



CRISTIANE APARECIDA FIORAVANTE REIS

**PROPOSTA DE ÍNDICE DE SELEÇÃO NO
MELHORAMENTO GENÉTICO
DO EUCALIPTO**

LAVRAS - MG

2010

CRISTIANE APARECIDA FIORAVANTE REIS

**PROPOSTA DE ÍNDICE DE SELEÇÃO NO MELHORAMENTO
GENÉTICO DO EUCALIPTO**

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

Orientadora
Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves

LAVRAS - MG

2010

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

Reis, Cristiane Aparecida Fioravante.

Proposta de índice de seleção no melhoramento genético do eucalipto / Cristiane Aparecida Fioravante Reis. – Lavras: UFLA, 2010.

89 p.: il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: Flávia Maria Avelar Gonçalves.

Bibliografia.

1. Teste de progênies. 2. Correlação. 3. Interação genótipos x ambientes. 4. Qualidade da madeira. 5. Melhoramento florestal. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.53

CRISTIANE APARECIDA FIORAVANTE REIS

**PROPOSTA DE ÍNDICE DE SELEÇÃO NO MELHORAMENTO
GENÉTICO DO EUCALIPTO**

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

APROVADA em 14 de outubro de 2010.

Dr. Antônio Marcos Rosado	CENIBRA S.A.
Dr. João Cândido de Souza	UFLA
Dr. Júpiter Israel Muro Abad	FIBRIA CELULOSE S.A.
Dr. Magno Antonio Patto Ramalho	UFLA

Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves
Orientadora

LAVRAS - MG

2010

A minha mãe, Lavinia.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua presença incessante em minha vida em todos os momentos...

Ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela oportunidade de cursar o doutorado.

À querida orientadora e amiga Flávia Maria Avelar Gonçalves, pelos ensinamentos, atenção, disponibilidade e carinho em todos os momentos!

Ao coorientador Magno Antonio Patto Ramalho, pela grande contribuição prestada a este trabalho e pelos exemplos diários de dedicação e amor à pesquisa em Genética e a Melhoramento de Plantas!

À Empresa Celulose Nipo-Brasileira S.A., Cenibra, pela concessão dos dados utilizados neste trabalho.

Aos membros da banca avaliadora, Antônio Marcos Rosado, João Cândido de Souza e Júpiter Israel Muro Abad, pelas valiosas sugestões para o aprimoramento deste trabalho.

Aos professores pelos ensinamentos transmitidos e aos funcionários do Departamento de Biologia pelo prazer do convívio.

Aos colegas do Núcleo de Estudos de Genética (GEN), pelo salutar convívio e aprendizado, em especial aos colegas de coordenação do Núcleo, no ano de 2010.

Aos amigos que tornaram meus dias mais alegres, o meu caminhar mais tranquilo e que, em diversos momentos me ofereceram um ombro amigo, uma palavra edificante: Carolina Botrel, Fernanda Peruchi, Flávia Fernandes, Flávia Mendes, Gleyce Dutra, Isabela Furtini, Jean Morel, Michelle Maia e Rosana Tonetti.

A todos do iluminado Centro Espírita Augusto Silva, pelas lições diárias de dedicação, amparo e conforto ao próximo!

A minha MÃE, Lavínia, exemplo de integridade, amor ao próximo e dedicação! Ao meu pai, Sebastião e aos meus irmãos Serginho e Luiz Wander. Aos sobrinhos, João Lucas, Luciana, Helena e Gabriela! À cunhada Beth, pela preocupação e carinho de sempre. Ao Seu Rick, fiel amigo de todas as horas!

E, agora, amigos, que meus agradecimentos se calem no papel, recolhendo-se ao grande silêncio da simpatia e da gratidão. Atração e reconhecimento, amor e júbilo moram na alma. Crede que guardarei semelhantes valores comigo, a vosso respeito, no santuário do coração.

André Luiz

MUITO OBRIGADA!

*A grandeza de uma profissão é talvez, antes de tudo, unir os homens: não há
senão um verdadeiro luxo e esse é o das relações humanas.*

Antoine de Saint-Exupéry

RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de comparar a eficiência de três índices de seleção na escolha de progênies de *Eucalyptus*, verificar as implicações da interação progênies x ambientes na seleção simultânea de caracteres de crescimento e tecnológicos da madeira e avaliar a eficiência do somatório das variáveis padronizadas, índice Z, na seleção de progênies via método dos quadrados mínimos (MQM) e da melhor predição linear não viesada (BLUP). Para isso, foi utilizado um teste de progênies de irmãos germanos obtido dos cruzamentos entre indivíduos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, instalados em dois ambientes no município de Ipaba, Minas Gerais. Aos três anos de idade, foram mensuradas as seguintes características: incremento médio anual de madeira (IMA), densidade básica da madeira (DB), rendimento depurado de celulose (RD) e álcali efetivo (AE). Na seleção das melhores progênies foram utilizados os índices Z, soma de postos e clássico. O índice Z foi também utilizado na avaliação da interação progênies x ambientes na seleção simultânea de caracteres de crescimento e tecnológicos da madeira e na avaliação da eficiência da seleção das melhores progênies pelos procedimentos MQM e BLUP. Na comparação dos três índices, há boa concordância na seleção de progênies. No entanto, o índice Z, quando aliado ao método gráfico, permite verificar em quais caracteres analisados uma determinada progênie tem alguma deficiência. A presença da interação progênies x ambientes para o índice Z é significativa, entretanto, não altera de forma expressiva a classificação das progênies nos ambientes. Não houve diferença entre as melhores progênies selecionadas pelo índice Z via MQM e BLUP.

Palavras-chave: Eucalipto. Teste de progênies. Índices de seleção. Qualidade da madeira.

ABSTRACT

This study was conducted to compare the efficiency of three selection indexes to choose from progenies of *Eucalyptus*, check the implications of the progenies x environments interaction in the simultaneous selection of growth and wood technology traits, and evaluate the efficiency of the sum of standardized variables, Z index, in the selection process via the least squares method (MQM) and best linear unbiased prediction (BLUP). For this, a full-sib progenies test of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla* were evaluated in two environments in Ipaba, MG. At three years old, the following traits were assessed: average annual increment of wood (IMA), wood density (DB), screened yield of pulp (RD) and effective alkali (AE). The Z, rank sum and classic indexes were used in the best progenies selection. The Z index was also used to evaluate the progenies x environments interaction in the simultaneous selection of growth and wood technology traits and to compare the efficiency of the best progenies selection by MQM and REML/BLUP procedures. Comparing the three indexes, there is good agreement in the selection process. However, the Z index when combined with the graphic method let verifying which traits analyzed in the progeny has a disability. The presence of progenies x environments interaction for index Z is significant, however, it does not change the classification of progenies in environments. There was no difference between the best progenies selected by the Z index by BLUP and MQM procedures.

Keywords: Eucalyptus. Progenies test. Selection indexes. Wood traits.

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	11
1	INTRODUÇÃO GERAL	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Importância do setor de celulose e papel no Brasil	14
2.2	Propriedades tecnológicas da madeira para produção de polpa celulósica	15
2.3	Espectroscopia no infravermelho próximo	17
2.4	Seleção para vários caracteres	19
2.5	Interação genótipos x ambientes	23
3	CONCLUSÕES	31
	REFERÊNCIAS	32
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	37
	ARTIGO 1 Implicações da interação progênies x ambientes na seleção simultânea de vários caracteres no melhoramento do <i>Eucalyptus</i>	37
	ARTIGO 2 Eficiência do índice somatório das variáveis padronizadas na seleção de progênies de eucalipto via MQM e BLUP	62

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO GERAL

Atualmente, o aumento da produtividade florestal, aliado à melhoria das propriedades tecnológicas da madeira, têm sido as principais demandas dos programas de melhoramento do gênero *Eucalyptus* para a produção de celulose de fibra curta no Brasil (FONSECA et al., 2010). Contudo, um problema encontrado é a dificuldade de caracterização tecnológica da madeira em larga escala dos indivíduos utilizados, devido ao alto custo e tempo requerido em análises laboratoriais tradicionalmente utilizadas. Para obter essa informação, tem sido empregada a técnica de Espectroscopia no Infravermelho Próximo (*Near Infrared Spectroscopy* - NIR) (PASQUINI, 2003). Este método não é novo, mas sua aplicação na caracterização tecnológica da madeira é recente no Brasil. Algumas vantagens de seu uso são pequena quantidade de amostra utilizada, método não destrutivo (para análises por baguetas ou por serragem), análise de vários constituintes numa única amostra ao mesmo tempo, rápida e de baixo custo.

Com o emprego dessa técnica são obtidos dados de caracteres de interesse tecnológico e no campo dados de caracteres de crescimento. Como associar todas essas informações na escolha dos melhores progênies/clones tem sido um desafio, poder-se-ia selecionar a progênie/clone por índices de seleção (BERNARDO, 2002; CRUZ; CARNEIRO, 2006). A proposta do primeiro índice foi realizada na década de trinta do século passado, por Hazel (1943) e Smith (1936). Desde então, inúmeras outras alternativas foram implementadas. Inclusive, algumas delas foram avaliadas no setor florestal (MARTINS et al., 2003; MARTINS; MARTINS; PINHO, 2006; PAULA et al., 2002).

Todas essas metodologias apresentam vantagens e desvantagens. O que se deseja é um procedimento que seja de fácil análise e interpretação. A proposta do índice que utiliza o somatório das variáveis padronizadas, índice Z, associado à visualização gráfica se enquadra no almejado (MENDES et al., 2009). No entanto, esse procedimento ainda não foi avaliado no setor florestal.

Deve-se também salientar que, no Brasil, trabalhos a respeito da interação genótipos x ambientes no gênero *Eucalyptus* são frequentes para caracteres de crescimento (MORI; KAGEYAMA; FERREIRA, 1988; NUNES et al., 2002; PEREIRA et al., 1997; REIS, 2009; SANTOS; MORI; MORAES, 1990), mas escassos para propriedades tecnológicas da madeira (LIMA, 2009). Além disso, o efeito dessa interação no resultado da seleção simultânea para vários caracteres ainda é muito pouco explorado.

Outro ponto a ser ressaltado é com relação à eficiência dos procedimentos empregados na seleção das melhores progênies. Um procedimento já por muito tempo utilizado na análise de experimentos dos programas de melhoramento genético é o Método dos Quadrados Mínimos (MQM). Entretanto, uma crítica a esse método é a limitação em lidar com dados desbalanceados, como é o caso dos experimentos com o gênero *Eucalyptus* (PIEPHO et al., 2008; RESENDE, 2002). Assim, o procedimento de Máxima Verossimilhança Restrita e Melhor Predição Linear não Viesada (*Restricted Maximum Likelihood/Best Linear Unbiased Prediction* - REML/BLUP) passou a ser mais indicado no melhoramento florestal, sendo sua eficiência considerada como igual ou superior ao MQM (RESENDE, 2002). Em alguns trabalhos foram feitas as comparações entre os dois procedimentos no que se refere à estimação dos parâmetros genéticos (ROCHA et al., 2006a, 2006b). Entretanto, o principal alvo dos programas de melhoramento, ou seja, as melhores progênies selecionadas e/ou os ganhos obtidos por cada procedimento têm sido pouco comparados.

Diante do exposto, foi realizado o presente trabalho com os seguintes objetivos: i) comparar os índices de seleção: clássico (HAZEL, 1943; SMITH, 1936), soma de postos (MULAMBA; MOCK, 1978) e somatório das variáveis padronizadas, índice *Z* (MENDES et al., 2009), envolvendo caracteres de crescimento e tecnológicos da madeira; ii) verificar as implicações da interação progênies x ambientes na seleção simultânea de vários caracteres e iii) comparar a eficiência do índice *Z* na seleção de progênies de *Eucalyptus* via MQM e BLUP.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância do setor de celulose e papel no Brasil

O setor de celulose e papel é um dos mais atuantes segmentos industriais do agronegócio florestal no Brasil. Em 2008, o país subiu do sexto para o quarto lugar entre os produtores mundiais de celulose, com 12,7 milhões de toneladas produzidas e passou do 12º para 11º lugar entre os principais fabricantes de papel do mundo, com a marca de 9,4 milhões de toneladas. No que se refere à celulose de fibra curta, ou seja, oriunda do gênero *Eucalyptus*, o país é o maior produtor (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL - BRACELPA, 2010).

Neste contexto, a principal característica do setor de celulose e papel é a total sintonia com as tendências mundiais, com escala de produção, equipamentos de última geração, produtos “world class” e permanente atualização tecnológica e controle ambiental. Além disso, é considerado indutor de desenvolvimento sócio-econômico, com a fixação da mão de obra no campo e da desconcentração industrial, uma vez que os projetos florestais-industriais são distantes dos centros urbanos (IMPORTÂNCIA..., 2001).

É importante mencionar que, em 2008, o país registrou aumento de 5% no consumo per capita de papel, que passou de 44,0 para 46,2 kg por habitante/ano. Porém, esse valor ainda é muito distante dos níveis observados nos países desenvolvidos ou, mesmo, em países em estágio de desenvolvimento. A média mundial de consumo per capita de papel, atualmente, é de 57,8 kg por habitante/ano. O baixo consumo per capita de papel no Brasil, quando comparado com a média mundial, evidencia um grande potencial de mercado. Assim, depreende-se que o país irá demandar grande aumento na capacidade produtiva, mesmo com melhorias modestas de desenvolvimento na economia

nacional, para atender a uma população de 183 milhões de habitantes (BRACELPA, 2010; GOMIDE; COLODETTE, 2007).

O saldo da balança comercial para o setor é de, aproximadamente, 4,0 bilhões de dólares, com exportações em torno de 5,5 bilhões, grande parte desse montante advindo de plantios de *Eucalyptus* (BRACELPA, 2010). Nesse contexto, o Brasil se destaca pelos elevados níveis de produção de madeira de *Eucalyptus* em intervalo de tempo relativamente curto, geralmente entre seis e sete anos. Entre as razões para esses altos níveis de produtividade estão condições favoráveis de clima e solo, setor privado organizado, mão de obra qualificada e investimentos nos setores de pesquisa e desenvolvimento (BRACELPA, 2010). Vale ressaltar que, dentre os avanços na melhoria da produtividade de espécies vegetais, 50% tenha ocorrido em função do melhoramento genético (VENCOVSKY; RAMALHO, 2006).

Isso pode ser confirmado para o gênero *Eucalyptus* ao se analisar que a produtividade média de volume de madeira passou de 24 m³/ha/ano, em 1980, para 41 m³/ha/ano, em 2008, apresentando um incremento de 71% em menos de 30 anos. Estima-se que a média possa alcançar os 70 m³/ha/ano (BRACELPA, 2010) e que grande parte desse provável incremento aconteça graças aos programas de melhoramento genético do gênero.

2.2 Propriedades tecnológicas da madeira para produção de polpa celulósica

Nos programas de melhoramento do gênero *Eucalyptus*, as características de crescimento, forma, adaptabilidade e resistência à pragas e doenças sempre estiveram em evidência devido à facilidade de seleção para tais características e também devido ao interesse das empresas florestais centrar-se, na maioria dos casos, unicamente no incremento em volume de madeira. Vale

destacar que o sucesso obtido para esse caráter foi enorme (ASSIS; MAFIA, 2007; SILVA; BARRICHELLO, 2006). Entretanto, mais recentemente, os melhoristas foram estimulados a envolverem outros caracteres na seleção, sobretudo aqueles relacionados com as propriedades tecnológicas da madeira.

