

Estimativas de parâmetros genéticos para seleção precoce de clones de *Eucalyptus* para região com ocorrência de geadasGenetic parameters of *Eucalyptus* clones for early selection in frost occurrence regionCristiano Bueno de Moraes¹, Talitha Casella Moreira de Freitas², Gustavo Bloise Pieroni³, Marcos Deon Vilela de Resende⁴, Léo Zimback⁵ e Edson Seizo Mori⁶**Resumo**

Além de procurar o aumento da produtividade, a adaptação a solos e clima são também metas do melhoramento genético. Espécies perenes como *Eucalyptus spp.*, possuem um ciclo muito longo e a ocorrência de geadas tornam seu cultivo limitante. O objetivo do estudo foi determinar a variabilidade genética de clones para plantio na região do município de Palma Sola, SC com eventos de geadas e determinar correlações genéticas entre idades de seleção. Um teste clonal foi instalado em 2008 no município de Palma Sola, SC no delineamento estatístico de blocos completos ao acaso, sendo avaliados 29 clones, seis repetições, seis plantas por parcela e espaçamento de 3,0 m x 3,0 m. Os caracteres silviculturais altura total de plantas, diâmetro à altura do peito (DAP) e volume de madeira foram avaliados aos 24, 36, 48 e 60 meses após o plantio. A análise de deviance e as estimativas dos parâmetros genéticos foram realizadas com base no procedimento genético estatístico REML/BLUP. Diferenças significativas foram observadas para todos os caracteres na análise de deviance. Correlações altas e significativas entre os caracteres foram observadas, indicando que a seleção precoce gerará ganhos significativos. Parte dos clones avaliados (USP/IPEF 64, USP/IPEF 78, USP/IPEF 52, USP/IPEF 68 e USP/IPEF 74) apresenta potencial para ser aproveitado no programa de melhoramento genético da empresa e em plantios comerciais na região onde se encontra o município de Palma Sola.

Palavras-chave: melhoramento; correlação; seleção de clones; tolerância ao frio.

Abstract

Further to increase the wood yield, is important goal of forest tree breeding the adaptation of clones through diverse environment, especially for soil and climate. Perennial tree species such as eucalypts, have a long life cycle and the frosts can occur and to be their limiting source of cultivation. The aim of the study was to determine the genetic variability and the genetic correlations between selection ages of clones cultivated in the municipality of Palma Sola, SC, Brazil, where frosts are common in the winter. A clonal trial was set up in 2008 in Palma Sola, by statistical design of randomized complete blocks considering 29 clones, six replications, six plants per plot, and 3.0m x 3.0 m spacing. The silvicultural characters of total plant height, diameter of breast height (dbh), and wood volume were evaluated through 24, 36, 48, and 60 months old. The deviance analysis and estimates of genetic parameters were based on the REML / BLUP genetic statistical procedure. Significant differences were observed for all traits in the deviance analysis. High correlations and statistically significant between characters were observed, indicating that the early selection will provide significant gains. Part of the clones USP/IPEF 64, USP/IPEF 78, USP/IPEF 52, USP/IPEF 68, and USP/IPEF 74) are potential to be used into the breeding programs and in commercial stands into the studied frost regions.

Keywords: improvement; correlation; clone selection; cold tolerance.

¹Aluno de Pós-Graduação em Ciência Florestal. Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - FCA/UNESP - Fazenda Experimental Lageado, Rua José Barbosa de Barros, 1780 - 18.610-307 - Botucatu, SP. E-mail: cbueno@fca.unesp.br ou cb_moraes2004@yahoo.com.br.

²Aluna de Graduação Engenharia Florestal. Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - FCA/UNESP - Fazenda Experimental Lageado, Rua José Barbosa de Barros, 1780 - 18.610-307 - Botucatu, SP.

³Engenheiro Florestal. Empresa Palmasola S.A. Av. Crestani, 515, Centro, Palma Sola, SC.

⁴Pesquisador Científico. Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. Estrada da Ribeira, Km 111 - 83411-000 - Colombo, PR - Caixa Postal: 319.

⁵Pesquisador Científico. IF - Instituto Florestal do Estado de São Paulo. Floresta Estadual de Botucatu, Avenida José Ítalo Bacchi s/n, Aeroporto - 18603-970 - Botucatu, SP.

