24	-	29,88	34,34	<b>14,93</b>	-	370,65	367,07	<b>-0,97</b>
25	-	31,80	36,95	<b>16,20</b>	-	370,16	364,64	<b>-1,49</b>
26	-	31,48	32,16	<b>2,17</b>	-	372,64	361,63	<b>-2,95</b>
27	-	28,52	37,02	<b>29,79</b>	-	387,95	379,88	<b>-2,08</b>
28	-	25,05	33,05	<b>31,96</b>	-	384,20	377,41	<b>-1,77</b>
29	-	27,31	33,45	<b>22,49</b>	-	403,41	400,76	<b>-0,66</b>
30	-	29,53	24,72	<b>-16,29</b>	-	399,22	390,28	<b>-2,24</b>
31	-	32,24	34,95	<b>8,41</b>	-	391,10	391,67	<b>0,15</b>
32	-	26,12	33,57	<b>28,53</b>	-	396,88	379,45	<b>-4,39</b>
33	-	23,92	30,42	<b>27,16</b>	-	394,36	386,90	<b>-1,89</b>
34	-	27,86	32,84	<b>17,87</b>	-	394,76	390,71	<b>-1,03</b>
35	-	27,26	29,27	<b>7,39</b>	-	397,17	406,43	<b>2,33</b>
36	-	16,16	19,76	<b>22,31</b>	-	399,08	412,35	<b>3,32</b>
37	-	29,37	37,90	<b>29,08</b>	-	375,83	367,52	<b>-2,21</b>
<b>Média</b>				<b>34,30</b>				<b>-1,72</b>

<sup>U</sup>G – meios-irmãos de *E. grandis*; U – meios-irmãos de *E. urophylla*; UG – irmãos germanos de *E. grandis* x *E. urophylla*.

TABELA 77 Estimativa da heterose (h) das famílias de irmãos germanos entre *E. grandis* x *E. urophylla*, em relação ao valor genotípico das famílias de meios-irmãos de *E. grandis* ou *E. urophylla*, para a circunferência à altura do peito (CAP) e a densidade básica da madeira (DEN), aos dois anos de idade, na análise conjunta.

Família	CAP (cm)			h (%)	DEN (kg/m <sup>3</sup> )			h (%)
	G <sup>U</sup>	U <sup>U</sup>	UG <sup>U</sup>		G	U	UG	
16	15,68	-	36,36	<b>131,86</b>	421,35	-	390,77	<b>-7,26</b>
17	17,64	-	28,63	<b>62,30</b>	409,51	-	403,79	<b>-1,40</b>
18	20,64	-	33,81	<b>63,76</b>	405,74	-	399,47	<b>-1,55</b>
19	20,55	-	36,62	<b>78,19</b>	413,53	-	387,17	<b>-6,37</b>
20	24,05	-	32,62	<b>35,62</b>	408,07	-	416,10	<b>1,97</b>
21	-	30,94	36,21	<b>17,01</b>	-	396,86	400,79	<b>0,99</b>
22	-	29,51	34,46	<b>16,76</b>	-	411,51	410,91	<b>-0,15</b>
23	-	33,32	35,66	<b>7,01</b>	-	403,72	413,94	<b>2,53</b>
24	-	32,11	36,46	<b>13,52</b>	-	394,34	393,76	<b>-0,15</b>
25	-	33,91	36,61	<b>7,96</b>	-	389,72	390,58	<b>0,22</b>
26	-	30,17	32,98	<b>9,30</b>	-	393,86	383,48	<b>-2,64</b>
27	-	29,22	38,46	<b>31,62</b>	-	403,87	400,42	<b>-0,86</b>
28	-	28,22	33,01	<b>16,97</b>	-	398,21	393,83	<b>-1,10</b>
29	-	28,36	33,02	<b>16,45</b>	-	419,84	420,76	<b>0,22</b>
30	-	28,37	27,00	<b>-4,83</b>	-	413,97	410,12	<b>-0,93</b>
31	-	32,40	35,91	<b>10,82</b>	-	408,69	410,88	<b>0,54</b>
32	-	26,03	33,29	<b>27,88</b>	-	414,63	404,42	<b>-2,46</b>
33	-	26,60	31,31	<b>17,72</b>	-	405,91	405,95	<b>0,01</b>
34	-	27,07	33,48	<b>23,69</b>	-	413,38	407,64	<b>-1,39</b>
35	-	29,88	29,54	<b>-1,15</b>	-	401,21	420,74	<b>4,87</b>
36	-	20,44	20,32	<b>-0,61</b>	-	414,39	423,98	<b>2,32</b>
37	-	31,27	36,87	<b>17,90</b>	-	394,80	386,02	<b>-2,22</b>
<b>Média</b>				<b>27,26</b>				<b>-0,67</b>