Mais especificamente, no caso do setor de celulose e papel, na avaliação das propriedades tecnológicas da madeira, uma das características mais importantes é a densidade básica, que pode ser definida como sendo a relação entre a massa de madeira seca em estufa e o seu volume obtido acima do ponto de saturação das fibras. Assim, pode-se inferir que a densidade é resultante das características anatômicas e da composição química da madeira (SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1989). Desse modo, é uma característica que, como matéria-prima para a produção de polpa celulósica, afeta os custos de corte e transporte da madeira (dado o mesmo volume transportado conter mais ou menos fibra) afetando igualmente a capacidade do digestor na fábrica, pois, com madeira mais densa, o mesmo volume de digestor passa a processar maior quantidade de fibra por unidade de tempo (ASSIS, 1996; BORRALHO; ALMEIDA; POTTS, 2007).

O rendimento em celulose é outro importante atributo para o setor de celulose e papel e representa a porcentagem de polpa extraída da madeira dado um método de cozimento (BORRALHO; ALMEIDA; POTTS, 2007). Esse atributo depende do teor de celulose, da densidade básica, dos teores de extrativos e de lignina presentes na madeira. Deve-se salientar que cada constituinte da madeira tem uma diferente capacidade em resistir à degradação química, influenciando, desse modo, a variação residual de celulose por volume de madeira (SO et al., 2004). Tanto a lignina quanto os extrativos necessitam da utilização de reagentes químicos, ou seja, de álcali efetivo para a sua extração e, quanto mais alto forem os seus teores, mais reagente será gasto. Como consequência, mais celulose será destruída em razão do forte ataque químico,

reduzindo, dessa forma, o rendimento em celulose (ASSIS, 1996). Deve-se destacar que a madeira com elevado rendimento em polpa tem dois méritos industriais. Primeiro, passa a ser necessário adquirir, transportar e processar menos metros cúbicos de madeira para produzir a mesma quantidade de polpa (com óbvias reduções nos custos da matéria-prima) e, em seguida, são consumidos e, conseqüentemente, tem que se recuperar menos reagentes por unidade de tempo, o que leva a um aumento na capacidade de produção da fábrica (BORRALHO; ALMEIDA; POTTS, 2007).

Para avaliação da qualidade da madeira podem ser empregados métodos laboratoriais e métodos preditos. Dentre os métodos preditos uma direção tem sido no emprego da espectroscopia usando o infravermelho próximo.

2.3 Espectroscopia no infravermelho próximo

Para a caracterização da madeira e da polpa celulósica, visando à melhoria de qualidade da matéria-prima e do produto final, são necessárias análises de rotina, que devem ser rápidas, precisas e de baixo custo. Os métodos laboratoriais disponíveis atualmente são demorados, caros e tediosos, o que os torna inviáveis para análises de grande número de amostras (SANTOS; GOMIDE; SOUSA, 2009).

Neste contexto, uma técnica que vem apresentando ótimo desempenho e viabilidade para a realização de análises da madeira e polpa celulósica é a Espectroscopia no Infravermelho Próximo (*Near Infrared Spectroscopy* – NIR). Essa técnica tem sido utilizada pelas empresas florestais em seus testes de progênies em torno dos três anos de idade, em que são selecionados os melhores indivíduos com base em caracteres de crescimento e das propriedades tecnológicas da madeira e, posteriormente, na seleção dos melhores clones nos testes clonais desses indivíduos, aos seis ou sete anos.

A Espectroscopia no Infravermelho Próximo consiste na medição da intensidade da absorção/reflexão de luz infravermelha próxima (em uma faixa de 800 a 2500 nm), em relação ao comprimento de onda, realizada pela amostra. Um espectro de absorção/reflexão pode ser determinado com um espectrofotômetro (Figura 1), que consiste de uma fonte luminosa (1), um monocromador que contém o seletor de comprimentos de onda tipo prisma (o comprimento de onda emitido pelo monocromador pode ser alterado por rotação do prisma) (2), um receptáculo para amostras (3), um fotodetector (4) e uma impressora ou computador (5). O gráfico de absorbância (A) *versus* o comprimento de onda (λ) gerado pelo aparelho é denominado de espectro (TAIZ; ZEIGER, 2004).

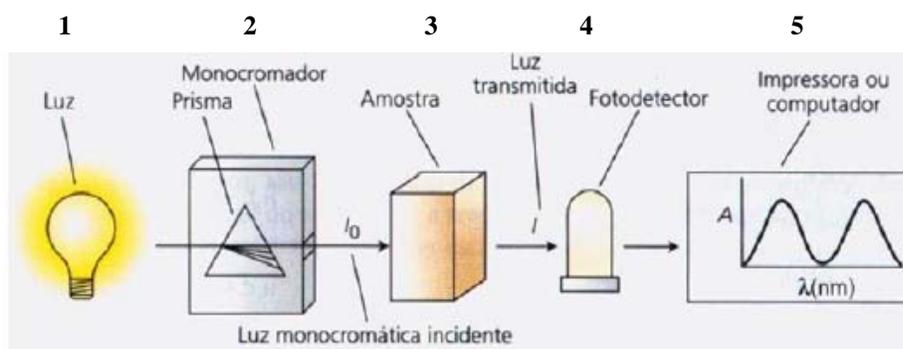


Figura 1 Diagrama esquemático de um espectrofotômetro dispersivo
Fonte Taiz e Zeiger (2004)

Há um amplo número de técnicas de espectroscopia que podem mensurar os compostos químicos de um material. No entanto, os principais motivos para a adoção da espectroscopia NIR são: rapidez, uma vez que, durante a análise, é gasto um minuto ou menos por amostra; método não destrutivo (para análises por baguetas ou por serragem), ou seja, não é necessário o abate das árvores; não evasivo; raio com alto poder de radiação; aplicação próxima da

universal, ou seja, em qualquer molécula contendo ligações C-H, N-H, S-H ou O-H e exige preparação mínima da amostra (PASQUINI, 2003).

Mas vale ressaltar que a geração de predições dos componentes químicos da madeira depende da calibração de modelos a partir dos espectros gerados pelo NIR. Portanto, a informação química obtida para o espectro NIR é limitada. Atualmente, são desenvolvidos modelos multivariados de calibração a partir do NIR, ou seja, a análise multivariada é uma das ferramentas estatísticas utilizadas para se encontrar relações entre um conjunto de espectros, que é barato e fácil de obter - espectro NIR e um outro conjunto que é caro e/ou trabalhoso de se obter, que é formado pelos dados químicos da madeira obtidos por análises tradicionais (SO et al., 2004).

Nos últimos anos, trabalhos com várias espécies de *Eucalyptus* têm focado o desenvolvimento de modelos de infravermelho próximo para quantificar e caracterizar os componentes químicos da madeira, como celulose, teor de lignina e também para as propriedades da polpa (SEFARA; CONRADIE; TURNER, 2000). Diante do exposto e levando em consideração a crescente demanda pela incorporação de caracteres tecnológicos de qualidade da madeira no processo industrial de celulose e papel, é fácil prever a enorme contribuição e as facilidades que o NIR pode também oferecer a um programa de melhoramento genético de *Eucalyptus*.

2.4 Seleção para vários caracteres

Para se obter um clone geneticamente superior é necessário que o mesmo reúna, simultaneamente, alelos favoráveis para todos os caracteres que lhe proporcionem vantagens em relação aos existentes, tanto no que se refere às exigências do setor florestal quanto àquelas da indústria e do consumidor final. Assim, há a necessidade de se realizar a seleção simultânea de um conjunto de

caracteres de importância. Para isso há três alternativas: (i) seleção em tandem, (ii) níveis independentes de eliminação e (iii) índice de seleção (BERNARDO, 2002; FALCONER; MACKAY, 1996; RESENDE, 2002).

No sistema em tandem, selecionam-se, por algumas gerações, para determinado caráter até atingir o nível desejado e, em gerações seguintes, para outros caracteres de interesse, dentre os descendentes dos indivíduos selecionados anteriormente (RESENDE, 2002). Se dois caracteres são correlacionados de maneira favorável, então, a seleção para o primeiro caráter conduz ao melhoramento do segundo. Em caso contrário, a seleção para um caráter poderia causar resposta desfavorável no segundo caráter e a seleção subsequente para o segundo caráter poderia desfazer alguns dos progressos já alcançados para o primeiro (BERNARDO, 2002). No passado, essa alternativa, embora inconscientemente, foi utilizada no setor florestal, pois a seleção concentrou-se em volume de madeira e só depois se procurou selecionar para caracteres de qualidade da madeira.

O uso dos níveis independentes de eliminação requer o estabelecimento de um nível mínimo de desempenho para cada caráter considerado. Assim, somente os indivíduos que apresentam um padrão mínimo para cada caráter são selecionados. É importante destacar que os níveis de eliminação entre caracteres não necessitam apresentar a mesma intensidade de seleção. É esperado que a seleção com base em níveis independentes de eliminação seja mais efetiva do que a seleção em tandem. Do ponto de vista prático, uma limitação dos níveis independentes de eliminação é que o procedimento, se estritamente aplicado, não conduzirá à seleção de um indivíduo que está abaixo do padrão para um único caráter, mas que é excepcional para outros (BERNARDO, 2002). Esse tipo de estratégia também tem sido consciente ou inconscientemente empregado no setor florestal, pois, entre os clones mais produtivos são escolhidos, para

propagação comercial, aqueles que atinjam uma densidade básica mínima e/ou lignina desejável.

A terceira estratégia, denominada de índice de seleção, considera, simultaneamente, todos os caracteres de interesse, gerando uma variável adicional que resulta da ponderação dos caracteres por meio de coeficientes pré-estabelecidos (RESENDE, 2002). Segundo Cruz e Carneiro (2006), muitos índices de seleção estão disponíveis na literatura. Entre eles, podem-se citar: índice clássico (HAZEL, 1943; SMITH, 1936), índice de ganhos desejados (PESEK; BAKER, 1969), base (WILLIAMS, 1962), soma de postos ou *ranks* (MULAMBA; MOCK, 1978), índice livre de pesos e parâmetros (ELSTON, 1963) e índice multiplicativo (SUBAND; COMPTON; EMPIG, 1973). Há relatos do uso dos mesmos no setor florestal em diversos trabalhos (MARTINS et al., 2003, MARTINS; MARTINS; PINHO, 2006; PAULA et al., 2002).

Em um desses trabalhos foi realizada a comparação dos métodos de seleção direta e indireta com os índices de seleção clássico e de ganhos desejados. Para tanto, foram avaliados seis experimentos de progênies de meios-irmãos de *Eucalyptus grandis*, aos quatro anos. As características avaliadas foram: circunferência à altura do peito (CAP), altura (ALT), incidência de ferrugem (FER), incidência de cancro (CAN) e número de árvores normais por parcela (NAR). De acordo com os resultados, as seleções direta e indireta não proporcionaram resultados conjuntos satisfatórios em ganhos nas cinco características avaliadas, uma vez que o interesse era obter acréscimo nas características CAP, ALT e NAR e decréscimo em FER e CAN. Essa combinação de resultados não foi atingida em nenhum dos experimentos avaliados, considerando-se a seleção em qualquer uma das características referidas. Em contrapartida, os índices de seleção foram vantajosos, uma vez que possibilitaram, para todos os experimentos avaliados, ganhos nos sentidos desejados (MARTINS et al., 2003).

A eficiência de diferentes índices de seleção foi avaliada para essas mesmas características em outra oportunidade. Neste caso foi utilizado um teste de progênies de meios-irmãos de *Eucalyptus grandis* aos 48 meses, em Governador Valadares, MG. Foi constatado que as seleções direta e indireta não foram eficientes no sentido de proporcionar uma distribuição de ganhos equilibrada de acordo com os propósitos do trabalho que eram acréscimo para CAP, ALT e NAR e decréscimo para FER e CAN. Adicionalmente, o uso dos índices clássico, de ganhos desejados e base também não se mostrou eficiente. Por outro lado, o índice livre de pesos e parâmetros apresentou respostas de acordo com os propósitos do trabalho (MARTINS; MARTINS; PINHO, 2006).

Um índice que ainda não foi empregado no setor florestal é o que utiliza a padronização das variáveis associada à visualização gráfica, também denominado “bola cheia, bola murcha”, que possibilita visualizar em que caracteres a progênie, e/ou indivíduo, tem fenótipos favoráveis e em quais ela é deficiente (MENDES et al., 2009). Pelo método, há rápida e fácil identificação dos indivíduos de melhor performance. Para isso, é construído um sistema gráfico em que cada variável ocupa um dos semieixos. Assim, com pelo menos três variáveis, pode-se ter uma perfeita visualização do desempenho do indivíduo com relação a todas essas características, simultaneamente. A expressão “bola cheia” é utilizada para o indivíduo que tem valores favoráveis para todas as características e a expressão “bola murcha”, quando o indivíduo é deficiente em alguma ou, até mesmo, em todas as características (MARQUES JÚNIOR; FERREIRA; RAMALHO, 1996). Nesse método, como originalmente proposto, a seleção era apenas visual. No entanto, Nunes, Ramalho e Abreu (2005) propuseram uma alternativa para outra situação do emprego desse índice, em que a seleção deixa de ser subjetiva e se fundamenta em estimativas de parâmetros estatísticos.

Pelo índice Z , os dados de caracteres de crescimento e tecnológicos da madeira do teste de progênies são padronizados, visando torná-los diretamente comparáveis. Assim, a variável Z_{ij} é estimada pelo seguinte estimador:

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - m_{.j}}{s_{.j}},$$

em que Z_{ij} é o valor da variável padronizada correspondente ao indivíduo i na repetição j ; x_{ij} é o valor observado da característica considerada do indivíduo i na repetição j ; $m_{.j}$ é a média de todos os indivíduos na repetição j e $s_{.j}$ é o desvio padrão fenotípico da média na repetição j . Como a variável Z pode assumir tanto valores negativos como positivos, adiciona-se uma constante, de modo a tornar os valores positivos. Nesse caso, a média populacional, em vez de zero, assume o valor da constante.

Após padronização das variáveis, é obtido o somatório de Z por indivíduo, o qual é submetido uma análise de variância. Para melhor visualização é utilizado o método gráfico, pois o mesmo permite rápida e fácil identificação das progênies de melhor performance.

2.5 Interação genótipos x ambientes

O caráter é o conjunto de informações biológicas que identifica o indivíduo e as diferentes manifestações de um dado caráter definem o fenótipo (RAMALHO; SANTOS; PINTO, 2008). O fenótipo, por sua vez, é influenciado pelo genótipo, que é a constituição genética de um indivíduo e pelo ambiente, que se refere a todos os demais fatores que afetam o fenótipo, exceto aqueles devido às causas genéticas (FALCONER; MACKAY, 1996). Nesse sentido, o ambiente pode ser um local, ano, sistema de manejo, época de plantio ou, até mesmo, a ação de todos esses fatores simultaneamente.

Quando vários genótipos são comparados em vários ambientes, surge um terceiro componente do fenótipo, isto é, a interação genótipos x ambientes. Essa interação corresponde ao comportamento não coincidente dos genótipos nos vários ambientes (RAMALHO; SANTOS; PINTO, 2008). Em termos genéticos, a interação ocorre quando a contribuição dos genes que controlam o caráter ou o nível de expressão dos mesmos difere entre os ambientes. Isso ocorre porque a expressão dos genes é influenciada e ou regulada pelo ambiente (KANG, 1998).

A resposta relativa dos genótipos em relação às variações dos ambientes pode ser dividida em dois tipos: previsível e imprevisível (ALLARD; BRADSHAW, 1964). O primeiro tipo inclui todos os fatores permanentes do ambiente, como as características gerais do clima e tipo de solo, além das características do ambiente que variam de uma maneira sistemática, como o comprimento do dia. Inclui, ainda, os aspectos do ambiente que são determinados pelo homem, como data de plantio, densidade, método de preparo do solo e colheita, entre outros (CRUZ; CARNEIRO, 2006). As variações previsíveis podem ser avaliadas individualmente ou de forma conjunta em relação à sua interação com os genótipos (FEHR, 1987).