⁶Professor Titular do Departamento de Melhoramento Vegetal. Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - FCA/UNESP - Fazenda Experimental Lageado, Rua José Barbosa de Barros, 1780 - 18.610-307 - Botucatu, SP.

INTRODUÇÃO

O melhoramento florestal é uma das atividades mais antigas da humanidade, sendo considerada uma das mais importantes para a silvicultura mundial (ZOBEL; TALBERT, 1984; BORÉM; MIRANDA, 2009; FONSECA et al., 2010). O Brasil, ao longo do tempo, aperfeiçoou e desenvolveu tecnologias para o cultivo de espécies florestais exóticas, como por exemplo, para o eucalipto, conduzindo a expressivos ganhos de produtividade em madeira comparativamente a outros países (ABRAE, 2012), sendo beneficiado por condições de solo e clima favoráveis ao crescimento das árvores. A evolução da produtividade do *Eucalyptus* ocorreu principalmente pelo início das pesquisas pelo Instituto Florestal do Estado de São Paulo em 1964 e pela criação do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF que deu continuidade aos trabalhos (FOELKEL, 2007).

Com o avanço das pesquisas nas décadas de 1970 e 1980 e com o início do processo operacional de clonagem no estado de Espírito Santo, no município de Aracruz (CAMPINHOS JR.; IKEMORI, 1987), o país passou a desempenhar importante papel em termos de plantações florestais de eucaliptos para a produção de madeira (MASSARO et al., 2010).

Hoje a cultura do eucalipto é uma das principais culturas do agronegócio brasileiro. O Brasil encontra-se entre os maiores produtores de madeira de *Eucalyptus* (ABRAE, 2012), sendo a média nacional de produtividade em 2011 de 40,1 m³.ha⁻¹.ano⁻¹, sendo que em alguns casos pode, devido às condições de solo, clima e material genético, atingir a marca de 55 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ (FOELKEL, 2007). Isto mostra a importância deste trabalho que procura atingir metas de adaptação da cultura a novos ambientes e, com isto, acrescentar mais rendimentos à cultura.

Entre os fatores que limitam esta produção de madeira de *Eucalyptus* em grande escala no país, e em outras regiões do mundo, destacam-se as ocorrências de fatores adversos, como por exemplo, geadas e secas severas (HIGA et al., 1994; SILVA et al., 2009; CARON et al., 2011).

Nos casos de regiões de ocorrência de baixas temperaturas, principalmente abaixo de 0 °C, vários danos são ocasionados e os efeitos nas espécies do gênero *Eucalyptus* que vão desde a queda das folhas, morte do ponteiro apical até a morte das plantas (HIGA et al., 2000; TIBBITS; HODGE, 2003; MORAES et al., 2011a).

Para auxiliar o melhorista no trabalho de obtenção e seleção de material genético superior para diversas condições ambientais, as estimativas dos parâmetros genéticos, tais como os coeficientes de variação genética e de herdabilidade, são de grande utilidade no planejamento dos programas de melhoramento (CAMARGO et al., 2004; SEBBENN et al., 2008a, 2008b; ROSADO et al., 2009; MORAES et al., 2011b; MIRANDA et al., 2013).

Por sua vez, para viabilizar a redução do tempo na seleção de materiais superiores, a estimativa de correlação genética nas diferentes idades reveste-se de grande utilidade (KAGEYAMA; VENCOVSKY, 1983; VENCOVSKY; BARRIGA, 1992; WENG et al., 2007; LIMA et al., 2011).

Na seleção precoce, os caracteres avaliados em idades mais jovens da rotação são usados como preditores na idade de rotação da cultura, antecipando os ganhos genéticos no tempo (REZENDE et al., 1994; WU, 1998; MASSARO et al., 2010; ZIMBACK et al., 2011; BELTRAME et al., 2012; MADHIBHA et al., 2013).

O presente estudo objetivou estimar a variabilidade genética e as herdabilidades a diferentes idades em clones de eucalipto plantados em localidade sujeita a geadas de forte intensidade para possibilitar o uso da seleção precoce na definição de clones aptos para plantio em regiões aonde prevalecem tais condições climáticas.