<sup>U</sup> G – meios-irmãos de *E. grandis*; U – meios-irmãos de *E. urophylla*; UG – irmãos germanos de *E. grandis* x *E. urophylla*.

TABELA 78 Estimativas do ganho esperado com a seleção (GS) envolvendo a seleção recorrente recíproca para a circunferência à altura do peito (CAP) e a seleção recorrente intrapopulacional para a densidade básica da madeira (DEN), bem como da resposta esperada (RE) na outra característica, aos dois anos de idade, na análise conjunta.

Tipo de família	Característica	m	ms	ds	GS(%)	RE(%)
<i>E. grandis</i>	DEN	411,18	428,47	17,29	4,20	-
<i>E. grandis</i>	CAP	21,62	18,18	-3,43	-	-15,86
<i>E. urophylla</i>	DEN	405,06	420,07	15,00	3,70	-
<i>E. urophylla</i>	CAP	28,40	25,92	-2,48	-	-8,73
Urograndis	CAP	33,27	37,35	4,08	12,26	-
Urograndis	DEN	402,09	392,79	-9,30	-	-2,31

m – valor genotípico médio das famílias; ms – valor genotípico das 10 famílias selecionadas; ds – diferencial de seleção.

## 4 CONCLUSÕES

A circunferência à altura do peito apresentou alta heterose, indicando divergência genética entre as famílias oriundas de *E. grandis* e *E. urophylla*, e a presença de dominância no controle deste caráter. Nesta condição, a seleção recorrente recíproca é uma estratégia que deve ser utilizada nos programas de melhoramento, visando a obtenção de maior volume de madeira.

No caso da densidade básica da madeira, a heterose foi praticamente nula. Como ocorreu divergência entre os genitores para este caráter, infere-se que a interação alélica de dominância tem menor importância na sua expressão. A seleção recorrente intrapopulacional é uma alternativa mais promissora se a seleção for direcionada apenas para este caráter.

A correlação negativa observada entre a circunferência à altura do peito e a densidade básica da madeira poderá dificultar a seleção simultânea para ambos os caracteres, dependendo da faixa de densidade adotada pela indústria de celulose.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, T. F. de. Production and use of *Eucalyptus* hybrids for industrial purposes. In: HYBRID BREEDING AND GENETICS OF FOREST TREES, 2000, Noosa. **Proceedings...** Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 63-74.

BAUDOUIIM, L.; BARIL, C.; CLÉMENT-DEMAGE, A.; LEROY, T.; PAULIN, D. Recurrent selection of tropical tree crops. **Euphytica**, Wageningen, v. 96, n. 1, p. 101-114, 1997.

BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Woodbury, Minnesota: Stemma Press, 2002. 368 p.

BERTOLUCCI, F. de L. G.; REZENDE, G. D. S. P.; PANCHEL, R.; Produção e utilização de híbridos de eucalipto. **Silvicultura**, São Paulo, v. 26, n. 51, p. 12-16, 1995.

BOUVET, J. M.; VIGNERON, P. Variance structure in *Eucalyptus* hybrid populations. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 45, n. 2-3, p. 171-177, 1996.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. London: Longman Malaysia, 1996. 463 p.

GONÇALVES, F. M. A.; REZENDE, G. D. S. P.; BERTOLUCCI, F. de L. G. Progresso genético por meio da seleção de clones de eucalipto em plantios comerciais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 25, n. 3, p. 295-301, jul./set. 2001.