O segundo tipo inclui as flutuações variáveis do ambiente, como quantidade e distribuição de chuvas, variações na temperatura, dentre outras (CRUZ; CARNEIRO, 2006). Essas flutuações são as que mais contribuem para as interações dos genótipos x anos ou, mesmo, genótipos x locais, bem como para interações de ordens maiores, como a interação tripla genótipos x locais x anos (FEHR, 1987).

Para a detecção da interação genótipos x ambientes, é preciso que diferentes genótipos sejam avaliados em dois ou mais ambientes contrastantes. Vale ressaltar que não basta apenas detectar a presença da interação; deve-se também considerar a sua natureza, que pode ser simples ou complexa. No

primeiro caso, a classificação dos genótipos não se altera nos ambientes nos quais os mesmos são avaliados. No segundo, há falta ou reduzida correlação genética entre os comportamentos dos genótipos nos ambientes. Geralmente, quando essa correlação é baixa, ocorre mudança na classificação dos genótipos, isto é, há genótipos que apresentam desempenho superior em alguns ambientes, mas não em outros (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

A interação genótipos x ambientes tem importante papel no contexto do melhoramento genético vegetal, pois implica na identificação de cultivares específicas aos ambientes de cultivo ou, então, que possuam ampla adaptação e com maior estabilidade possível. Desse modo, sabendo que a seleção, na maioria das vezes, é realizada com base no valor fenotípico e que a interação o afeta diretamente, percebe-se que a mesma tem reflexo imediato no trabalho dos melhoristas e, conseqüentemente, na recomendação de genótipos superiores, sendo, portanto, necessária a sua detecção.

É importante destacar que o gênero *Eucalyptus* é cultivado no Brasil em diferentes condições ambientais, que envolvem variações de altitude, de latitude, de relevo, das condições físicas e de fertilidade do solo e também das condições climáticas e de manejo. Nessa situação, é esperado que a interação dos genótipos x ambientes seja expressiva. Por essa razão, em inúmeros trabalhos ela foi estimada (COSTA, 2008; LIMA, 2009; MORI; KAGEYAMA; FERREIRA, 1988; NUNES et al., 2002; PEREIRA et al., 1997; PINTO JÚNIOR, 2004; REIS, 2009; SANTOS; MORI; MORAES, 1990).

Em um desses trabalhos, progênies de meios-irmãos de *Eucalyptus camaldulensis* foram avaliadas na região noroeste do estado de Minas Gerais. A presença de interação progênies x locais para a característica diâmetro à altura do peito foi observada nas quatro diferentes idades avaliadas: 17, 31, 43 e 80 meses. No entanto, as relações entre as estimativas da variância da interação progênies x locais e variância genética entre progênies foram inferiores a 17%,

em todas as idades. Vale ressaltar que a contribuição da interação reduziu com a diminuição do tempo entre a avaliação e o momento do abate. Neste estudo, a participação da parte simples da interação foi sempre superior a 92% (PEREIRA et al., 1997).

Em estudos conduzidos no estado do Espírito Santo foi observada significância da interação clones x locais para incremento médio anual (IMA) de madeira em clones de *Eucalyptus*. A razão entre as estimativas da variância da interação clones x locais ($\hat{\sigma}_{cxl}^2$) e variância genética entre os clones ($\hat{\sigma}_{g_c}^2$) diferiu entre as idades de avaliação. Aos três anos, a $\hat{\sigma}_{cxl}^2 / \hat{\sigma}_{g_c}^2$ foi de 60,70% e, aos seis anos, reduziu para 33,30%. Constatou-se também que as interações complexa e simples apresentaram participação semelhante na estimativa da $\hat{\sigma}_{cxl}^2$ (NUNES et al., 2002).

Um teste de progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus grandis* implantado em três locais no estado de São Paulo, aos 65 meses de idade, foi avaliado por Pinto Júnior (2004). Este autor observou que as correlações genéticas do desempenho médio das progênies para diâmetro à altura do peito nos diferentes locais, dois a dois, foram de elevada magnitude (em média 0,72), o que indicou que a interação progênies x locais foi baixa.

Avaliações de progênies de irmãos germanos entre indivíduos *Eucalyptus grandis* e entre *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* foram realizadas em três locais da empresa Veracel S.A., situados na região de Eunápolis, Bahia (REIS, 2009). Constatou-se ausência de interação progênies x locais para a característica volume, aos dois anos de idade. A estimativa da variância da interação progênies x locais, como era esperado, foi de baixa magnitude, correspondendo a apenas 14% da variância genética entre progênies. Corroborando esses resultados, as estimativas das correlações genéticas entre o desempenho das progênies nos vários locais, dois a dois, foram de elevada

magnitude, variando de 0,83 a 1,00. Tal fato indica boa associação entre o desempenho das progênies nos diferentes locais e comprova a ausência de interação progênies x locais.

Ainda neste trabalho foi verificada a correspondência no desempenho entre árvores selecionadas no teste de progênies e seus respectivos clones no teste clonal, ambos aos dois anos de idade. Constatou-se que a estimativa da correlação genética das árvores selecionadas no teste de progênies e dos seus respectivos clones foi baixa, tendo apenas 7% da variação genética entre os clones sido explicados pela variação entre as árvores matrizes. Além disso, a estimativa da coincidência entre as melhores árvores e os melhores clones, na média de diferentes intensidades de seleção, foi de 27%. Esses resultados evidenciam que a seleção das árvores nos testes de progênies não deve ser muito drástica, no intuito de incrementar a chance de identificar os clones realmente superiores.

A exceção da interação genótipos x anos encontrada por Reis (2009), que é um dado preocupante aos melhoristas, os relatos demonstram que as interações genótipos x locais para caracteres de crescimento do gênero *Eucalyptus*, detectadas no Brasil, têm sido de pequena magnitude e com predominância da parte simples (COSTA, 2008; LIMA, 2009; MORI; KAGEYAMA; FERREIRA, 1988; NUNES et al., 2002; PEREIRA et al., 1997; PINTO JÚNIOR, 2004; REIS, 2009; SANTOS; MORI; MORAES, 1990).

Neste contexto, é importante mencionar que, embora a interação genótipos x ambientes tenha sido amplamente estudada para caracteres de crescimento, no que concerne a caracteres ligados às propriedades tecnológicas da madeira os estudos têm sido escassos. Isso se deve, provavelmente, ao fato de o melhoramento para incremento em volume de madeira ter sido a principal prioridade durante muito tempo. Mais recentemente é que propriedades

tecnológicas da madeira têm sido reconhecidas pelas empresas como de grande importância na qualidade do produto final.

Assim, alguns estudos sobre interação genótipos x ambientes para as propriedades tecnológicas da madeira foram conduzidos em alguns países. Em estudo conduzido na Tasmânia, Muneri e Raymond (2000) avaliaram alguns parâmetros genéticos e o efeito da interação genótipos x ambientes em progênies de meios-irmãos de *E. globulus* em três locais. Neste estudo, foram realizadas avaliações dos caracteres densidade básica, penetração do pilodyn e diâmetro do fuste. Observou-se que a densidade básica está sob forte controle genético, com herdabilidade no sentido restrito no âmbito de indivíduos variando de 0,67 a 1,00, ao passo que os caracteres diâmetro e penetração do pilodyn estão sob baixo a moderado controle genético, com estimativas de herdabilidade variando de 0,16 a 0,33 e 0,13 a 0,27, respectivamente. As estimativas da interação progênies x locais foram significativas tanto para diâmetro e quanto para densidade básica, mas não para pilodyn. No entanto, verificaram que a classificação das sub-raças avaliadas foi consideravelmente alterada entre os locais para diâmetro, mas que foram relativamente constantes, através dos locais para densidade básica e penetração do pilodyn. Adicionalmente, as estimativas das correlações entre os locais foram de moderada a alta magnitude para densidade básica e penetração do pilodyn e de moderada a baixa para diâmetro.

Na avaliação de parâmetros genéticos de densidade básica, conteúdo de celulose e propriedades de fibras, Kube, Raymond e Banham (2001) utilizaram progênies de meios-irmãos de *E. nitens*, avaliadas em três locais na Tasmânia, Austrália. Estimativas de herdabilidade para tamanho de fibras, densidade básica e conteúdo de celulose foram, em média, de 0,58, 0,70 e 0,79, respectivamente e diferiram significativamente entre os locais. Constataram também que não houve significância na interação progênies x locais para tamanho de fibras e foi encontrada alta correlação genética entre os ambientes avaliados. Para o caráter

densidade básica, a interação progênies x locais foi significativa, mas relativamente pequena. Tal fato foi confirmado uma vez que a estimativa da variância da interação progênies x locais explicou apenas 6% da variação total e as correlações entre locais variaram de 0,67 a 0,92. Adicionalmente, não houve grande variação no ranqueamento das melhores progênies entre os locais. Para conteúdo de celulose, caráter utilizado como indicador do rendimento em polpa, a interação progênies x locais foi também de pequena magnitude, tendo a variância da interação progênies x locais explicado 4% da variação total. As correlações entre locais variaram de 0,77 a 0,91, sendo consideradas de alta magnitude.

Em trabalho realizado por Costa e Silva et al. (2009), foi avaliada a interação genótipos x ambientes para os caracteres diâmetro à altura do peito e densidade da básica da madeira (medida através da penetração do pilodyn). Os experimentos foram compostos por oito testes de progênies de irmãos germanos replicados clonalmente e por 17 experimentos de clones não aparentados. A importância da interação genótipos x ambientes foi avaliada pela estimativa da correlação genética entre os diferentes locais. Tanto nos testes de progênies quanto nos testes clonais, as estimativas das correlações genéticas obtidas foram expressivas para diâmetro à altura do peito e densidade da básica. As magnitudes das estimativas foram particularmente altas para densidade básica, com valores acima de 0,8. Assim, foi possível concluir que, para as condições de avaliação dos experimentos, a interação genótipos x ambientes é esperada ser de baixa magnitude para diâmetro à altura do peito e densidade básica e deve ter um moderado impacto na seleção.

No Brasil, foram encontrados escassos trabalhos sobre interação genótipos x ambientes abordando as propriedades tecnológicas da madeira. Um desses estudos foi conduzido com progênies de irmãos germanos de híbridos de *E. camaldulensis*, *E. grandis*, *E. pellita* e *E. urophylla*, aos 84 meses de idade,

nas regiões norte, noroeste e central de Minas Gerais (LIMA, 2009). No entanto, não foi detectada presença de interação progênies x locais para as propriedades tecnológicas da madeira, densidade básica, teor de lignina e de extrativos.

3 CONCLUSÕES

Houve boa concordância na seleção de progênies pelos índices clássico, soma de postos e somatório Z das variáveis padronizadas. No entanto, o índice Z , quando aliado ao método gráfico, permite verificar em quais caracteres envolvidos a progênie tem alguma deficiência.

A presença da interação progênies x ambientes para o índice Z é significativa, entretanto, não altera de forma expressiva a classificação das progênies nos ambientes.

Não houve diferença entre as melhores progênies selecionadas pelo índice Z via MQM e BLUP.

REFERÊNCIAS

- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-by-environment interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 4, n. 5, p. 503-508, Sept./Oct. 1964.
- ASSIS, T. F. Melhoria genética do eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 185, p. 32-41, 1996.
- ASSIS, T. F.; MÁFIA, R. G. Hibridação e clonagem. In: BORÉM, A. **Biologia florestal**. Viçosa, MG: UFV, 2007. p. 93-121.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Anuário estatístico: 2008/2009**. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/pdf/anual/rel2008.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2010.
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Woodbury: Stemma, 2002. 368 p.
- BORRALHO, N. M. G.; ALMEIDA, M. H.; POTTS, B. M. O melhoramento do eucalipto em Portugal. In: _____. **Eucalipto em Portugal: impactos ambientais e investigação científica**. Lisboa: ISA, 2007. p. 61-110.
- COSTA, R. R. G. F. **Performance dos indivíduos nos testes de progênies e os respectivos clones de eucalipto**. 2008. 66 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 2006. v. 2, 585 p.
- ELSTON, R. C. A. Weight-free index for the purpose of ranking or selection with respect to several traits at a time. **Biometrics**, Bethesda, v. 19, p. 85-97, 1963.
- FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. London: Longman Malaysia, 1996. 463 p.
- FEHR, W. R. **Principles of cultivar development**. New York: Macmillan, 1987. 487 p.

FONSECA, S. M. da et al. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 2010. 200 p.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L. Qualidade da madeira. In: BORÉM, A. **Biociologia florestal**. Viçosa, MG: UFV, 2007. p. 25-54.

HAZEL, L. N. The genetic basics for constructing selections indexes. **Genetics**, New York, v. 28, n. 6, p. 476-490, 1943.

IMPORTÂNCIA do eucalipto para a indústria de celulose no Brasil. **Revista da Madeira**, São Paulo, n. 59, set. 2001. Disponível em:
<<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira>>. Acesso em: 10 dez. 2009.

KANG, S. K. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. **Advances in Agronomy**, New York, v. 62, p. 199-252, 1998.

KUBE, P. D.; RAYMOND, C. A.; BANHAM, P. W. Genetic parameters for diameter, basic density, cellulose content and fibre properties for *Eucalyptus nitens*. **Forest Genetics**, Slovakia, v. 8, n. 4, p. 285-294, 2001.

LIMA, J. L. **Estratégias de seleção em um programa de melhoramento de eucalipto visando à produção de carvão**. 2009. 147 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

MARQUES JÚNIOR, O. G.; FERREIRA, D. F.; RAMALHO, M. A. P. Emprego de um método gráfico para a escolha de cultivares, considerando vários caracteres no feijoeiro. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 5., 1996, Goiânia. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA Arroz e Feijão, 1996. p. 347-349.

MARTINS, I. S. et al. Eficiência da seleção univariada direta e indireta e de índices de seleção em *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 327-333, ago./set. 2003.

MARTINS, I. S.; MARTINS, R. C. C.; PINHO, D. dos S. Alternativas de índices em uma população de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Revista Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 287-291, jul./set. 2006.

MENDES, F. F. et al. Índice de seleção para escolha de populações segregantes do feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 10, p. 1312-1318, out. 2009.

MORI, E. S.; KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M. Variação genética e interação progênes x locais em *Eucalyptus urophylla*. **Revista IPEF**, Piracicaba, n. 39, p. 53-63, ago. 1988.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egypt Journal Genetic Cytology**, Alexandria, v. 7, p. 40-51, 1978.

MUNERI, A.; RAYMOND, C. A. Genetic parameters and genotype-by-environment interactions for basic density, pilodyn penetration and stem diameter in *Eucalyptus globulus*. **Forest Genetics**, Slovakia, v. 7, n. 4, p. 317-328, 2000.

NUNES, G. H. S. et al. Implicações da interação genótipos x ambientes na seleção de clones de eucalipto. **Revista Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 49-58, jan./jun. 2002.

NUNES, J. A. R.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Graphical method in studies of adaptability and stability of cultivars. **Annual Report of the Bean Cooperative**, Fort Collins, v. 48, p. 182-183, 2005.

PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal Brazilian Chemistry Society**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 198-219, Mar./Apr. 2003.

PAULA, R. C. de et al. Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 159-165, fev. 2002.

PEREIRA, A. B. et al. Eficiência da seleção precoce em famílias de meios-irmãos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., na região noroeste do Estado de Minas Gerais. **Revista Cerne**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 1-14, jan./dez. 1997.

PESEK, J.; BAKER, R. J. Desired improvement in relation to selection indices. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 49, p. 803-804, 1969.

PIEPHO, H. P. et al. BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. **Euphytica**, Wageningen, v. 161, n. 1/2, p. 209-228, May 2008.