MATERIAL E MÉTODOS

Um teste clonal de *Eucalyptus* foi implantado na Fazenda Piscina da empresa Palmasola, localizada no município de Palma Sola no Estado de Santa Catarina. As mudas clonais utilizadas no teste foram adquiridas do Instituto de Estudos e Pesquisas Florestais – IPEF, sendo vinte clones de *E. dunnii*, cinco de *E. saligna*, um clone híbrido *Corymbia torelliana* x *C. citriodora*, um clone híbrido de *E. grandis* x *E. camaldulensis* e dois clones de espécie desconhecida registrados como USP/IPEF 023 e USP/IPEF 054, totalizando 29 clones. O experimento foi instalado em 2008, no delineamento estatístico blocos completos casualizados, contendo os 29 clones, seis plantas/parcela e seis repetições. O espaçamento entre plantas foi de 3 m x 3 m.

O ensaio foi instalado em Latossolo Bruno Distrófico, textura argilosa, com cobertura vegetal originária de florestas e campos. O clima do local de plantio, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa (mesotérmico úmido, com verões quentes e invernos rigorosos, com

temperaturas médias de 17,4 °C e precipitação anual média de 2.200 mm). As coordenadas geográficas são: latitude 26°20'51" S, longitude 53°16'42" W, a uma altitude de 870 metros.

Foram avaliadas no teste clonal as seguintes variáveis de crescimento: 1. altura total das plantas (ALT, em metros), 2. diâmetro à altura do peito (DAP, em centímetros) e 3. volume de madeira por árvore (VOL, em m³) nas idades de 24, 36, 48 e 60 meses.

Para o cálculo do volume de madeira a expressão usada foi desenvolvida pela Empresa Palmasola em seus plantios:

$$VOL(m^3) = \frac{0,027196645 * (DAP^{1,752458725}) * (ALT^{1,264704686})}{1000}$$

Em que:

Volume: volume da árvore em metros cúbicos;
DAP: diâmetro à altura do peito (1,30 m do solo) em centímetros e
ALT: altura da árvore em metros.

As estimativas dos parâmetros genéticos foram realizadas pelo programa SELEGEN (RESENDE, 2007a; 2007b), utilizando o modelo para genótipos sem parentesco:

$$y = Xb + Zg + Wc + e$$

em que

y , b , g , c e e : vetores de dados, dos efeitos de blocos (fixos), dos efeitos genotípicos (fixos), de efeitos de parcela (aleatórios) e dos erros aleatórios, respectivamente. X , Z e W : matrizes de incidência para b , g e c , respectivamente.

Segue abaixo as distribuições e estruturas de médias e variâncias:

$$y|b, V \sim N(Xb, V)$$

$$a | \sigma_g^2 \sim N(0, \sigma_g^2)$$

$$c | \sigma_c^2 \sim N(0, I \sigma_c^2)$$

$$e | \sigma_e^2 \sim N(0, I \sigma_e^2)$$

$$Cov(g, c') = 0; \quad Cov(g, e') = 0; \quad Cov(c, e') = 0$$

ou seja:

$$E \begin{bmatrix} y \\ g \\ c \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad e \quad Var \begin{bmatrix} y \\ g \\ c \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V & ZG & WC & R \\ GZ' & G & 0 & 0 \\ CW' & 0 & C & 0 \\ R & 0 & 0 & R \end{bmatrix}$$

em que:

$$G = I \sigma_g^2$$

$$R = I \sigma_c^2$$

$$C = I \sigma_e^2$$

$$V = ZI \sigma_g^2 Z' + WI \sigma_c^2 W' + I \sigma_e^2 = ZGZ' + WCW' + R.$$

Equações de modelo misto:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W \\ Z'X & Z'Z + I\lambda_1 & Z'W \\ W'X & W'Z & W'W + I\lambda_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{g} \\ \hat{c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \end{bmatrix}$$

em que:

$$\lambda_1 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_g^2} = \frac{1-h^2-c^2}{h^2}; \quad \lambda_2 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_c^2} = \frac{1-h^2-c^2}{c^2}$$