LIMA, J. T.; BREESE, M. C.; CAHALAN, C. M. Genotype-environment interaction in wood basic density of *Eucalyptus* clones. **Wood Science and Technology**, New York, v. 34, n. 3, p. 197-206, Oct. 2000.

NUNES, G. H. de S. **Interação genótipos x ambientes em eucalipto: implicações sobre a seleção e formas de atenuar seu efeito**. 2000. 155 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PAULA, R. C. de.; PIRES, I. E.; BORGES, R. de C. G.; CRUZ, C. D. Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 159-165, fev. 2002.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 38).

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; SANTOS, J. B. dos. Melhoramento de espécies autógamas. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S. de; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). **Recursos Genéticos e Melhoramento**: Plantas. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 201-230.

RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística**: no melhoramento de plantas perenes. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975 p.

REZENDE, G. D. S. P.; RESENDE, M. D. V. de. Dominance effects in *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* and hybrids. In: HYBRID BREEDING AND GENETICS OF FOREST TREES, 2000, Noosa. **Proceedings...** Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 93-100.

SAS INSTITUTE. SAS: user's guide statistical version 8.0. ed. Cary, NC, 2000.

SOUZA JÚNIOR, C. L. de. Comparisons of intra-interpopulation and modified recurrent selection methods. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 16, n. 1, p. 91-105, Mar. 1993.

SOUZA JÚNIOR, C. L. de. Melhoramento de espécies alógamas. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S. de; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento**: plantas. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 159-199.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; DICKEY, D. A. **Principles and procedures of statistics**: a biometrical approach. 3. ed. New York: Mc Graw-Hill Book Company, 1997. 666 p.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F.A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 104-114, 2001.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486 p.

VERRYN, S. D. *Eucalyptus* hybrid breeding in South Africa. In: HYBRID BREEDING AND GENETICS OF FOREST TREES, 2000, Noosa. **Proceedings...** Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 191-199.

## ANEXOS

ANEXO A		Página
ANEXO 1A	Rotinas utilizadas para a análise de variância individual e conjunta nos experimentos envolvendo cruzamentos de clones elite com <i>E. camaldulensis</i> e <i>E. globulus</i> .....	154
ANEXO 2A	Rotina utilizada para a análise dos dialelos parciais desbalanceados.....	155

**ANEXO B**

**Página**

ANEXO 1B	Rotinas utilizadas para a análise estatística individual e conjunta nos cruzamentos entre <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .....	167
----------	---	-----

## ANEXO A

### ANEXO 1A

#### Análise de variância individual

```
data CamalAr;
input trat tipo$ rep cap den;

/*a variavel tipo refere-se as familias oriundas dos cruzamentos (F) e as
testemunhas utilizadas no experimento (T)*/

datalines;
1      F      1      35.9  450  38.37
...
;
proc glm data= CamalAr;
class trat rep;
model cap den =rep trat/ss3;
run; quit;
proc glm data= CamalAr;
class trat tipo rep;
model cap den =rep tipo trat(tipo)/ss3;
lsmeans trat(tipo)/slice=tipo;
lsmeans tipo;
run; quit;
```

#### Análise de variância conjunta

```
data CamConj;
input trat tipo$ rep local cap den;
datalines;
1      F      1      1      35.9  450  38.37
...
;
proc glm data=CamConj;
class trat rep local;
model cap den =rep(local) local trat local*trat/ss3;
run; quit;
proc glm data=CamConj;
```

```

class trat tipo rep local;
model cap den =rep(local) local tipo trat(tipo) local*tipo local*trat(tipo)/ss3;
lsmeans trat(tipo)/slice=tipo;
lsmeans local*trat(tipo)/slice=local*tipo;
lsmeans tipo;
run; quit;

```

## ANEXO 2A

### Análise dialéctica

```

/* Analise de um modelo dialelico desbalanceado parcial */
/* (utilizando restrições paramétricas) */

```

```

options ps=2000 nodate nonumber;

```

```

proc iml;