PINTO JÚNIOR, J. E. **REML/BLUP para a análise de múltiplos experimentos no melhoramento genético de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**. 2004. 133 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, M. J.; PINTO, C. A. B. P. **Genética na agropecuária**. 4. ed. Lavras: UFLA, 2008. 463 p.

REIS, C. A. F. **Correspondência no desempenho entre árvores selecionadas em testes de progênies e seus clones em *Eucalyptus* spp.** 2009. 47 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

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

ROCHA, M. das G. B. et al. Avaliação genética de progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus grandis* por meio dos procedimentos REML/BLUP e da ANOVA. **Revista Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 2, n. 71, p. 99-107, ago. 2006a.

_____. Avaliação genética de progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus urophylla* utilizando os procedimentos REML/BLUP e E(QM). **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 369-379, out. 2006b.

SANTOS, P. E. T.; MORI, E. S.; MORAES, M. L. T. Potencial para programas de melhoramento, estimativas de parâmetros genéticos e interação progênies x locais em populações de *Eucalyptus urophylla*. **Revista IPEF**, Piracicaba, n. 43/44, p. 11-19, jan./dez. 1990.

SANTOS, R. B. dos; GOMIDE, J. L.; SOUSA, L. C. de. Predição de qualidade da madeira e da polpa celulósica por técnica de espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 4, p. 759-767, jul./jun. 2009.

SEFARA, N. L.; CONRADIE, D.; TURNER, P. Progress in the use of near infrared absorption spectroscopy as a tool for the rapid determination of pulp yield in plantation eucalypts. **Tappsa Journal**, Pretoria, v. 53, n. 11, p. 15-17, Nov. 2000.

SHIMOYAMA, V. R. de S.; BARRICHELO, L. E. G. **Densidade básica da madeira, melhoramento e manejo florestal**. Piracicaba: IPEF, 1989. 22 p. (Série Técnica IPEF, 20).

SILVA, J. et al. Genetic parameters for growth, wood density and pulp yield in *Eucalyptus globulus*. **Tree Genetics & Genomes**, Berlin, v. 5, n. 10, p. 291-305, Oct. 2009.

SILVA, P. H. M.; BARRICHELO, L. E. G. Progressos recentes na área florestal. In: PATERNIANI, E. **Ciência, agricultura e sociedade**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2006. p. 439-456.

SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection. **Annual Eugenics**, Cambridge, v. 7, p. 240-250, 1936.

SO, C. L. et al. Near infrared spectroscopy in the forest products industry. **Forest Products Journal**, Madison, v. 54, n. 3, p. 6-16, Mar. 2004.

SUBANDI, W.; COMPTON, A.; EMPIG, L. T. Comparison of the efficiencies of selection indices for three traits in two variety crosses of corn. **Crop Science**, Madison, v. 13, p. 184-186, 1973.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

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. **Agricultura brasileira e pesquisa agropecuária**. Brasília: EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2006. p. 57-89.

WILLIAMS, J. S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**, Bethesda, v. 18, p. 375-393, 1962.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

**IMPLICAÇÕES DA INTERAÇÃO PROGÊNIES X AMBIENTES NA
SELEÇÃO SIMULTÂNEA DE VÁRIOS CARACTERES NO
MELHORAMENTO DO *Eucalyptus***

Artigo redigido conforme norma da Revista Científica Ciência Florestal

Implicações da interação progênes x ambientes na seleção simultânea de vários caracteres no melhoramento do *Eucalyptus*

Cristiane Aparecida Fioravante Reis¹, Flávia Maria Avelar Gonçalves², Magno Antonio Patto Ramalho³, Antônio Marcos Rosado⁴

RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de verificar as implicações da interação progênes x ambientes na seleção simultânea de vários caracteres de *Eucalyptus* e comparar a eficiência de três índices de seleção. Para isso, foi utilizado um teste de progênes de híbridos de irmãos germanos entre *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, avaliado em dois ambientes no município de Ipaba, MG. Aos três anos de idade, foram avaliadas as seguintes características: incremento médio anual de madeira (IMA), densidade básica da madeira (DB), rendimento depurado de celulose (RD) e álcali efetivo (AE). Na comparação dos três índices foi observada boa concordância na seleção de progênes. No entanto, o índice do somatório Z das variáveis padronizadas, quando aliado ao método gráfico, permite verificar em quais caracteres envolvidos a progênie tem alguma deficiência. A presença da interação progênes x ambientes para o somatório Z das variáveis padronizadas é significativa, entretanto, não altera de forma expressiva a classificação das progênes nos ambientes.

Palavras-chave: Eucalipto; teste de progênes; índices de seleção; qualidade da madeira.

¹ Doutoranda em Genética e Melhoramento de Plantas, DBI/UFLA, cristianemep@yahoo.com.br

² Professora Adjunta, DBI/UFLA, avelar@dbi.ufla.br

³ Professor Titular, DBI/UFLA, magnoapr@dbi.ufla.br

⁴ Pesquisador em Melhoramento Florestal, Empresa Cenibra S.A., antonio.rosado@cenibra.com.br

ABSTRACT

This work was done aiming to study the implications of the progenies x environments interaction in the selection of multiple traits in *Eucalyptus* and compare the efficiency of three selection indexes. For this, we used a full-sib progenies test between *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla* evaluated in two environments in Ipaba, MG. At three years old, were assessed the following traits: average annual increment of wood (IMA), wood basic density (DB), screened yield of pulp (RD) and effective alkali (AE). Comparing the three indexes was good concordance in the selection process. However, the index of sum of the standardized variables, when combined with the graphic method for verifying which traits involved in the progeny has a disability. The presence of progenies x environments interaction for the sum of the standardized variables is significant, however, does not change the ranking of progenies in environments.

Keywords: Eucalipto; progenies test; selection indexes, wood traits.

INTRODUÇÃO

Por algumas décadas, o melhoramento genético do gênero *Eucalyptus* no Brasil foi direcionado para a produtividade de madeira. O sucesso obtido foi enorme (VENCOVSKY e RAMALHO, 2000; SILVA e BARRICHELLO, 2006). Os caracteres associados às propriedades tecnológicas da madeira têm recebido maior atenção recentemente. Neste contexto, é importante mencionar que o aumento da produtividade, aliado à melhoria das propriedades tecnológicas da madeira, contribui para a redução de custos operacionais, a melhoria da performance da matéria-prima no processo industrial, bem como a adequação dessa matéria-prima à fabricação de produtos de alta qualidade para diferentes segmentos de mercado.

Inicialmente, a procura foi pela identificação de caracteres que pudessem ser avaliados com precisão no campo e que fossem associados às propriedades tecnológicas da madeira. Assim, o procedimento ideal era aquele que não necessitasse do abate das árvores para a obtenção dos dados. Dessa forma, o emprego da espectroscopia no infravermelho próximo (*Near Infrared Spectroscopy* - NIR) (PASQUINI, 2003) possibilitou que esses dados fossem obtidos como almejado.

A partir de então, os programas de melhoramento do *Eucalyptus* passaram a manusear um maior número de variáveis. Nesse caso, existem algumas alternativas que auxiliam na escolha dos melhores indivíduos e/ou progênies, das quais a mais utilizada é o índice de seleção (BERNARDO, 2002; CRUZ e CARNEIRO, 2006). A proposta do primeiro índice foi realizada na década de trinta do século passado, por Smith (1936) e Hazel (1943) e, desde então, inúmeras outras alternativas foram implementadas. Inclusive, algumas delas foram avaliadas no setor florestal (PAULA *et al.*, 2002; MARTINS *et al.*, 2003; MARTINS *et al.*, 2006). Todas essas metodologias apresentam vantagens

e desvantagens. O que se deseja é um procedimento que seja de fácil análise e interpretação. A proposta do índice que utiliza o somatório Z das variáveis padronizadas, associado à visualização gráfica, se enquadra no almejado (MENDES *et al.*, 2009). No entanto, esse procedimento ainda não foi avaliado no setor florestal.

Deve-se também salientar que trabalhos a respeito da interação genótipos x ambientes em *Eucalyptus* são frequentes (MORI *et al.*, 1988; SANTOS *et al.*, 1990; PEREIRA *et al.*, 1997; NUNES *et al.*, 2002, REIS, 2009; LIMA, 2009). Entretanto, o efeito dessa interação no resultado da seleção simultânea para vários caracteres ainda é muito pouco explorado. Neste sentido, foi realizado o presente trabalho com os seguintes objetivos: comparar os índices de seleção clássico (HAZEL, 1943; SMITH, 1936), soma de postos (MULAMBA e MOCK, 1978) e somatório Z das variáveis padronizadas envolvendo caracteres de crescimento e tecnológicos da madeira e verificar as implicações da interação progênies x ambientes na seleção simultânea de vários caracteres.

MATERIAL E MÉTODO

O experimento foi composto por um teste de progênies avaliado em dois ambientes da Cenibra – Celulose Nipo-Brasileira S.A., situados no município de Ipaba, MG. As caracterizações geográficas e edafoclimáticas dos ambientes são apresentadas na Tabela 1. As progênies de irmãos germanos utilizadas foram obtidas de cruzamentos controlados entre plantas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. Deve-se ressaltar que foram avaliadas 66 progênies comuns aos ambientes.

Tabela 1 Caracterizações geográficas e edafoclimáticas dos ambientes em que foram avaliadas as progênies de irmãos germanos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, no município de Ipaba, MG

Table 1 Characterizations of soil, climatic and geographic environments of full-sib progenies test of *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* in the Ipaba country, MG

	Ambientes	
	1	2
Latitude (UTM)	7838000	762500
Longitude (UTM)	7838450	763000
Altitude (m)	260	300
Topografia	Plana, em fundo de vale	Inclinada
Tipo de solo	Aluvial	Latossolo
Precipitação (mm)	1.229,80	
Umidade relativa (%)	70,50	
Temperatura máxima (°C)	31,00	
Temperatura mínima (°C)	18,80	
Temperatura média (°C)	20,50	

Os experimentos foram implantados no ano de 2001, no delineamento experimental de blocos casualizados com cinco repetições, parcelas constituídas de oito plantas e espaçamento de 3 x 2 m. Os tratos silviculturais utilizados foram os mesmos preconizados para os plantios comerciais da empresa.

No ano de 2004, aos três anos de idade, foram obtidas estimativas de incremento médio anual de madeira (IMA), em m³/ha/ano. Por meio do NIR foram obtidos dados das características tecnológicas da madeira: densidade básica da madeira (DB), em kg/m³, rendimento depurado de celulose (RD) e álcali efetivo (AE), ambas em porcentagem.

A avaliação estatística do teste de progênies foi feita por meio do procedimento de modelos mistos de Máxima Verossimilhança Residual (*Restricted Maximum Likelihood* – REML). Para tanto, foi utilizado o programa computacional Seleção Genética Computadorizada ou SELEGEN (RESENDE, 2007a), que utiliza o algoritmo tipo SB-EM (*Sparse Bifactorisation/Expectation-Maximisation*). Na avaliação por local do teste de progênies foi utilizada a rotina do SELEGEN, que considera o delineamento experimental de blocos completos, com várias plantas por parcela e uma única medição. As análises foram realizadas de acordo com o seguinte modelo estatístico (RESENDE, 2007a):

$$y = Xr + Zg + Wp + e,$$

em que y : vetor de dados; r : vetor dos efeitos fixos de repetição somados à média geral; g : vetor dos efeitos aleatórios genotípicos individuais $g \sim N(0, \sigma_g^2)$; p : vetor dos efeitos aleatórios de parcela $p \sim N(0, \sigma_p^2)$ e e : vetor dos efeitos aleatórios dos erros ou resíduos $e \sim N(0, \sigma_e^2)$. As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Na análise conjunta de ambientes do teste de progênies foi utilizada rotina que considera várias plantas por parcela, no delineamento de blocos completos, em vários locais e uma medição. O modelo estatístico utilizado foi (RESENDE, 2007a):

$$y = Xr' + Zg + Wp + Ti + e,$$

em que y : vetor de dados, r' : é o vetor dos efeitos fixos da combinação repetição-local somados à média geral; g : vetor dos efeitos aleatórios genotípicos individuais $g \sim N(0, \sigma_g^2)$; p : vetor dos efeitos aleatórios de parcela $p \sim N(0, \sigma_p^2)$; i : vetor dos efeitos aleatórios da interação genótipos x ambientes $i \sim N(0, \sigma_i^2)$ e e : vetor dos efeitos aleatórios dos erros ou resíduos $e \sim N(0, \sigma_e^2)$. As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

A partir dessas análises, foram obtidas as significâncias dos efeitos aleatórios dos modelos pelo teste da razão da verossimilhança (*Likelihood Ratio Test - LRT*) e obtidas as análises de deviance para cada caráter avaliado (RESENDE, 2007b). Além disso, foram obtidas as acurácias seletivas dos experimentos, as médias previstas e as estimativas dos parâmetros genéticos das progênies para cada ambiente e na média de ambientes por REML. A decomposição da interação em suas partes simples e complexa foi feita de acordo com a metodologia de Cruz e Castoldi (1991).

As estimativas das correlações genéticas entre os desempenhos médios das progênies nos dois ambientes, para cada característica considerada, foram obtidas por meio do seguinte estimador (BERNARDO, 2002):

$$r_{G_{xy}} = \frac{COV_{G_{xy}}}{\sqrt{\sigma_{G_x}^2 \cdot \sigma_{G_y}^2}},$$

em que $COV_{G_{xy}}$: covariância genética entre o desempenho das progênies nos ambientes x e y e $\sigma_{G_x}^2$ e $\sigma_{G_y}^2$: variâncias genéticas entre as progênies nos ambientes x e y , respectivamente.

No intuito de selecionar as melhores progênies com base nas quatro características simultaneamente, foram empregados dois índices

tradicionalmente utilizados no setor florestal, sendo eles o clássico e o de soma de postos. O índice clássico ou de Smith e Hazel (HAZEL, 1943; SMITH, 1936) considera as covariâncias genéticas e fenotípicas entre os n caracteres e também um peso econômico para cada caráter. O índice para cada progênie da população foi obtido pelo seguinte estimador (BERNARDO, 2002):

$$I = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n = \sum b_ix_i$$

em que I é o índice calculado para cada progênie da população; b_i : peso do caráter i e x_i : valor fenotípico para o caráter i . Os valores de b_i foram estimados por:

$$b = P^{-1}Ga,$$

em que b : vetor $n \times 1$ dos valores de b_i ; P^{-1} : matriz $n \times n$ das covariâncias fenotípicas entre caracteres; G : matriz $n \times n$ das covariâncias genéticas entre caracteres e a : vetor $n \times 1$ dos pesos econômicos dos caracteres. Neste trabalho foram utilizados pesos econômicos iguais a um para os quatro caracteres.

O índice de soma de postos ou *ranks* foi proposto por Mulamba e Mock (1978) e consiste em classificar as progênies em relação a cada um dos caracteres, em ordem favorável ao melhoramento. Uma vez classificados, são somadas as ordens de cada genótipo referente a cada caráter, resultando em uma medida adicional tomada como índice de seleção (CRUZ e REGAZZI, 1994). As análises, para ambos os índices, foram realizadas pelo programa computacional GENES (CRUZ, 2001).

O outro índice utilizado foi o somatório Z das variáveis padronizadas (MENDES *et al.*, 2009). Pelo índice, os dados de caracteres de crescimento IMA e tecnológicos da madeira AE, DB e RD de todos os indivíduos do teste de progênies foram padronizados, visando torná-los diretamente comparáveis.