$$h^2_{mc}(\%) = \frac{\sigma_g^2 \cdot 100}{\sigma_g^2 + \frac{\sigma_c^2}{b} + \frac{\sigma_e^2}{nb}} \quad \begin{array}{l} \text{herdabilidade} \\ \text{média de clones;} \end{array}$$

$$CV_{exp}(\%) = \frac{\sqrt{\frac{\sigma_e^2}{n} + \sigma_c^2}}{\hat{m}} \cdot 100 \quad \begin{array}{l} \text{Coeficiente de} \\ \text{variação} \\ \text{experimental;} \end{array}$$

$$CV_g(\%) = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\hat{m}} \cdot 100 \quad \begin{array}{l} \text{Coeficiente de} \\ \text{variação genética.} \end{array}$$

$$CV_r = \frac{CV_g(\%)}{CV_{exp}(\%)} \quad \text{relação entre o coeficiente de variação genético e o coeficiente de variação ambiental;}$$

Onde:

σ_b^2 : variância genotípica entre clones;

σ_c^2 : variância entre parcelas;

σ_e^2 : variância residual (ambiental dentro de parcelas + não aditiva);

n : número de plantas por parcela;

b : número de blocos.

Os estimadores iterativos dos componentes de variância por REML via algoritmo EM estão apresentados abaixo:

$$\hat{\sigma}_g^2 = [y'y - \hat{b}' X'y - \hat{g}' Z'y - \hat{c}' W'y] / [N - r(x)]$$

$$\hat{\sigma}_g^2 = [\hat{g}' \hat{g} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr}(C^{22})] / q$$

$$\hat{\sigma}_c^2 = [\hat{c}' c + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr}(C^{33})] / s,$$

em que: C^{22} e C^{33} advêm de:

$$C^{-1} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12} & C^{13} \\ C^{21} & C^{22} & C^{23} \\ C^{31} & C^{32} & C^{33} \end{bmatrix}$$

C: matriz dos coeficientes das equações de modelo misto.

tr: operador traço matricial.

$r(x)$: posto da matriz X.

N, q, s: número total de dados, número de clones e número de parcelas, respectivamente.

As correlações genéticas (r_g) e fenotípicas (r_f) entre os caracteres de crescimento foram determinadas pelo método de Pearson no programa SELEGEN.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na região de Palma Sola/SC ficou evidente a heterogeneidade observada para volume em termos de CV_{exp} (%) para os diferentes materiais genéticos nas condições ambientais de geadas na região onde foi instalado o experimento, mas mostrando diferenças significativas nos tratamentos evidenciado pela análise de *deviance* entre os vários clones avaliados (Tabela 1).

De acordo com os dados coletados pela Empresa Palmasola, na semana mais fria de 2008 a temperatura mínima observada foi de $-8^\circ C$ e a máxima de $10,4^\circ C$, com uma média semanal de $5^\circ C$. No ano de 2009 a semana mais fria mostrou a mínima de $-7^\circ C$ e a máxima de $11,1^\circ C$ com a média de $7^\circ C$. Dados semelhantes foram observados em 2010 com $-10^\circ C$, $10,2^\circ C$ e $6^\circ C$ respectivamente. Nestas condições foi observada uma grande amplitude de variação no desenvolvimento e no crescimento vegetativo, variando de 9,0 a 17,0 cm, 8,0 a 18,0 m e 0,028 a 0,234 m^3 , para os DAP, altura e volume respectivamente, resultados semelhantes aos en-

contrados para *Eucalyptus* para regiões de geadas severas no trabalho de MORAES et al. (2011a) mostrando ser comum esta variação nestas condições. Entretanto, os CV_{exp} (%) de altura e DAP não foram muito elevados, possibilitando uma seleção indireta para o caractere volume caso haja correlação genética consistente.

A relação entre o coeficiente de variação genética (CV_g %) e o coeficiente de variação experimental (CV_{exp} %) na Tabela 2 apresentou valores mais altos para o caractere VOL, seguida dos caracteres DAP e ALT. Quanto maiores ou iguais a um os valores deste parâmetro, mais favorável para a seleção é o caractere (VENCOVSKY, 1978; CRUZ et al., 2004), sendo exceção a avaliação aos 48 meses para os três caracteres e altura aos 24 meses.