```

```

/*Entrada de dados vem abaixo, na matriz ' Dados' . Note identificação dos
genitores do grupo 1 (1a coluna) e do grupo 2 (2a coluna). É
IMPRESINDIVEL que a identificação dos genitores sejam numéricas,
consecutivas, e que comecem do valor 1. Por exemplo, a identificação de 4 pais
de um grupo como "1, 2, 3, 4" é correta, mas "1, 2, 4, 5" não. A ordem de
entrada dos dados, contudo, pode ser qualquer. */

```

```

/*Este exemplo fictício contém 4 pais do grupo 1 e 3 do grupo 2. Os dados são
de natureza tão desbalanceada e desconecta, que há um único grau de liberdade
para a capacidade específica de combinação.*/

```

```

Dados={
4      1      2,
2      3      2.7,
2      1      2.9,
4      1      3.1,
3      2      3.4,
1      1      3.5,
1      1      4.1,
3      2      4.2,
4      1      4.2,
4      3      4.3,
2      3      4.9,
2      3      5,
3      3      6.2,

```

```

3      3      7.2
};

```

```

/*Se o usuario quiser atribuir valores para numero de repeticoes (reps), quadrado
medio e graus de liberdade do erro, entre com os valores abaixo e ATRIBUA
UM VALOR DIFERENTE DE -1 para a variavel "checagem" abaixo.*/

```

```

checagem=-1;
reps = 1;
QMErro = 1.5;
GLErro = 100; /*Estes numeros sao puramente arbitrarios*/
SQErro = QMErro*GLErro;

```

```

/*Abaixo, as linhas de ' Dadosao ordenadas conforme colunas 1 e 2*/
create DadosD from Dados;
append from Dados;
close DadosD;
sort DadosD out=DadosO by col1 col2;
use DadosO;
read all var _num_ into Dados;
close DadosO;

```

```

/*numero de pais dos grupos 1 e 2, respectivamente:*/
n=nrow(Dados);
nA=Dados[n,1];
nB=max(Dados[,2]);
print nB;
/*Abaixo, a matriz X eh construida (fatores principais)*/
X=J(n,1+nA+nB,0);

```

```

do i=1 to n;
  X[i,1]=1;
  X[i,1+Dados[i,1]]=1;
  X[i,1+nA+Dados[i,2]]=1;
end;

```

```

/*Matriz X: colunas da interacao:*/
a=Dados[1,1]; b=Dados[1,2];
ColsInt=1; /*contador do numero de colunas da CEC; */
/*(admite-se que haja pelo menos uma)*/
temp=J(n,1,0);
X=X||temp;
X[1,1+nA+nB+1]=1;

```

```

/*A matriz abaixo contem, na terceira coluna, o numero de observacoes de cada
cruzamento; os pais deste, por sua vez, estao identificados nas duas primeiras
colunas*/

```

```

IdentInt=allbll(0);

```

```

do i=1 to n;
  if Dados[i,1]^=a then
    do;
      temp=J(n,1,0);
      X=X||temp;
      ColsInt=ColsInt+1;
      a=Dados[i,1]; b=Dados[i,2];
      temp=J(1,3,0);
      temp[1,1]=a; temp[1,2]=b; temp[1,3]=0;
      IdentInt=IdentInt//temp;
    end;
  else if Dados[i,2]^=b then
    do;
      temp=J(n,1,0);
      X=X||temp;
      ColsInt=ColsInt+1;
      a=Dados[i,1]; b=Dados[i,2];
      temp=J(1,3,0);
      temp[1,1]=a; temp[1,2]=b; temp[1,3]=0;
      IdentInt=IdentInt//temp;
    end;
  X[i,1+nA+nB+ColsInt]=1;
  IdentInt[ColsInt,3]=IdentInt[ColsInt,3]+1;
end;

```

```

Parms=ncol(X); /*numero de parametros do modelo*/

```

```

/*Abaixo, a matriz de restricoes Cr eh criada*/

```

```

Cr=J(1+1+nA+nB,Parms,0);

```

```

do i=1 to nA;
  Cr[1,1+i]=sum(X[,1+i]);
end;
do i=1 to nB;
  Cr[2,1+nA+i]=sum(X[,1+nA+i]);
end;