Assim, a variável Z_{ij} foi estimada pelo seguinte estimador (RAMALHO *et al.*, 2005):

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - m_{.j}}{s_{.j}},$$

em que Z_{ij} : valor da variável padronizada correspondente ao indivíduo i na repetição j ; x_{ij} : valor observado da característica considerada do indivíduo i na repetição j ; $m_{.j}$: média de todos os indivíduos na repetição j e $s_{.j}$: desvio padrão fenotípico da média na repetição j . Como a variável Z pode assumir tanto valores negativos como positivos, foi adicionada uma constante de valor três, de modo a tornar os valores positivos. Nesse caso, a média populacional, em vez de zero, assumiu o valor três.

O emprego desse índice na seleção simultânea dos quatro caracteres parte do pressuposto de que quanto maior o valor de Z melhor. Contudo, deve ser salientado que, para a característica AE, quanto menor o seu valor, mais econômico é o processo de extração de celulose. Assim, para tornar os quatro caracteres atuantes na mesma direção, foi necessário fazer uma regra de três inversa com os valores do caráter AE, antes de sua padronização, para, assim, facilitar a visualização gráfica. Para o índice somatório Z das variáveis padronizadas, foram também utilizados pesos econômicos iguais a um para todos os caracteres considerados.

Após padronização das variáveis, foi obtido o somatório de Z para cada indivíduo, o qual foi submetido a uma análise de deviance e, em seguida, obtidas médias preditas das progênies para o somatório Z , sendo as mesmas ranqueadas em sentido favorável ao melhoramento. Foram também estimados os parâmetros genéticos para o índice. Adicionalmente, foi utilizado o método gráfico que permite uma rápida e fácil identificação das progênies de melhor desempenho.

Posteriormente, foram realizadas comparações entre os três índices considerados e obtida a porcentagem de coincidências entre as 20% melhores progênies obtidas para cada índice.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dois ambientes em que foram conduzidos os experimentos, embora fossem localizados no mesmo município, apresentam diferenças marcantes com relação ao relevo. Um experimento foi instalado em ambiente com topografia plana, em fundo de vale e o outro em área inclinada. Além disso, os ambientes também diferem nas propriedades do solo (Tabela 1). Essas diferenças contribuíram para que fossem detectadas diferenças significativas ($P \leq 0,01$) entre os caracteres AE e DB, nos dois ambientes (Tabelas 1A, 2A e 3A). De modo geral, o desempenho médio das progêneses do ambiente 2, ou seja, situado em região inclinada, foi superior ao ambiente 1, de topografia plana (Tabela 2). Para os quatro caracteres, em média, o desempenho do ambiente 2 foi 5,77% superior ao do ambiente 1.

Tabela 2 Médias e estimativas das acurácias seletivas dos caracteres incremento médio anual (IMA), em $m^3/ha/ano$; álcali efetivo (AE), em porcentagem; densidade básica (DB), em kg/m^3 ; rendimento depurado em celulose (RD), em porcentagem e do índice Z obtidos na avaliação de progêneses de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* em dois ambientes

Table 2 Averages and estimates of the selective accuracies of the traits mean annual increment (IMA) in $m^3/ha/year$; effective alkali (AE), in percentage, basic density (DB), in kg/m^3 ; screened yield of cellulose (RD), in percentage and the index Z obtained in the full-sib progenies test of *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* in two environments

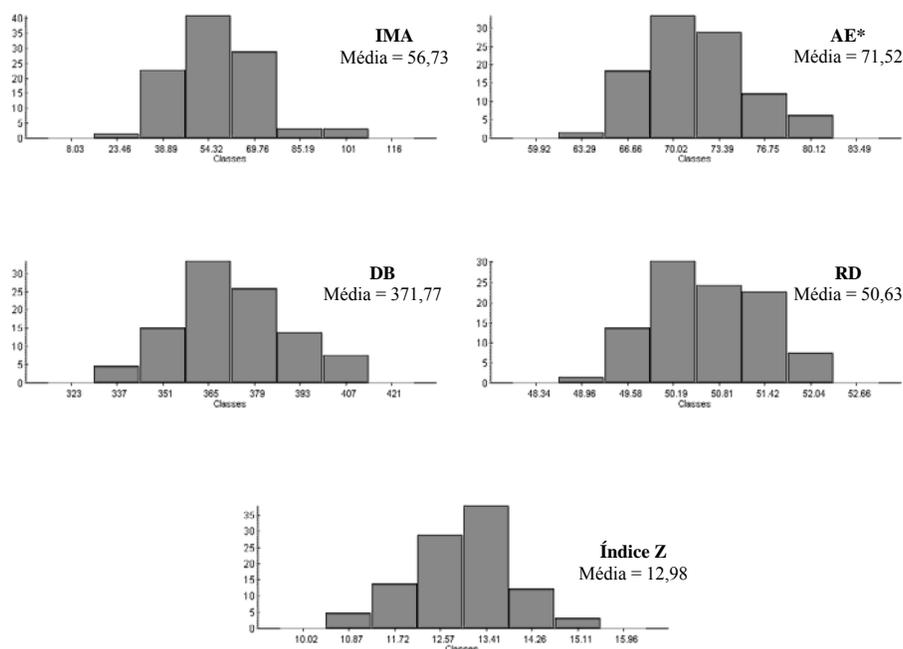
	Ambiente 1		Ambiente 2		Conjunta de ambientes	
	Média	Acurácia	Média	Acurácia	Média	Acurácia
IMA	54,83	93,27	58,73	93,87	56,73	94,99
AE*	69,40	93,62	73,46	95,85	71,52	93,11
DB	354,30	93,55	389,06	81,85	371,77	94,99
RD	50,37	91,22	50,89	93,52	50,63	92,56
Índice Z	12,99	77,70	12,96	71,39	12,98	74,34

* Valores invertidos.

Um aspecto importante em experimentos dessa natureza é a precisão experimental com que as progênies foram avaliadas. Verifica-se, pela acurácia, que a precisão foi de alta a muito alta para todos os caracteres (Tabela 2) (RESENDE, 2007b), condição essa muito favorável para a seleção.

Foram encontradas diferenças significativas ($P \leq 0,01$) entre progênies para todas as características analisadas, tanto nas análises por ambiente quanto nas conjuntas (Tabelas 1A, 2A e 3A). A presença de variabilidade entre as progênies pode também ser constatada por meio das distribuições de frequências das características na média dos ambientes (Figura 1). Verifica-se que, para a característica IMA, as estimativas variaram de 23,46 a 100,62 e em torno de 75,75% das progênies apresentaram desempenho superior à média geral. Para AE, as estimativas ficaram entre 63,29 e 80,12 e, para DB, a variação foi de 337,10 a 407,12; em ambos os casos, aproximadamente 47% das progênies tiveram desempenho superior à média. A variação encontrada para RD ficou entre 48,96 e 52,04 e em torno de 54,54% das progênies apresentaram desempenho superior à média.

A interação progênies x ambientes foi significativa para o caráter AE (Tabela 3A). No entanto, a estimativa da variância da interação progênies x ambientes foi de baixa magnitude, correspondendo a apenas 12,25% da variância genética entre progênies. Na decomposição da interação (CRUZ e CASTOLDI, 1991), foi constatado que houve predominância da parte simples, correspondendo a 72,45%. Vale ainda ressaltar que a correlação genética entre os desempenhos médios das progênies nos dois ambientes foi alta, $r_{G,AE} = 0,90$. Do exposto, pode-se inferir que não houve alteração expressiva na classificação das progênies entre os ambientes. Para a característica AE, não foram encontrados trabalhos focando a interação progênies x ambientes.



* Valores invertidos

Figura 1 Distribuição de freqüências dos caracteres incremento médio anual (IMA), em $m^3/ha/ano$; álcali efetivo (AE), em porcentagem; densidade básica (DB), em kg/m^3 ; rendimento depurado em celulose (RD), em porcentagem e do índice Z obtidos na avaliação de progênies de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, dados da análise conjunta de ambientes

Figure 1 Distribution of frequencies of the traits mean annual increment (IMA) in $m^3/ha/year$; effective alkali (AE), in percentage, basic density (BD), in kg/m^3 ; screened yield of cellulose (RD), in percentage and, Z index obtained in full-sib progenies test of *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, data from the joint analysis of environments

Para a característica DB, foi também observada interação progênies x ambientes significativa (Tabela 3A), tendo a relação entre a variância da interação progênies x ambientes e a variância genética entre as progênies sido de 44,90%. É importante salientar que a parte simples da interação correspondeu a

66,40%. Foi constatado que a estimativa da correlação genética entre o desempenho das progênies, nos dois ambientes, foi elevada, $r_{G_{DB}} = 0,75$. A partir desses resultados, infere-se que não ocorreu mudança expressiva na classificação das progênies nos ambientes avaliados para a característica DB. Existem relatos da ocorrência de interação progênies x ambientes para essa característica, em que foram obtidas altas estimativas de correlações entre o desempenho médio das progênies nos vários locais (MUNERI e RAYMOND, 2000; KUBE *et al.*, 2001; COSTA e SILVA *et al.*, 2009). Em outros trabalhos, essa interação não foi significativa (POKE *et al.*, 2006; LIMA, 2009).

Para os caracteres IMA e RD, a interação progênies x ambientes foi não significativa (Tabela 3A). Assim, pode-se inferir que o comportamento das progênies foi coincidente nos dois ambientes avaliados. Esses resultados são corroborados pelas altas estimativas de correlações genéticas entre os desempenhos das progênies nos dois ambientes, $r_{G_{IMA}} = 0,99$ e $r_{G_{RD}} = 0,93$. Não foram encontrados estudos abordando interação progênies x ambientes para IMA no Brasil. No entanto, é importante mencionar que os relatos encontrados para outros caracteres de crescimento no gênero *Eucalyptus* demonstram que as interações progênies x ambientes, detectadas no Brasil, têm sido de pequena magnitude e com predominância da parte simples (MORI *et al.*, 1988; SANTOS *et al.*, 1990; PEREIRA *et al.*, 1997; REIS, 2009; LIMA, 2009). No melhoramento visando à produção de polpa celulósica, progênies de meios irmãos de *Eucalyptus nitens* foram avaliadas em três locais na Tasmânia, Austrália. Foi constatado que, para conteúdo de celulose, caráter utilizado como indicador do rendimento em polpa, a interação progênies x ambientes foi de pequena magnitude. Corroborando esse resultado, as estimativas das correlações entre os desempenhos das progênies entre os ambientes variaram de 0,77 a 0,91, sendo consideradas de alta magnitude (KUBE *et al.*, 2001).

Vale ressaltar que, no início do melhoramento do gênero *Eucalyptus* no Brasil, a ênfase foi direcionada ao incremento no volume de madeira. Inclusive, o sucesso obtido para esse caráter foi enorme (VENCOVSKY e RAMALHO, 2000; SILVA e BARRICHELLO, 2006). Entretanto, mais recentemente, os melhoristas foram estimulados a envolverem outros caracteres na seleção, além dos caracteres de crescimento, sobretudo aqueles relacionados com as propriedades tecnológicas da madeira. Nesse contexto, a seleção deve ser realizada para vários caracteres ao mesmo tempo. Uma das estratégias para isso é o emprego de índices de seleção (BERNARDO, 2002; PAULA *et al.*, 2002; MARTINS *et al.*, 2003; MARTINS *et al.*, 2006). O primeiro índice proposto foi o de Hazel (1943) e Smith (1936), também conhecido como índice clássico (BERNARDO, 2002; CRUZ e CARNEIRO, 2006).

Um dos índices mais utilizados, sobretudo pela sua facilidade de aplicação, é o de soma de postos (MULAMBA e MOCK, 1978). Uma alternativa de índice proposta recentemente é a padronização das variáveis e a obtenção do somatório *Z* das variáveis padronizadas (MENDES *et al.*, 2009). Na Tabela 3 são apresentadas as 20% melhores progênies, ou seja, as 14 que foram selecionadas na média dos dois ambientes para todos os índices de seleção utilizados. Observa-se que a correspondência entre as progênies selecionadas por meio dos diferentes índices foi boa. Constata-se que pelo menos 57% das progênies foram comuns aos três índices.

É importante mencionar que o somatório *Z* das variáveis padronizadas pode ser estimado por repetição e, assim, é possível realizar uma análise de deviance. Neste contexto, constatou-se que as progênies diferiram com relação ao índice *Z* ($P \leq 0,01$) (Tabela 4A). A presença de variabilidade entre as progênies, quando se consideram os quatro caracteres simultaneamente, pode também ser comprovada por meio das distribuições de frequências dos valores do índice *Z* (Figura 1). As estimativas da herdabilidade do somatório de *Z*, na

média de progênies, foram relativamente altas, 60% no ambiente 1 e 51% no ambiente 2. Quando se considerou a herdabilidade para a seleção na média de progênies dos dois ambientes, a estimativa foi também relativamente alta, $h^2 = 57\%$, ou seja, boa parte da variância fenotípica é devido à causas genéticas.

Outra vantagem do índice Z é que, adicionalmente, ele permite verificar, por meio de uma análise gráfica, em quais caracteres envolvidos a progênie tem alguma deficiência. Assim, pôde-se observar que as progênies 58, no ambiente 1 e 59, no ambiente 2, apresentaram valores de Z acima da média da população para as quatro características consideradas (Figura 2). Deve-se ressaltar que os desempenhos dessas duas progênies demonstram a existência de ganhos com a seleção. Entretanto, foi observado que as progênies 63 e 39 apresentaram os menores valores do índice Z, nos ambientes 1 e 2, respectivamente. Isso se deve ao desempenho inferior dessas progênies para a característica IMA de madeira, uma vez que, para os caracteres AE, DB e RD, os desempenhos foram superiores à média da população.

Tabela 3 Progênies selecionadas de acordo com os índices somatório Z das variáveis padronizadas, clássico e soma de postos obtidos na avaliação de progênies de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, dados da análise conjunta de ambientes

Table 3 Progenies selected according sum of standardized variables, classic and sum of ranks indexes in the full-sib progenies test of *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, data from the joint environments

Classificação da progênie	Índices		
	Somatório Z	Clássico	Soma de postos
1	58	58	59
2	59	59	21
3	21	64	8
4	6	12	42
5	42	21	43
6	7	43	54
7	8	42	36
8	55	20	46
9	43	8	58
10	57	6	47
11	5	7	57
12	15	16	64
13	64	4	6
14	27	56	14

Assim, a facilidade de obtenção do índice Z, aliada à possibilidade de ser submetido à análise estatística e consequente possibilidade de detecção da interação genótipos x ambientes, aliado à análise gráfica do desempenho de cada progênie, sugere que esse índice é uma boa opção para os melhoristas de *Eucalyptus* como também já constatado em feijão (MENDES *et al.*, 2009).

Um dos focos deste trabalho é verificar o possível efeito da interação progênies x ambientes no desempenho, considerando os quatro caracteres simultaneamente. Observou-se que, para o índice Z, a interação progênies x ambientes foi significativa ($P \leq 0,05$) (Tabela 4A). A relação entre as estimativas da variância da interação progênies x ambientes e variância genética entre

progênies foi expressiva, 42,20%. A partir do desdobramento da interação pela metodologia de Cruz e Castoldi (1991), foi constatado que houve predominância da parte simples da interação (72,45%). Adicionalmente, a estimativa da correlação genética entre as médias de Z das progênies, nos dois ambientes, foi alta, 0,77. Desse modo, com relação ao índice Z , infere-se que não houve mudança marcante no ranqueamento das progênies, nos dois ambientes considerados.