Os CV_{exp} variaram de 10,8 % a 37,8 % para os caracteres DAP, altura e volume, mostrando uma boa precisão dos experimentos (GARCIA, 1989; PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002; GARCIA; NOGUEIRA, 2005). Valores semelhantes foram observados por Mori et al. (1988), Paula et al. (2002), Santos (2006) e Rocha et al. (2007) estudando outras espécies florestais.

O coeficiente de variação genética, que expressa, em porcentagem da média geral, a quantidade de variação genética entre clones, foram de magnitude média a elevada para todos os caracteres nas idades estudadas (CV_g %). O caractere volume foi o que apresentou maior variação genética entre os clones (23% a 37%), permitindo seleção de clones de grande produtividade.

O coeficiente herdabilidade (h^2_{mc} %) variou ao longo dos anos para os caracteres altura, DAP e volume, apresentando valores de médios a altos, conforme a Tabela 2. Os coeficientes de herda-

Tabela 1. Estimativas da média, do coeficiente de variação experimental (CV_{exp} %) e resultados da análise de *deviance* (Dev) para os caracteres: diâmetro à altura do peito, altura e volume de madeira avaliados às idades de 24, 36, 48 e 60 meses em teste clonal instalado em Palma Sola, SC.

Table 1. Estimates of the average, experimental variation coefficient (CV_{exp} %) and *deviance* analysis results (Dev) for the silvicultural traits: diameter at the breast height, height and wood volume evaluated at 24, 36, 48 and 60 months of age in Palma Sola, SC clonal trial.

| Idade (meses) | Caracteres | Média | CV_{exp} (%) | Dev |
|---------------|------------|-------|----------------|---------|
| 24 | (*) DAP | 9,2 | 10,8 | 10,03* |
| | ALT | 8,6 | 20,5 | 3,90** |
| | VOL | 0,028 | 21,96 | 12,70* |
| 36 | DAP | 11,63 | 10,84 | 13,60* |
| | ALT | 10,36 | 14,22 | 6,84* |
| | VOL | 0,056 | 24,64 | 12,28* |
| 48 | DAP | 14,92 | 18,62 | 2,72*** |
| | ALT | 16,04 | 15,39 | 3,34*** |
| | VOL | 0,147 | 37,80 | 3,14*** |
| 60 | DAP | 19,28 | 13,18 | 11,59* |
| | ALT | 19,02 | 11,78 | 6,48** |
| | VOL | 0,293 | 25,73 | 13,43* |

(*) $p < 0,01$; (**) $p < 0,05$; (***) $p < 0,10$; (*) DAP = (cm); ALT (m) e VOL = (m^3)

Tabela 2. Estimativas do coeficiente de variação genético (CV_g %), herdabilidade média entre clones (h^2_{mc} %), relação entre o coeficiente de variação genético e o coeficiente de variação ambiental (CV_r) e a acurácia seletiva (r_{aa} %) para os caracteres silviculturais: diâmetro à altura do peito, altura e volume de madeira avaliados aos 24, 36, 48 e 60 meses de idade no teste clonal em Palma Sola, SC.

Table 2. Estimates of genetic variation coefficient (CV_g %), median heritability among clones (h^2_{mc} %), genetic with experimental variation ratio coefficient (CV_r) and selective accuracy (r_{aa} %) for the silvicultural traits: diameter at the breast height, height and wood volume evaluated at 24, 36, 48 and 60 months of age in Palma Sola, SC clonal trial.

| Idade (meses) | Caracteres | CVg (%) | CVr | h^2_{mc} (%) | r_{aa} (%) |
|---------------|------------|---------|------|----------------|--------------|
| 24 | (*) DAP | 13,31 | 1,23 | 90 | 95 |
| | ALT | 13,80 | 0,67 | 75 | 86 |
| | VOL | 30,68 | 1,40 | 92 | 96 |
| 36 | DAP | 15,71 | 1,45 | 93 | 96 |
| | ALT | 14,03 | 0,99 | 85 | 92 |
| | VOL | 33,78 | 1,37 | 92 | 96 |
| 48 | DAP | 9,59 | 0,52 | 61 | 78 |
| | ALT | 9,60 | 0,62 | 70 | 84 |
| | VOL | 22,59 | 0,60 | 68 | 82 |
| 60 | DAP | 17,52 | 1,33 | 91 | 96 |
| | ALT | 11,67 | 0,99 | 85 | 92 |
| | VOL | 37,03 | 1,44 | 92 | 96 |