```

```

do a=1 to nA;
  do b=1 to nB;
    do i=1 to ColsInt;
      if IdentInt[i,1]=a then
        do; if IdentInt[i,2]=b then
          do;
            Cr[2+a,1+nA+nB+i]=IdentInt[i,3];
          end; end;
        end;
      end;
    end;
  end;
end;
do b=1 to nB;
  do a=1 to nA;
    do i=1 to ColsInt;
      if IdentInt[i,1]=a then
        do; if IdentInt[i,2]=b then
          do;
            Cr[2+nA+b,1+nA+nB+i]=IdentInt[i,3];
          end; end;
        end;
      end;
    end;
  end;
end;
end;

```

/\*Em dialelos desbalanceados, eh possivel que a matriz de restrições, como construida acima, ainda apresente dependencia entre suas linhas. (No presente exemplo, a ultima linha de Cr eh dependente das anteriores). Assim, abaixo procura-se por tais linhas, se existirem, as quais são eliminadas de Cr.\*/

```

Zero = j(nrow(Cr),nrow(Cr),0);
XX = ((x`*x)//Cr)||Cr`//Zero); /*Esta eh a matriz X`X, aumentada com a matriz
de restrições*/
linhasXX=nrow(XX);

```

```

GLp=round(trace(ginv(x`*x)*(x`*x)));
dif1=parms-GLp; /*Esta diferenca mede o numero de linhas dependentes na
matriz X`X. Isto fornece o numero de restrições que sao realmente necessarias.*/

```

```

GLp2=round(trace(ginv(XX)*(XX)));
dif2 = nrow(XX)-GLp2; /*Esta segunda diferença deve ser igual a zero para que
nao haja restrições linearmente dependentes em Cr*/

```

```

if dif2>0 then
do;
    Cr2=Cr;
    rests=nrow(Cr)+1;
    dif3=dif2;
    do while(dif2>0);
        rests=rests-1;
        if rests=nrow(Cr2) then
            do;
                r=1:rests-1;
            end; else
            if rests^=1 then
                do;
                    r1=1:rests-1;
                    r2=rests+1:nrow(Cr2);
                    r=r1||r2;
                end; else
                r=2:nrow(Cr2);
                Cr3=Cr2[r,];
                Zero = j(nrow(Cr3),nrow(Cr3),0);
                XX = ((x` *x)//Cr3)||Cr3` //Zero);

                linhasXX=nrow(XX);

                GLp2=round(trace(ginv(XX)*(XX)));
                dif2 = nrow(XX)-GLp2;

                if dif2<dif3 then
                    do;
                        Cr2=Cr3;
                        dif3=dif2;
                    end;
                end;
                Cr=Cr2;
                Zero = j(nrow(Cr),nrow(Cr),0);
                XX = ((x` *x)//Cr)||Cr` //Zer);
    end;

/*Abaixo, estimativas do modelo sao geradas, bem como SQModelo*/
y=Dados[,3];
XY = (x` *y)//jnrow(Cr),1,0);
XX = inv(XX);

```

```

beta1=XX*(XY);
beta1=beta1[1:nrow(XX)-nrow(Cr),];
SQP = beta1` *(X` *Y);
if checagem=-1 then
do;
    reps=1;
    SQErro=y` *y-SQP;
    GLErro=nrow(X)-GLp;
    QMErro=SQErro/GLErro;
end;
XX = XX[1:nrow(XX)-nrow(Cr),1:nrow(XX)-nrow(Cr)];
erropadr=sqrt(vecdiag(XX)#QMErro#(1/reps));
t=J(parms,1,0);
do i=1 to parms;
    if erropadr[i,1]>0.00000001 then
        t[i,1]=beta1[i,1]/erropadr[i,1];
    else t[i,1]=.;
end;
probs=J(parms,1,0);
do i=1 to parms;
    if t[i,1]=. then
        probs[i,1]=.; else
        probs[i,1]=1-probf(t[i,1]*t[i,1],1,GLErro);
end;
result=beta1||erropadr||t||probs;

saidam = result[1:1,];
mattrib saidam colname=({ Valor Erro t Prob})
    label=' Medi Geral' ;

saidag1 = result[2:1+nA,];
r=1:nA; r=r` ; saidag1=r||saidag1;
mattrib saidag1 colname=({ Nivel Valor Erro t Prob})
    label=' Efeitc de CGC1' ;

saidag2 = result[nA+2:1+nA+nB,];
r=1:nB; r=r` ; saidag2=r||saidag2;
mattrib saidag2 colname=({ Nivel Valor Erro t Prob})
    label=' Efeitc de CGC2' ;
saidas = result[1+nA+nB+1:parms,];
r=IdentInt[1:2]; saidas=r||saidas;
mattrib saidas colname=({ A B Valor Erro t Prob})