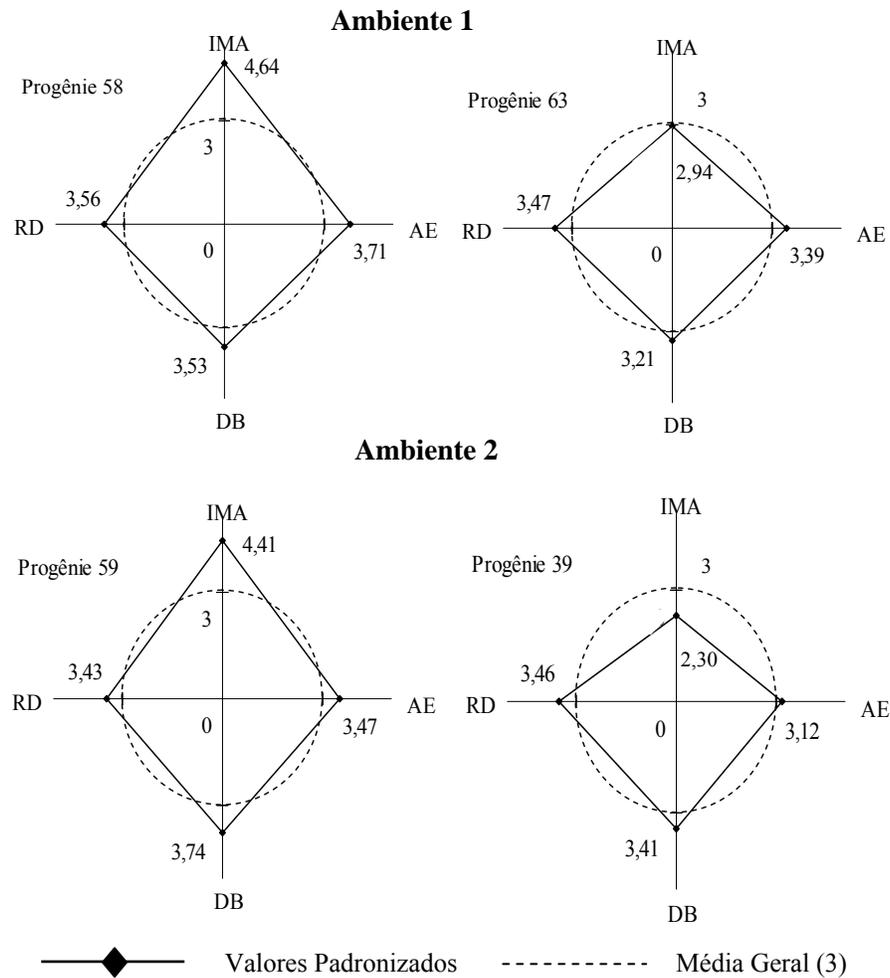


Figura 2 Representação gráfica dos valores padronizados dos caracteres incremento médio anual (IMA), álcali efetivo (AE), densidade básica (DB) e rendimento depurado em celulose (RD) das progênies de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* que apresentaram maiores e menores valores de Z em cada um dos ambientes

Figure 2 Graphical representation of the standardized values of the traits mean annual increment (IMA), effective alkali (AE), basic density (DB) and screened yield of cellulose (RD) of full-sib progenies test of *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* showed that the highest and lowest values of Z each environment

CONCLUSÕES

Houve boa concordância na seleção de progênies pelos índices clássico, soma de postos e somatório Z das variáveis padronizadas. No entanto, o índice Z , quando aliado ao método gráfico, permite verificar em quais caracteres envolvidos a progênie tem alguma deficiência.

A presença da interação progênies x ambientes para o somatório Z das variáveis padronizadas é significativa, entretanto, não altera de forma expressiva a classificação das progênies nos ambientes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Empresa Cenibra – Celulose Nipo-Brasileira S.A., pela concessão dos dados utilizados neste trabalho e às instituições de fomento CNPq, Capes e Fapemig.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Woodbury, Minnesota: Stemma Press, 2002. 368 p.
- COSTA E SILVA, J. *et al.* Genetic parameters for growth, wood density and pulp yield in *Eucalyptus globulus*. **Tree Genetics & Genomes**, Berlin, v. 5, p. 291-305, may. 2009
- CRUZ, C.D.; CASTOLDI, F. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, Viçosa, v.38, p.422-430, ago.1991.
- CRUZ, C.D. **PROGRAMA GENES: versão Windows: aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa: UFV, 2001. 648p.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. Viçosa: UFV, v. 2, 2006. 585p.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A. J. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. Viçosa: UFV, 1994. 390 p.
- HAZEL, L. N. The genetic basics for constructing selections indexes. **Genetics**, New York, v. 28, n. 6, p. 476-490, 1943.
- KUBE, P. D. *et al.* Genetic parameters for diameter, basic density, cellulose content and fibre properties for *Eucalyptus nitens*. **Forest Genetics**, Zvolen, v. 8 n. 4, p. 285-294, set./dec. 2001.
- LIMA, J. L. **Estratégias de seleção em um programa de melhoramento de eucalipto visando à produção de carvão**. 2009. 147 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- MARTINS, I. S. *et al.* Alternativas de índices em uma população de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Revista Cerne**, Lavras, v.12, n. 3, p. 287-291, jul./set. 2006.
- MARTINS, I. S. *et al.* Eficiência da seleção univariada direta e indireta e de índices de seleção em *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n. 3, p. 327-333, mai./ jun. 2003.

MENDES, F. F. *et al.* Índice de seleção para escolha de populações segregantes do feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, p.1312-1318, out. 2009.

MORI, E. S. *et al.* Variação genética e interação progênies x locais em *Eucalyptus urophylla*. **Revista IPEF**, Piracicaba, n. 39, p. 53-63, ago. 1988.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egypt Journal Genetic Cytology**, Alexandria, v. 7, p. 40-51, may. 1978.

MUNERI, A.; RAYMOND, C. A. Genetic parameters and genotype-by-environment interactions for basic density, pilodyn penetration and stem diameter in *Eucalyptus globulus*. **Forest Genetics**, Vienna, v. 7, n. 4, p. 317-328, oct. 2000.

NUNES, G. H. S. *et al.* Implicações da interação genótipos x ambientes na seleção de clones de eucalipto. **Revista Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 49-58, jan./jul. 2002.

PASQUINI, C. Near Infrared Spectroscopy: Fundamentals, Practical Aspects and Analytical Applications. **Journal Brazilian Chemistry Society**, São Paulo, v. 14, n. 2, p.198-219, 2003.

PAULA, R. C. de. *et al.* Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 159-165, fev. 2002.

PEREIRA, A. B. *et al.* Eficiência da seleção precoce em famílias de meios-irmãos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., na região noroeste do Estado de Minas Gerais. **Revista Cerne**, Lavras, v.3, n. 1, p. 1-14, jul. 1997.

POKE, F. S.; RAYMOND, C. A. Predicting Extractives, Lignin, and Cellulose Contents Using Near Infrared Spectroscopy on Solid Wood in *Eucalyptus globulus*. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, V. 26, n. 2, p.187 – 199, 2006.

RAMALHO, M.A.P. *et al.* **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: UFLA, 2005. 300p.

- REIS, C. A. F. **Correspondência no desempenho entre árvores selecionadas em testes de progênies e seus clones em *Eucalyptus* spp.** 2009. 47p.
Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- RESENDE, M. D. V. **Software Selegen – REML/ BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos mistos.** Colombo: Embrapa Florestas, 2007a. 359p.
- RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético.** Colombo: Embrapa Florestas, 2007b. 561p.
- SANTOS, P. E. T. *et al.* Potencial para programas de melhoramento, estimativas de parâmetros genéticos e interação progênies x locais em populações de *Eucalyptus urophylla*. **Revista IPEF**, Piracicaba, n. 43/44, p. 11-19, jan./dez. 1990.
- SILVA, P. H. M.; L. E. G. BARRICHELO. Progressos recentes na área florestal. In: PATERNIANI, E. (Ed.). **Ciência, Agricultura e Sociedade.** Brasília: Embrapa, p. 439-456. 2006
- SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection. **Annual Eugenics**, Cambridge, v.7, p. 240-250, 1936.
- 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, p.57-89, 2000.

**EFICIÊNCIA DO ÍNDICE SOMATÓRIO DAS VARIÁVEIS
PADRONIZADAS NA SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE EUCALIPTO
VIA MQM E BLUP**

**Artigo redigido conforme norma da revista Científica Pesquisa
Agropecuária Brasileira**

Eficiência do índice somatório das variáveis padronizadas na seleção de progênies de eucalipto via MQM e BLUP

Cristiane Aparecida Fioravante Reis⁽¹⁾, Flávia Maria Avelar Gonçalves⁽¹⁾, Magno Antonio Patto Ramalho⁽¹⁾ e Antônio Marcos Rosado⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidade Federal de Lavras, Departamento de Biologia, Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras, MG. E-mail: cristianemep@yahoo.com.br, avelar@dbi.ufla.br, magnoapr@dbi.ufla.br ⁽²⁾ Celulose Nipo-Brasileira, Rodovia BR 381, Km 172, CEP 35196-000 Belo Oriente, MG. E-mail: antonio.rosado@cenibra.com.br

Resumo – Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a eficiência do índice somatório das variáveis padronizadas, índice Z, na seleção de progênies de irmãos germanos de eucalipto via método dos quadrados mínimos (MQM) e da melhor predição linear não viesada (BLUP). Os experimentos foram implantados em dois ambientes em Ipaba, MG, em blocos casualizados, com cinco repetições, oito plantas por parcela e espaçamento de 3 x 2 m. Aos três anos foram avaliados: incremento médio anual de madeira, densidade básica, rendimento de celulose e álcali efetivo. Para comparação da eficiência da seleção das melhores progênies pelos procedimentos MQM e BLUP, foi obtido índice Z para cada indivíduo. Posteriormente, foram obtidas as médias preditas das progênies para o índice Z, sendo as mesmas ranqueadas em sentido favorável ao melhoramento. Outro índice também utilizado foi o clássico, sendo estimadas as coincidências entre as sete melhores progênies identificadas por cada índice. A coincidência entre as melhores progênies selecionadas pelos índices clássico e Z foi boa. Adicionalmente, o índice Z permite uma visualização gráfica, o que possibilita verificar em quais caracteres uma determinada progênie apresenta alguma deficiência. Não houve diferença entre as melhores progênies selecionadas pelo índice Z via MQM e BLUP.

Termos para indexação: *Eucalyptus*, melhoramento florestal, correlação genética, índices de seleção.

**Efficiency of sum of standardized variables index in the eucalyptus
progenies selection via MQM and BLUP**

Abstract – This study was conducted to evaluate the efficiency of the sum of standardized variables index, Z index, in the selection of full-sib progenies between *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla* via least squares method (MQM) and best linear unbiased prediction (BLUP) procedures. The experiments were carried out in two environments in Ipaba, Minas Gerais, in randomized complete blocks design with five replications, eight plants per plot and spaced 3x2 m. Wood average annual increment, basic density, screened pulp yield, and effective alkali were evaluated at three years of age. Z index was obtained for each individual to compare the efficiency of selection of the best progenies by MQM and BLUP procedures. Subsequently, the predicted averages to Z index were obtained and ranked. For comparison, the classic index were used. The coincidences among the seven best progenies identified by each index were estimated. The coincidence among the best progenies selected by classical and Z index was good. However, the Z index allows a graphic display that enables to check which characters the progenie has a disability. There was no difference between the best progenies selected by the Z index via BLUP and MQM.

Index terms: *Eucalyptus*, forest breeding, genetic correlation, selection index.

Introdução

Atualmente, o aumento da produtividade florestal, aliado à melhoria das propriedades tecnológicas da madeira, tem sido a principal demanda dos programas de melhoramento de *Eucalyptus* para a produção de celulose de fibra curta no Brasil (Fonseca et al., 2010). Uma vez que esses contribuem para a redução de custos operacionais, para a melhoria da performance da matéria-prima no processo industrial, bem como a adequação dessa matéria-prima à fabricação de produtos de alta qualidade para diferentes segmentos de mercado (Assis, 2001).

Como vários caracteres de crescimento e de qualidade da madeira devem ser envolvidos na seleção do melhor indivíduo/progênie, o uso de índices de seleção se torna uma boa opção (Resende, 2002; Bernardo, 2002, Cruz e Carneiro, 2006). Nesse sentido, foram encontrados alguns trabalhos envolvendo os índices de seleção tradicionalmente utilizados no setor florestal (Paula et al., 2002; Martins et al., 2003; 2006), os quais apresentam várias vantagens e desvantagens (Cruz e Carneiro, 2006). Vale ressaltar que a facilidade de análise e de interpretação é fator importante na escolha do melhor índice. Nesse sentido, uma alternativa é o somatório das variáveis padronizadas, índice Z, proposto recentemente para culturas anuais (Mendes et al., 2009).

Outro ponto a ser ressaltado é com relação à eficiência dos procedimentos empregados na seleção das melhores progênies. Um procedimento já por muito tempo utilizado na análise de experimentos dos programas de melhoramento genético é o Método dos Quadrados Mínimos (MQM). Entretanto, uma crítica a esse método é a limitação em lidar com dados desbalanceados, como é o caso dos experimentos com o gênero *Eucalyptus* (Resende, 2002; Piepho et al., 2008). Assim, o procedimento de Máxima Verossimilhança Restrita e Melhor Predição Linear não Viesada (*Restricted*

Maximum Likelihood/Best Linear Unbiased Prediction - REML/BLUP) passou a ser mais indicado no melhoramento florestal, devido a sua eficiência ser considerada como igual ou superior ao MQM (Resende, 2002). Em alguns trabalhos foram feitas as comparações entre os dois procedimentos, no que se refere à estimação dos parâmetros genéticos (Rocha et al., 2006a; 2006b). Entretanto, o principal alvo dos programas de melhoramento, ou seja, as melhores progênies selecionadas e/ou os ganhos obtidos por cada procedimento não foram comparados.

Neste contexto, foi realizado o presente trabalho com o objetivo de comparar a eficiência do índice somatório das variáveis padronizadas na seleção de progênies de *Eucalyptus* via MQM e BLUP.

Material e Métodos

O teste de progênies utilizado neste trabalho foi avaliado em dois ambientes da empresa Cenibra - Celulose Nipo-Brasileira S.A., localizados no município de Ipaba, MG. Vale ressaltar que o ambiente 1 está situado na latitude 7838000 UTM e longitude 7838450 UTM, com altitude de 260 metros. A topografia desse ambiente é plana em fundo de vale e o solo é caracterizado como Aluvial. O ambiente 2 se situa à latitude de 762500 UTM, longitude 763000 UTM e está localizado à altitude de 300 metros. Esse ambiente apresenta topografia inclinada e o solo é caracterizado como Latossolo. Ambos os ambientes têm precipitação média anual de 1.229,80 mm e umidade relativa de 70,50%. A temperatura média anual é 20,50°C, com máximas de 31°C e mínimas de 18,80°C.

As progênies utilizadas foram obtidas por polinização controlada entre indivíduos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, sendo avaliadas 66 progênies comuns nos dois experimentos. Os experimentos foram implantados no ano de 2001, no delineamento experimental de blocos casualizados com cinco repetições, parcelas lineares de oito plantas e espaçamento de 3 x 2 m. Vale ressaltar que os manejos silviculturais utilizados foram aqueles normalmente preconizados pela empresa em seus plantios comerciais.

No ano de 2004, aos três anos de idade, estimativas de incremento anual de madeira (IMA), em m³/ha/ano, foram obtidas para cada indivíduo. Foram também realizadas mensurações das características tecnológicas da madeira: densidade básica da madeira (DB), em kg/m³, rendimento depurado de celulose (RD) e álcali efetivo (AE), ambas em porcentagem, por meio da espectroscopia do infravermelho próximo (NIR).