*DAP = (cm); ALT (m) e VOL = (m³)

bilidades em nível de média de clones estimados aos 36 meses para os caracteres DAP para (93%) e para volume de madeira (92%) foram superiores aos demais. Aos 48 meses estão os menores coeficientes para os caracteres avaliados com valores médios. Aos 60 meses os valores voltam a ser altos, sendo um bom indicativo para a seleção de materiais genéticos em idades próximas de corte nas condições ambientais do estudo. Massaro et al. (2010) obtiveram valores de 73 a 94% com clones de *Eucalyptus spp.* no Espírito Santo em várias idades e para os mesmos caracteres, mostrando que os resultados obtidos no presente estudo, apesar do efeito do frio, estão de acordo com o que se observa em condições mais favoráveis. Beltrame et al. (2012) avaliaram aos sete anos clones de *Eucalyptus spp.* no litoral do Rio Grande do Sul, com clima subtropical úmido sem ocorrência de geadas e obteve valores de herdabilidade para DAP de 97 % e para altura 92 %.

Vários são os fatores que afetam a herdabilidade, como por exemplo: o caractere estudado, o método de estimação, a diversidade na população, o nível de endogamia, o tamanho da amostra e a precisão na condução do experimento (ZOBEL; TALBERT, 1984; WHITE et al., 2007; PIRES et al., 2011). Os dois estudos relatados repetem a tendência de herdabilidade alta em testes clonais com várias espécies e híbridos de Eucalipto, então existe alta variabilidade entre os clones de Palma Sola/SC para a seleção e os coeficientes de variação experimental indicam boa condução do experimento.

A acurácia seletiva variou de 61% a 93%, sendo que para o volume de madeira em metro cúbico,

os valores variaram de 68% a 92%. Isso indica uma boa relação entre o valor genético verdadeiro e o predito. Estes valores estão compatíveis a vários outros reportados na literatura (RESENDE; DUARTE, 2007; MORAES et al., 2011b; BELTRAME et al., 2012). Segundo Resende (2002), a acurácia superior a de 50% (r_{aa}) indica que haverá uma boa precisão na seleção dos genótipos.

As correlações genéticas e fenotípicas entre as diferentes idades apresentaram valores entre moderados e altos (Tabela 3). As correlações fenotípicas entre as idades 24 meses (mais precoce) 60 meses (próxima ao final da rotação) mostraram valores propícios (70%) para a seleção com base no DAP. As correlações fenotípicas variaram de 62% entre 24 e 48 meses após o plantio, até 90% entre 48 e 60 meses após o plantio. Uma boa alternativa para a seleção seria entre a idade juvenil e adulta de 36 e 60 meses (71%), na qual grande parte dos indivíduos selecionados aos 36 meses seria aproveitada aos 60 meses.

Quanto às correlações genéticas para DAP, os valores variaram de 65% a 92% para as idades de 24 e 60 meses. Apesar do valor da correlação genética entre as idades de 24 e 60 meses apresentar-se moderado (70%), mostra-se ainda assim atraente para a seleção, diante da possibilidade de abreviar o tempo normalmente requerido para atender o programa de melhoramento genético (KAGEYAMA; VENCOSKY, 1983; REZENDE et al., 1994). Massaro et al. (2010) obtiveram correlação genética de 87% entre 25 e 72 meses para DAP, sendo superior ao obtido neste trabalho aos 24 com 60 meses.

Tabela 3. Correlações genéticas (r_g), acima da diagonal, e fenotípicas (r_f), abaixo da diagonal, entre as idades 24, 36, 48 e 60 meses para os caracteres diâmetro à altura do peito, altura de plantas e volume de madeira no teste clonal em Palma Sola, SC.