```

```

label=' Efeitc de CEC' ;

/*Abaixo, a matriz X eh alterada, para comportar as restricoes*/
/*Primeiro, a matriz de restricoes eh escalonada:*/
lidi=1;
do j=1 to ncol(Cr);
  if lidi<nrow(Cr) then
  do;
    checa=-1;
    if lidi<nrow(Cr) then if Cr[lidi,j]=0 then
    do i=lidi+1 to nrow(Cr);
      if checa=-1 then if Cr[i,j]^=0 then
      do;
        checa=1;
        linlidi=i;
      end;
    end;
    if checa=1 then
    do;
      troca=Cr[linlidi,];
      Cr[linlidi,]=Cr[lidi,];
      Cr[lidi,]=troca;
    end;
    if Cr[lidi,j]^=0 then if lidi<nrow(Cr) then
    do i=lidi+1 to nrow(Cr);
      Cr[i,]=Cr[i,]-Cr[i,j]/Cr[lidi,j]*Cr[lidi,];
    end;
    if Cr[lidi,j]^=0 then lidi=lidi+1;
  end;
end;
i=nrow(Cr)+1;
if nrow(Cr)>1 then
do contl=1 to nrow(Cr)-1;
  i=i-1; checa=-1;
  do j=1 to ncol(Cr);
    if Cr[i,j]^=0 then if checa=-1 then
    do;
      checa=1;
      do k=1 to i-1;
        x1=Cr[k,];
        do l=j to ncol(Cr);
          Cr[k,l]=Cr[k,l]-x1/Cr[i,j]*Cr[i,l];
        end;
      end;
    end;
  end;
end;

```

```

end;
end;
end;
end;
do i=1 to nrow(Cr);
  checa=-1;
  do j=1 to ncol(Cr);
    if Cr[i,j]^=0 then if checa=-1 then
      do;
        checa=1;
        Cr[i,]=1/Cr[i,j]*Cr[i,];
      end;
    end;
  end;
end;
do i=1 to nrow(Cr);
  checa=-1;
  do j=1 to ncol(Cr);
    if checa=-1 then if Cr[i,j]>0.999 then if Cr[i,j]<1.001 then
      do;
        checa=1;
        do k=1 to nrow(X);
          if X[k,j]^=0 then
            do;
              x1=X[k,j];
              X[k,]=X[k,]-x1*Cr[i,];
              X[k,j]=0;
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;
end;
end;
/*E agora finalmente as colunas de X sao retiradas e alteradas*/
j=0;
do while(j<ncol(X));
  j=j+1;
  if sum(abs(X[,j]))<1 then
    do;
      if j=ncol(X) then
        do;
          r=1:j-1;

```

```

        end; else
        if j^=1 then
        do;
            r1=1:j-1;
            r2=j+1:ncol(X);
            r=r1||r2;
        end; else
        r=2:ncol(X);
        X=X[,r];
        j=j-1;
    end;
end;

/* Agora a ANAVA eh feita com base na X modificada...*/
XX=x` *x;
XY = x` *y;
XX = inv(XX);
beta1=XX*(XY);
SQP = beta1` *(X` *Y);
if checagem=-1 then
do;
    reps=1;
    SQErro=y` *:-SQP;
    GLErro=nrow(X)-GLp;
    QMErro=SQErro/GLErro;
end;

* modelo: y = m+e ;
X1 = X[,1];
Media = inv(X1` *x1)*(X1` *y);
SQM = Media` *(X1` *Y);

* modelo: y = m+gi+e ;
X2 = X[,1:1+nA-1];
XX = x2` *x2;
GL2=round(trace(ginv(x2` *x2)*(x2` *x2)));
XY = x2` *y;
beta2=inv(XX)*(XY);
SQ2 = beta2` *(X2` *Y);
SQ2c = SQ2-sqm;

* modelo: y=m+gj+e ;