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se os procedimentos método dos quadrados mínimos (MQM) e máxima verossimilhança restrita/

melhor predição linear não viesada (REML/BLUP). As análises de variância e as médias ajustadas foram obtidas no *Proc GLM* do programa computacional SAS (SAS Institute, 2000), para cada ambiente e na conjunta de ambientes para cada característica considerada. As análises utilizando o procedimento de modelos mistos REML/BLUP foram obtidas por meio do programa computacional Seleção Genética Computadorizada, SELEGEN (RESENDE, 2007a). Na avaliação por ambiente do teste de progênies foi utilizado o modelo estatístico (Resende, 2007): $y = Xr + Zg + Wp + e$, em que y : vetor de dados; r : vetor dos efeitos fixos de repetição somados à média geral; g : vetor dos efeitos aleatórios genotípicos individuais $g \sim N(0, \sigma_g^2)$; p : vetor dos efeitos aleatórios de parcela $p \sim N(0, \sigma_p^2)$ e e : vetor dos efeitos aleatórios dos erros $e \sim N(0, \sigma_e^2)$. As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. Na análise conjunta de ambientes foi utilizado modelo estatístico semelhante ao anterior: $y = Xr' + Zg + Wp + Ti + e$, sendo r' : vetor dos efeitos fixos da combinação repetição-local e i : vetor dos efeitos aleatórios da interação genótipos x ambientes $i \sim N(0, \sigma_i^2)$. As letras X e T representam as matrizes de incidência dos referidos efeitos.

No intuito de estimar o grau de associação entre as características avaliadas, duas a duas, foram obtidas as correlações genéticas entre os desempenhos médios das progênies. Para tanto, foi utilizado o estimador (Bernardo, 2002):

$$r_{G_{xy}} = \frac{COV_{G_{xy}}}{\sqrt{\sigma_{G_x}^2 \cdot \sigma_{G_y}^2}},$$

em que $COV_{G_{xy}}$: covariância genética entre o desempenho médio das progênes para as características x e y ; $\sigma_{G_x}^2$ e $\sigma_{G_y}^2$: variâncias genéticas entre progênes para as características x e y , respectivamente.

Na identificação das melhores progênes com base nas quatro características simultaneamente, foram empregados dois índices de seleção: o índice clássico (Smith, 1936; Hazel, 1943) e o recém-proposto, índice do somatório das variáveis padronizadas, índice Z (Mendes et al., 2009). O índice clássico considera as covariâncias genéticas e fenotípicas entre os n caracteres e também um peso econômico para cada caráter. O índice para cada progênie da população foi obtido pelo seguinte estimador (Bernardo, 2002): $I = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n = \sum b_ix_i$, em que I : índice calculado para cada progênie da população; b_i : peso do caráter i e x_i : valor fenotípico para o caráter i . Os valores de b_i foram estimados por: $b = P^{-1}Ga$, em que b : vetor $n \times 1$ dos valores de b_i ; P^{-1} : matriz $n \times n$ das covariâncias fenotípicas entre caracteres; G : matriz $n \times n$ das covariâncias genéticas entre caracteres e a : vetor $n \times 1$ dos pesos econômicos dos caracteres. Neste trabalho foram utilizados pesos econômicos iguais a um para cada um dos quatro caracteres. Para a obtenção deste índice, as análises foram realizadas pelo programa computacional GENES (Cruz, 2001).

No caso do índice do somatório das variáveis padronizadas, os dados de caracteres de crescimento IMA e tecnológicos da madeira, AE, DB e RD, de todos os indivíduos do teste de progênes, foram padronizados visando torná-los diretamente comparáveis. Assim, a variável Z_{ij} foi obtida pelo seguinte estimador (Ramalho et al., 2005):

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - m_{.j}}{s_{.j}},$$

em que Z_{ij} : valor da variável padronizada correspondente ao indivíduo i na repetição j ; x_{ij} : valor observado da característica considerada do indivíduo i na repetição j ; m_j : média de todos os indivíduos na repetição j e s_j : desvio padrão fenotípico da média na repetição j . Como a variável Z pode assumir tanto valores negativos como positivos, foi adicionado o valor três, de modo a tornar os valores positivos. Nesse caso, a média populacional, em vez de zero, assumiu o valor de três.

Uma informação importante é que o emprego desse índice na seleção simultânea dos quatro caracteres parte do pressuposto de que quanto maior o valor de Z melhor. Contudo, deve ser salientado que, para a característica AE, quanto menor o seu valor mais econômico é o processo de extração de celulose. Assim, para tornar os quatro caracteres atuantes na mesma direção, foi necessário fazer uma regra de três inversa com os valores de AE, antes de sua padronização.

Com objetivo de comparar a eficiência da seleção das melhores progênies pelos procedimentos MQM e BLUP, após padronização das variáveis, foi obtido o somatório de Z para cada indivíduo, sendo esses analisados por meio dos dois procedimentos. Desse modo, foram obtidas as médias preditas das progênies para o índice Z , sendo as mesmas ranqueadas em sentido favorável ao melhoramento tanto pelo MQM quanto pelo BLUP. Foram realizadas comparações entre os índices Z , via MQM e BLUP e índice clássico, sendo posteriormente obtidas as coincidências entre as sete melhores progênies identificadas por cada índice.

As estimativas dos ganhos esperados com a seleção para cada um dos quatro caracteres considerados foram obtidas por (Falconer, 1987): $GS = ds.h_{mp}^2$, em que GS : ganho esperado com a seleção na média de progênies; ds : diferencial de seleção, obtido pela diferença entre a média das

sete melhores progênies selecionadas e a média das progênies da população original e h_{mp}^2 : estimativa da herdabilidade na média de progênies.

O estimador utilizado para obter o ganho esperado com a seleção em porcentagem foi (Falconer, 1987): $GS(\%) = \frac{GS}{m_o} . 100$, em que m_o : média das progênies da população original. As estimativas dos ganhos esperados com a seleção e das respostas correlacionadas com a seleção foram obtidas pelo programa GENES.

A magnitude da resposta correlacionada com a seleção foi obtida pela expressão (Bernardo, 2002): $\frac{r_{G_{xy}} h_{mp_x}}{h_{mp_y}} . 100$, em que $r_{G_{xy}}$: estimativa da correlação genética entre o desempenho médio das progênies para os caracteres x e y ; h_{mp_x} : raiz quadrada da herdabilidade média das progênies para o caráter x e h_{mp_y} : raiz quadrada da herdabilidade média das progênies para o caráter y .

Resultados e Discussão

Foram avaliadas progênies de irmãos germanos provenientes do cruzamento entre as espécies *E. urophylla* e *E. grandis*. Vale ressaltar que esse material genético representa bem o germoplasma que os melhoristas da região trabalham, visando à produção de celulose. Assim, as estimativas obtidas refletem uma situação que pode ser generalizada no contexto do germoplasma utilizado.

Os dois ambientes de avaliação apresentam diferenças expressivas com relação ao relevo e ao tipo de solo. O ambiente 1 situa-se em uma região plana, em fundo de vale e com solo do tipo aluvial. Já o ambiente 2 é caracterizado por uma topografia inclinada e apresenta solo do tipo Latossolo. Embora ocorram diferenças expressivas entre os ambientes, nas análises conjuntas para os quatro caracteres (Tabela 3A), constatou-se que a interação progênies x ambientes foi significativa somente para AE e DB. Porém, mesmo para esses dois caracteres, as estimativas das correlações genéticas entre as médias dos desempenhos das progênies nos dois ambientes foram elevadas (superiores a 0,75) (dados não apresentados). Esses resultados indicam que a interação observada foi predominantemente simples, ou seja, a classificação das progênies não sofreu alteração expressiva entre os ambientes avaliados (Vencovsky e Barriga, 1992). Por essa razão, os resultados serão apresentados na média de ambientes. Efeitos significativos entre progênies ($P \leq 0,01$) foram observados nas análises para todas as características consideradas (Tabelas 1A, 2A e 3A). Assim, pode-se inferir que existe variabilidade entre as progênies avaliadas e que há possibilidades de ganhos com a seleção para todas as características.

No melhoramento genético do *Eucalyptus* no Brasil, no século passado, a ênfase foi direcionada ao aumento do volume de madeira. O progresso genético obtido foi expressivo (Silva e Barrichello, 2006). Contudo, mais

recentemente, no intuito de aumentar a eficiência do processo foi também dada ênfase às propriedades tecnológicas da madeira. A partir de então, os melhoristas tiveram que manusear vários caracteres com diferentes unidades de medida. Nessa condição, o trabalho de seleção se torna mais difícil (Falconer e Mackay, 1996; Bernardo, 2002).

Para se avaliar qual a melhor estratégia de seleção para vários caracteres, as estimativas das correlações genéticas são relevantes. As estimativas das correlações genéticas na média de progênies dos quatro caracteres envolvidos, dois a dois, são apresentadas na Tabela 1. É necessário enfatizar que o caráter álcali efetivo é medido em porcentagem. No processo de polpação, quanto menor a quantidade de reagente utilizada na extração da lignina, melhor. Para tornar todas as características atuantes na mesma direção, os valores de álcali efetivo foram submetidos a uma regra de três inversa, de modo que quanto maior o valor, mais eficiente é o processo. A estimativa da correlação genética envolvendo esse caráter com RD foi alta e positiva. Pode-se inferir que pelo menos uma parte dos genes envolvidos no controle dos caracteres AE e RD é a mesma, sendo pleiotrópicos ou ligados (Falconer e Mackay, 1996). Eles estão atuando na mesma direção, o que é desejável pelos melhoristas. Essa condição é muito favorável para a seleção simultânea dos caracteres. Já as estimativas da correlação entre AE e DB e, também entre os caracteres DB e RD, foram negativas. Nessas condições, os efeitos dos genes pleiotrópicos ou ligados, envolvidos no controle dos caracteres, atuam em direções opostas. As correlações com IMA chamam atenção, pois foram todas positivas e uma delas praticamente nula. Em princípio, esse resultado permite inferir que a seleção apenas para volume de madeira, realizada no passado, não deve ter tido maior influência na expressão dos caracteres associados à qualidade da madeira.

Essas discrepâncias nas estimativas das correlações são esperadas, pois dependem da variação genética existente na população avaliada. Além disso,

como esses caracteres são certamente controlados por vários genes, as estimativas das correlações podem variar dependendo daqueles que estão segregando. Na literatura, as estimativas de correlações genéticas entre caracteres de crescimento e as propriedades tecnológicas são também bastante variáveis. Em progênies de meios-irmãos de *E. camaldulensis*, a estimativa da correlação envolvendo os caracteres volume (V) e DB foi de 0,43 (Paula et al., 2002); quando se utilizaram clones, a estimativa também foi positiva (0,11) (Tolfo et al., 2005). No caso de correlação genética entre diâmetro à altura do peito (DAP) e DB, foram encontradas estimativas positivas, variando de 0,23 a 0,52 (Paula et al., 2002; Tolfo et al., 2005). Por outro lado, na avaliação de progênies híbridas de meios-irmãos de *E. grandis* x *E. urophylla* foram encontradas estimativas de correlações genéticas entre circunferência à altura do peito (CAP) e DB variando de -0,57 a -0,39, nos três locais avaliados (Bison et al., 2006). Estimativas de correlações entre os caracteres DAP e DB com magnitudes semelhantes às anteriores foram encontradas em progênies de meios-irmãos de *E. globulus* (Apiolaza et al., 2005) e *E. nitens* (Hamilton et al., 2009).

No melhoramento do *Eucalyptus* para produção de celulose e papel, a estimativa de correlação genética entre caracteres de crescimento e RD é de grande relevância. Na literatura foi encontrada estimativa de correlação entre DAP e RD variando de 0,12 a 0,23 (Costa e Silva et al., 2009; Hamilton et al., 2009). Especificamente quando se trata de estimativas de correlação genética entre as propriedades tecnológicas da madeira, foram obtidas estimativas entre DB e RD variando de zero a 0,36 (Costa e Silva et al., 2009; Hamilton et al., 2009).

Procurou-se também verificar o efeito da seleção quando essa é aplicada em um caráter e a resposta correlacionada em outro. A seleção direta sobre IMA proporcionou resposta correlacionada positiva nos outros três caracteres (Tabela

2). Contudo, a magnitude da resposta correlacionada de AE em relação à seleção direta sobre IMA foi de 48,16%; de DB em relação a IMA, 46,84% e de RD em relação a IMA, 5,15%. A situação mais complexa ocorre se a seleção for efetuada para os caracteres relacionados à qualidade da madeira, como, por exemplo, a seleção em RD e resposta correlacionada para DB que foi em sentido contrário ao da seleção direta para DB.

Na literatura foram encontrados alguns trabalhos em que foi abordada a resposta correlacionada com a seleção (Paula et al., 2002; Martins et al., 2003; 2006). Em um desses, foram comparadas diferentes estratégias de seleção em progênies de meios-irmãos de *E. camaldulensis* (Paula et al., 2002). Constatou-se que as respostas correlacionadas com a seleção foram em sentidos desejáveis ao do melhoramento, assim como ocorreu na seleção direta para IMA no presente trabalho. No entanto, a seleção praticada sobre volume comercial sem casca foi a que maximizou os ganhos em relação à biomassa de lenho, volume comercial com casca, diâmetro à altura do peito, altura e densidade básica. Outro fato a ser comentado é que as estimativas de respostas correlacionadas com a seleção para DB foram de menor magnitude do que aquelas encontradas para caracteres de crescimento. Em outros trabalhos (Martins et al., 2003; 2006), foram avaliadas progênies de meios-irmãos de *E. grandis*. Nestes casos, observou-se que as seleções diretas e as respostas correlacionadas com a seleção não proporcionaram ganhos satisfatórios para os cinco caracteres avaliados. Vale ressaltar que o interesse era de se obter acréscimo para CAP, altura e número de árvores normais por parcela e decréscimo para os caracteres incidência de ferrugem e de cancro. Em nenhum dos experimentos avaliados essa combinação de resultados foi atingida, considerando a seleção direta para qualquer uma das características avaliadas.

Em uma situação como a descrita no presente trabalho, a melhor opção é utilizar um índice de seleção para o melhoramento dos quatro caracteres

simultaneamente (Bernardo, 2002; Cruz e Carneiro, 2006). Na literatura há inúmeras propostas de índices de seleção. O primeiro proposto e mais conhecido é o índice de Smith e Hazel, também denominado índice clássico. Outra opção de índice de fácil obtenção e interpretação é o somatório das variáveis padronizadas, índice Z (Mendes et al., 2009). Neste último, o índice foi submetido à análise de variância via MQM e também utilizado REML/BLUP. Observa-se que houve correspondência de 100% entre as sete melhores progênies identificadas através dos dois procedimentos (Tabela 3).

Na literatura, há menções ao fato de que, no caso de experimentos desbalanceados, o procedimento de REML/BLUP apresenta vantagens em relação à análise de variância tradicionalmente utilizada (RESENDE, 2002, 2007a). No presente trabalho, houve perda de 20% das árvores e não houve vantagem no emprego do REML/BLUP. Diante do exposto, os comentários a serem realizados relativos ao índice Z serão focados predominantemente pelo procedimento de MQM.

Na comparação entre os índices de seleção Z e clássico, verifica-se que a coincidência entre as progênies selecionadas foi boa, quatro progênies em sete (Tabela 3). Em termos de ganho esperado com a seleção, o índice Z apresentou estimativa semelhante ao clássico.

Na Figura 1 são apresentados os gráficos das progênies que apresentaram o melhor e o pior desempenho na média dos dois ambientes avaliados, de acordo com o índice Z. Nota-se que a progênie 58 apresentou comportamento superior à média da população para os quatro caracteres avaliados, sendo identificada como a de melhor desempenho. Esse resultado evidencia possibilidades de ganho com a seleção com essa progênie, ao passo que a progênie 23, com pior desempenho entre as 66 avaliadas, apresentou comportamento inferior à média da população para os quatro caracteres: IMA, AE, DB e RD.

Diante do exposto, pode-se inferir que o índice Z associa simplicidade na estimativa, pois não necessita de estimativas precisas de variâncias e covariâncias genéticas e fenotípicas, com a possibilidade de se obter um gráfico que permite a melhor visualização da contribuição de cada variável para a expressão do índice (Mendes et al., 2009).

Conclusões

A coincidência entre as melhores progênies selecionadas pelos índices clássico e Z foi boa. Porém, o índice Z, quando aliado à visualização gráfica, possibilita verificar em quais caracteres a progênie apresenta alguma deficiência.

Não houve diferença entre as melhores progênies selecionadas pelo índice Z via MQM e BLUP.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de doutorado concedida à primeira autora; à Capes; à Fapemig e à Celulose Nipo-Brasileira S.A., pela concessão dos dados utilizados neste trabalho.

Referências

- APIOLAZA, L.A.; RAYMOND, C.A.; YEO, B.J. Genetic variation of physical and chemical wood properties of *Eucalyptus globulus*. **Silvae Genetica**, v.54, p.160-166, 2005.
- ASSIS, T.F. Melhoramento para produtividade e qualidade de celulose de fibra curta. In: WORKSHOP SOBRE MELHORAMENTO DE ESPÉCIES FLORESTAIS E PALMÁCEAS NO BRASIL, 2001, Curitiba: Embrapa Florestas, 2001. p. 193-214.
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Woodbury, Minnesota: Stemma Press, 2002. 368p.
- BISON, O.; RAMALHO, M.A.P.; REZENDE, G.D.S.; AGUIAR, A.M.; RESENDE, M.D.V. Comparison between open progenies and hybrids performance in *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla*. **Silvae Genetica**, v.55, p.192-196, 2006.
- COSTA E SILVA, J.; BORRALHO, N.M.G.; ARAÚJO, J.A.; VAILLANCOURT, R.E.; POTTS, B.M. Genetic parameters for growth, wood density and pulp yield in *Eucalyptus globulus*. **Tree Genetics & Genomes**, v.5, p.291-305, 2009.
- CRUZ, C.D. **PROGRAMA GENES: versão Windows**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001. 648p.
- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, v.2, 2006. 585p.
- FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 1987. 279p.
- FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics**. London: Longman Malaysia, 1996. 463p.
- FONSECA, S.M. da; RESENDE, M.D.V. de; ALFENAS, A.C.; GUIMARÃES, L.M. da S.; ASSIS, T.F.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual Prático de Melhoramento Genético do Eucalipto**. Viçosa: UFV, 2010. 200p.

- HAMILTON, M.G.; RAYMOND, C.A.; HARWOOD, C.E., POTTS, B.M. Genetic variation in *Eucalyptus nitens* pulpwood and wood shrinkage traits. **Tree Genetics & Genomes**, v.5, p.307-316, 2009.
- HAZEL, L.N. The genetic basics for constructing selections indexes. **Genetics**, v.28, p.476-490, 1943.
- MARTINS, I.S.; CRUZ, C. D.; REGAZZI, A.J.; PIRES, I.E. Eficiência da seleção univariada direta e indireta e de índices de seleção em *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.27, p.327-333, 2003.
- MARTINS, I.S.; MARTINS, R.C.C.; PINHO, D. dos S. Alternativas de índices em uma população de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Revista Cerne**, v.12, p.287-291, 2006.
- MENDES, F.F.; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A. de F. Índice de seleção para escolha de populações segregantes do feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1312-1318, 2009.
- PAULA, R.C. de; PIRES, I.E.; BORGES, R.C.G; CRUZ, C.D. Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.159-165, 2002.
- PIEPHO, H. P.; MÖHRING, J.; MELCHINGER, A. E.; BÜCHSE, A. BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. **Euphytica**, n.161, p. 209–228, 2008.
- RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F.; OLIVEIRA, A.C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: UFLA, 2005. 300p.
- RESENDE, M.D.V. **Software Selegen – REML/ BLUP**: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos mistos. Colombo: Embrapa Florestas, 2007a. 359p.
- RESENDE, M.D.V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007b. 561p.
- ROCHA, M. das G.B.; PIRES, I.E.; XAVIER, A.; CRUZ, C.D.; ROCHA, R.B. Avaliação genética de progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus urophylla* utilizando os procedimentos REML/BLUP e E(QM). **Revista Ciência Florestal**, n.16, p.369-379, 2006a.

ROCHA, M. das G.B.; PIRES, I.E.; ROCHA, R.B.; XAVIER, A.; CRUZ, C.D. Avaliação genética de progênes de meio-irmãos de *Eucalyptus grandis* por meio dos procedimentos REML/BLUP e da ANOVA. **Revista Scientia Florestalis**, n.71, p.99-107, 2006b.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT User's guide**: verson 8. Cary, 2000.

SILVA, P.H.M.; L.E.G. BARRICHELO. Progressos recentes na área florestal. In: PATERNIANI, E. (Ed.). **Ciência, Agricultura e Sociedade**. Brasília: Embrapa, 2006, p.439-456.

SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection. **Annual Eugenics**. Cambridge, v.7, p.240-250, 1936.

TOLFO, A.L.T.; PAULA, R.C. DE; BONINE, C.A.V.; BASSA, A.; VALLE, C.F.do. Parâmetros genéticos para caracteres de crescimento, de produção e tecnológicos da madeira em clones de *Eucalyptus* spp. **Scientia Florestalis**, n.67, p.101-110, 2005.

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

Tabelas e figuras

Tabela 1 Estimativas das correlações genéticas entre os diferentes caracteres: incremento médio anual (IMA), em m³/ha/ano; álcali efetivo (AE), em porcentagem; densidade básica (DB), em kg/m³ e rendimento depurado em celulose (RD), em porcentagem

Característica	IMA	AE	DB	RD
IMA	1,00	0,47	0,40	0,05
AE		1,00	-0,31	0,72
DB			1,00	-0,40
RD				1,00

Tabela 2 Estimativas dos ganhos com a seleção (GS), em porcentagem e magnitudes da seleção direta e resposta correlacionada com a seleção para os caracteres: incremento médio anual (IMA), em m³/ha/ano; álcali efetivo (AE), em porcentagem; densidade básica (DB), em kg/m³ e rendimento depurado em celulose (RD), em porcentagem

Seleção efetuada no caráter (%)	Magnitude da resposta correlacionada com a seleção (%)				GS*(%)	h_{mp}^2
	IMA	AE	DB	RD		
IMA	100,00	48,16	46,84	5,15	43,85	0,9127
AE	45,86	100,00	-35,90	72,65	8,66	0,8690
DB	34,16	-27,50	100,00	-35,23	5,19	0,6656
RD	4,85	71,75	-55,67	100,00	2,04	0,8582

* Ganho obtido com a seleção direta.

Tabela 3 Melhores progênies identificadas pelos índices clássico e Z, utilizando o método dos quadrados mínimos (MQM) e melhor predição linear não viesada (BLUP)

Classificação	Índices		
	MQM		BLUP
	Clássico	Índice Z	Índice Z
1	58	58	58
2	59	59	59
3	64	21	21
4	20	6	6
5	7	42	42
6	42	8	7
7	43	7	8
Ganho de seleção (%)	43,60	46,68	48,07

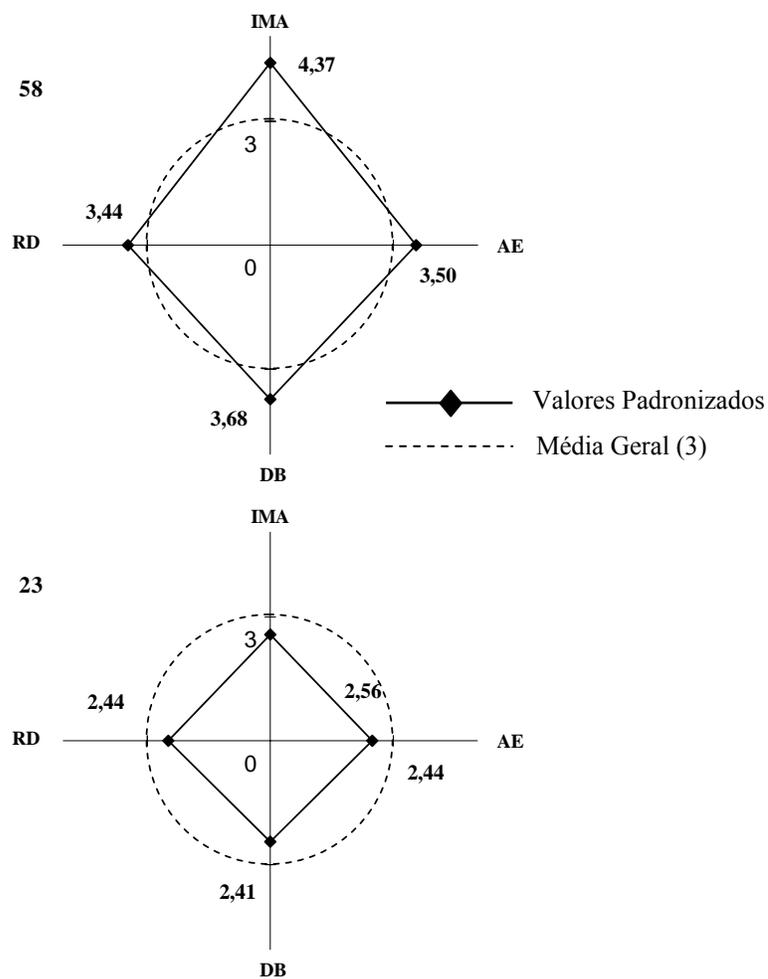


Figura 1 Representação gráfica dos valores padronizados dos caracteres incremento médio anual (IMA), álcali efetivo (AE), densidade básica (DB) e rendimento depurado em celulose (RD) das progênies de *Eucalyptus grandis* e *urophylla* que apresentaram o maior e o menor valor de Z na média de ambientes

ANEXOS

Tabela 1A Análises de deviances para os caracteres incremento médio anual de madeira (IMA), em m³/ha/ano; densidade básica (DB), em kg/m³; álcali efetivo (AE), em porcentagem e rendimento depurado de celulose (RD), em porcentagem, obtidas na avaliação de progêneses híbridas de irmãos germanos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* em Ipaba, MG, ambiente 1

Efeito	Ambiente 1							
	IMA		DB		AE ⁺⁺		RD	
	Deviance	LRT ¹	Deviance	LRT ¹	Deviance	LRT ¹	Deviance	LRT ¹
Progêneses ⁺	17.540,39	116,93**	16.897,94	122,11**	9.998,63	129,14**	3.442,85	91,79**
Parcela ⁺	17.425,31	1,85 ^{NS}	16.843,76	67,93**	9.899,88	30,49**	3.427,09	76,03**
Modelo Completo	17.423,46	-	16.775,83	-	9.869,49	-	3.351,06	-
Variância genética entre progêneses	199,04		449,73		12,46		0,47	
Variância ambiental entre parcelas	21,16		180,17		3,83		0,28	
Variância genética dentro de parcela	1.021,24		1.121,71		39,59		1,58	
Variância fenotípica	1.241,45		1.751,61		55,89		2,33	
Herdabilidade na média de progêneses	0,87		0,87		0,88		0,83	

¹ Teste da razão da verossimilhança, com distribuição com 1 grau de liberdade; ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de χ^2 (1% = 6,63; 5% = 3,84); ⁺ Deviance do modelo ajustado sem os referidos efeitos e ⁺⁺ Valores invertidos

Tabela 2A Análises de deviances para os caracteres incremento médio anual de madeira (IMA), em m³/ha/ano; densidade básica (DB), em kg/m³; álcali efetivo (AE), em porcentagem e rendimento depurado de celulose (RD), em porcentagem, obtidas na avaliação de progênies híbridas de irmãos germanos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* em Ipaba, MG, ambiente 2

Efeito	Ambiente 2							
	IMA		DB		AE ⁺⁺		RD	
	Deviance	LRT ¹	Deviance	LRT ¹	Deviance	LRT ¹	Deviance	LRT ¹
Progênies ⁺	18.100,22	150,53**	17.822,58	34,68**	10.690,01	190,11**	3.856,59	125,63**
Parcela ⁺	17.949,81	0,12NS	17.917,47	129,57**	10.510,02	10,12**	3.756,42	25,46**
Modelo Completo	17.949,69	-	17.787,90	-	10.499,90	-	3.730,96	-
Variância genética entre progênies	184,43		172,23		16,76		0,54	
Variância ambiental entre parcelas	4,75		279,81		2,181		0,16	
Variância genética dentro de parcela	956,73		1.155,36		41,76		1,79	
Variância fenotípica	1.145,92		1.607,40		60,70		2,50	
Herdabilidade na média de progênies	0,88		0,67		0,92		0,87	

¹ Teste da razão da verossimilhança, com distribuição com 1 grau de liberdade; ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de χ^2 (1% = 6,63); ⁺ Deviance do modelo ajustado sem os referidos efeitos e ⁺⁺ Valores invertidos

Tabela 3A Análises de deviances para os caracteres incremento médio anual de madeira (IMA), em m³/ha/ano; densidade básica (DB), em kg/m³; álcali efetivo (AE), em porcentagem e rendimento depurado de celulose (RD), em porcentagem, obtidas na avaliação de progênes híbridas de irmãos germanos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* em Ipaba, MG, dados na média de ambientes

Efeito	Conjuntas de ambientes							
	IMA		DB		AE ⁺⁺		RD	
	Deviance	LRT ¹	Deviance	LRT ¹	Deviance	LRT ¹	Deviance	LRT ¹
Progênes ⁺	35.377,15	81,48**	34.575,46	22,57**	20.373,93	63,29**	7.091,44	59,12**
Parcela ⁺	35.296,34	0,67 ^{NS}	34.750,35	197,46**	20.349,04	38,40**	7.127,57	95,25**
Progênes x Locais	35.296,04	0,37 ^{NS}	34.571,68	18,79**	20.323,01	12,37**	7.035,84	3,52 ^{NS}
Modelo Completo	35.295,67	-	34.552,89	-	20.310,64	-	7.032,32	-
Variância genética entre progênes	189,23		209,22		13,051		0,47	
Variância ambiental entre parcelas	9,08		231,76		3,03		0,22	
Variância da interação genótipos x ambientes	2,84		94,02		1,60		0,04	
Variância genética dentro de parcelas	991,25		1.139,31		40,68		1,69	
Variância fenotípica	1.192,4		1.674,31		58,36		2,42	

¹ Teste da razão da verossimilhança, com distribuição com 1 grau de liberdade; ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de χ^2 (1% = 6,63); ⁺ Deviance do modelo ajustado sem os referidos efeitos e ⁺⁺ Valores invertidos

Tabela 4A Análises de devianças para o índice Z obtido na avaliação de progênies híbridas de irmãos germanos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* em Ipaba, MG, dados por ambientes e da conjunta de ambientes

Efeito	Índice Z					
	Ambiente 1		Ambiente 2		Conjunta	
	Deviance	LRT ¹	Deviance	LRT ¹	Deviance	LRT ¹
Progênies ⁺	6.825,62	23,59**	6.983,42	13,52**	13.788,17	10,82**
Parcela ⁺	7.002,23	200,2**	7.046,10	76,20**	14.048,11	270,76**
Progênies x Locais	-	-	-	-	13.781,41	4,06*
Modelo Completo	6.802,03	-	6.969,90	-	13.777,35	-
Variância genética entre progênies	0,88		0,39		0,45	
Variância ambiental entre parcelas	2,06		1,05		1,55	
Variância genética dentro de parcelas	6,55		6,72		6,64	
Variância fenotípica	9,48		8,17		8,83	
Herdabilidade na média de progênies	0,60		0,51		0,57	
Variância da interação genótipos x ambientes	-		-		0,19	

¹ Teste da razão da verossimilhança, com distribuição com 1 grau de liberdade; * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de χ^2 (5% = 3,84) ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de χ^2 (1% = 6,63) e ⁺ Deviance do modelo ajustado sem os referidos efeitos