```

```

r1=J(1,1,1);
r2=1+nA-1+1:1+nA-1+nB-1;
r=r1||r2;
X3 = X[,r];
XX = x3` *x3;
GL3=round(trace(ginv(x3` *x3)*(x3` *x3)));
XY = x3` *y;
beta3=inv(XX)*(XY);
SQ3 = beta3` *(X3` *Y);
SQ3c = SQ3-sqm;

* modelo: y = m+gi+gj+e ;
X4 = X[,1:1+nA-1+nB-1];
XX = x4` *x4;
GL4=round(trace(ginv(x4` *x4)*(x4` *x4)));
XY = x4` *y;
beta4=inv(XX)*(XY);
SQ4 = beta4` *(X4` *Y);
SQ4c = SQ4-sqm;
/*O modelo abaixo nao eh estritamente necessario, mas pode vir a ser util para
algun usuario*/
* modelo: y = m+s+e ;
r1=J(1,1,1);
r2=1+nA-1+nB-1+1:ncol(X);
r=r1||r2;
X5 = X[,r];
XX = x5` *x5;
GL5=round(trace(ginv(x5` *x5)*(x5` *x5)));
XY = x5` *y;
beta5=inv(XX)*(XY);
SQ5 = beta5` *(X5` *Y);
SQ5c = SQ5-sqm;

* modelo: y = m+gj+s+e ;
r1=J(1,1,1);
r2=1+nA-1+1:ncol(X);
r=r1||r2;
X6 = X[,r];
XX = x6` *x6;
GL6=round(trace(ginv(x6` *x6)*(x6` *x6)));
XY = x6` *y;
beta6=inv(XX)*(XY);

```

```

SQ6 = beta6` *(X6` *Y);
SQ6c = SQ6-sqm;

* modelo: y = m+gi+s+e ;
r1=1:1+nA-1;
r2=1+nA-1+nB-1+1:ncol(X);
r=r1||r2;
X7 = X[,r];
XX = x7` *x7;
GL7=round(trace(ginv(x7` *x7)*(x7` *x7)));
XY = x7` *y;
beta7=inv(XX)*(XY);
SQ7 = beta7` *(X7` *Y);
SQ7c = SQ7-sqm;

* SQ(gilm, gj, s) = SQ(m,gi,gj,s) - SQ(m, gj, s) ;
SQA = SQP - SQ6;
GLA = GLP - GL6;

* SQ(gjlm, gi, s) = SQ(m,gi,gj,s) - SQ(m, gi, s) ;
SQB = SQP - SQ7;
GLB = GLP - GL7;

* SQ(slm,gi,gj) = SQ(m,gi,gj,s) - SQ(m,gi,gj) ;
SQInt = SQP - SQ4;
GLInt = GLp - GL4;

* Quadro da ANAVA ;
Graus = GLA//GLB//GLInt//GLErro;
SQA = SQA*reps; SQB = SQB*reps; SQInt = SQInt*reps;
SomasQ = SQA//SQB//SQInt//SQErro;
Quadrads = SomasQ/Graus;
Efes = Quadrads#(1/Quadrads[4,1]);
probabs=1-probf(Efes,Graus,GLErro);
Efes[4,1] = .;
probabs[4,1] = .;
Anava = (Graus)||(SomasQ)||(Quadrads)||(Efes)||(probabs);
mattrib anava rowname={({CGC1 CGC2 CEC Erro})
      colname={({GL SQ QM F Prob})
      label='      ' ;

print, "Análise de Variância Tipo II (ao nível de parcelas)", Anava;

```

```
print, "Estimativas dos Efeitos", Saidam;  
print Saidag1;  
print Saidag2;  
print Saidas;  
quit;
```

## ANEXO B

### ANEXO 1B

#### Análise estatística individual

```
data urograar;
input rep bloco trat tipo$ cap den;
if TIPO=' G' then NEW1=1;else NEW1=0;
if TIPO=' U' then NEW2=1;else NEW2=0;
if TIPO=' UG' then NEW3=1;else NEW3=0;
if TIPO=' C' then NEW4=1;else NEW4=0;
if TIPO=' C' then TIPO2=' T' ; else TIPO2=' F' ;
if TIPO2=' F' then NEW5=1;else NEW5=0;
if TIPO2=' T' then NEW6=1;else NEW6=0;

/*a variavel tipo refere-se as familias de meios-irmaos de E. grandis (new1), as
familias de meios-irmaos de E. urophylla (new2), as familias de irmaos
germanos entre E. grandis x E. urophylla (new3) e as testemunhas utilizadas no
experimento (new4)*/

/*a variavel tipo2 refere-se a todas as familias avaliadas (new5) e as testemunhas
utilizadas no experimento (new6)*/

datalines;
...
;
proc mixed data=urograar covtest;
class rep bloco trat;
model cap= / ddfm=satterth;
random bloco(rep) rep trat;
estimate 'trat' intercept 1 | trat ...;
run; quit;

proc mixed data=urograar covtest;
class rep bloco trat;
model cap= / ddfm=satterth;
random bloco(rep) rep trat*new1 trat*new2 trat*new3 trat*new4 / solution;
estimate ' G' intercept 1 | trat*new1 ...;
estimate ' U' intercept 1 | trat*new2 ...;
```

```

estimate      ' UG' intercept      1      |      trat*new3 ...;
estimate      ' C'  intercept      1      |      trat*new4 ...;
estimate      ' Cvs U' |      trat*new1 ...;
estimate      ' G e lvs UG' |      trat*new1 ...;
run; quit;

```

```

proc mixed data=urograar covtest;
class rep bloco trat;
model cap= / ddfm=satterth;
random bloco(rep) rep trat*new5 trat*new6;
estimate      ' F'  intercept      1      |      trat*new5 ...;
estimate      ' T'  intercept      1      |      trat*new6 ...;
estimate      ' lvs T' |      trat*new5 ...;
run; quit;

```

### Análise estatística conjunta

```

data urograconj;
input rep bloco trat tipo$ local cap den;
if TIPO=' G' then NEW1=1;else NEW1=0;
if TIPO=' U' then NEW2=1;else NEW2=0;
if TIPO=' UG' then NEW3=1;else NEW3=0;
if TIPO=' C' then NEW4=1;else NEW4=0;
if TIPO=' C' then TIPO2=' T' ; else TIPO2=' F' ;
if TIPO2=' F' then NEW5=1;else NEW5=0;
if TIPO2=' T' then NEW6=1;else NEW6=0;
datalines;
...
;
proc mixed data=urograconj covtest;
class rep bloco trat local;
model cap= /;
random bloco(rep*local) rep(local) local trat trat*local;
estimate 'trat' intercept      1      |      trat ...;
run; quit;

```

```

proc mixed data=urograconj covtest;
class rep bloco trat local;
model cap= /;
random bloco(rep*local) rep(local) local trat*new1 trat*new2 trat*new3
trat*new4 trat*new1*local trat*new2*local trat*new3*local trat*new4*local /
solution;

```

```

estimate      ' G'  intercept      1      |      trat*new1 ..;
estimate      ' U'  intercept      1      |      trat*new2 ..;
estimate      ' UG' intercept      1      |      trat*new3 ..;
estimate      ' C'  intercept      1      |      trat*new4 ..;
estimate      ' Cvs U' |      trat*new1 ..;
estimate      ' G e lvs UG' |      trat*new1 ..;
run; quit;

```

```

proc mixed data=urograconj covtest;
class rep bloco trat local;
model cap= /;
random bloco(rep*local) rep(local) local trat*new5 trat*new6 trat*new5*local
trat*new6*local;
estimate      ' F'  intercept      1      |      trat*new5 ..;
estimate      ' T'  intercept      1      |      trat*new6 ..;
estimate      ' lvs T' |      trat*new5 ..;
run; quit;

```