Table 3. Genetic correlations (r_g), above the diagonal, and phenotypes (r_f), under the diagonal, between the ages 24, 36, 48 and 60 months for the traits: diameter at the breast height, plants height and wood volume in Palma Sola, SC clonal trial.

| Idade meses | rg | | | | | | | | | | | | |
|-------------|----------|------|------|------|---------|------|------|------|----------|------|------|------|------|
| | DAP (cm) | | | | ALT (m) | | | | VOL (m³) | | | | |
| | 24 | 36 | 48 | 60 | 24 | 36 | 48 | 60 | 24 | 36 | 48 | 60 | |
| rf | 24 | - | 0,87 | 0,65 | 0,70 | - | 0,70 | 0,71 | 0,76 | - | 0,90 | 0,73 | 0,87 |
| | 36 | 0,85 | - | 0,70 | 0,72 | 0,70 | - | 0,82 | 0,81 | 0,89 | - | 0,83 | 0,93 |
| | 48 | 0,62 | 0,69 | - | 0,92 | 0,70 | 0,81 | - | 0,87 | 0,70 | 0,82 | - | 0,95 |
| | 60 | 0,70 | 0,71 | 0,90 | - | 0,75 | 0,80 | 0,86 | - | 0,85 | 0,90 | 0,92 | - |

Para ALT, a maior correlação genética (87%) foi entre as idades de 48 e 60 meses e a menor (70%) foi entre 24 e 60 meses, já no trabalho de Massaro et al. (2010) foi obtido um valor superior (87%) entre 24 e 72 meses. A maior correlação fenotípica foi entre as idades de 48 e 60 meses (86%). As correlações fenotípicas entre a idade mais juvenis (24 meses) e adultas (60 meses) foram relativamente baixas para ALT (75%), mas não diferiu dos dados de Massaro et al. (2010) (79% entre 25 e 72 meses).

Evidentemente, o caractere que melhor representa os ganhos comerciais é o volume de madeira (VOL). Para este caractere a maior correlação fenotípica ocorreu entre a idade de 48 meses e a de 60 meses (92%) pode ser usada em seleção precoce nos programas de melhoramento genético, no entanto a correlação de 36 com 60 meses também se apresenta boa para seleção (90%). Entre as correlações genéticas a maior foi

entre 48 e 60 meses (95%), comparando com Massaro et al. (2010), este obteve 98% entre 50 e 72 meses sendo um valor bem aproximado, também entre 24 e 60 meses (87%) e 25 com 72 meses (89%) respectivamente. O trabalho de Massaro et al. (2010) apesar de ter idades de avaliação um pouco diferentes, mostram um mesmo comportamento entre clones aumentando a eficiência da seleção precoce com o aumento da idade, mas com efeito em qualquer idade.

Na tabela 4 estão os clones que apresentaram melhor potencial para a região de Palma Sola para o caractere volume aos 60 meses: USP/IPEF 64, USP/IPEF 78, USP/IPEF 52, USP/IPEF 68 e USP/IPEF 74. Três são da espécie *E. dunnii* (USP/IPEF 64, USP/IPEF 52 e USP/IPEF 68) e dois da espécie *E. saligna* (USP/IPEF 52 e USP/IPEF 74), o melhor clone USP/IPEF 64 não diferiu estatisticamente a 5% de probabilidade dos quatro clones seguintes.

Tabela 4. Classificação de clones por volume (m³) aos 60 meses, acurácia das médias (r_{aa} (%)) e limites inferior (LI) e superior (LS) do intervalo de confiança a 5% de probabilidade.

Table 4. Clonal ranking for volume (m³) at 60 months, mean accuracy (r_{aa} (%)) and confidence interval at 5% probability with inferior (LI) and superior (LS) limits.

| Ordem | Clones | Origem | Média | r_{aa} (%) | LI | LS |
|-------|-------------|---------------------|-------|--------------|-------|-------|
| 1 | USP/IPEF 64 | <i>E. dunnii</i> | 0,381 | 94 | 0,325 | 0,437 |
| 2 | USP/IPEF 78 | <i>E. saligna</i> | 0,379 | 94 | 0,323 | 0,435 |
| 3 | USP/IPEF 52 | <i>E. dunnii</i> | 0,342 | 94 | 0,286 | 0,397 |
| 4 | USP/IPEF 68 | <i>E. dunnii</i> | 0,333 | 94 | 0,276 | 0,391 |
| 5 | USP/IPEF 74 | <i>E. saligna</i> | 0,331 | 94 | 0,275 | 0,387 |
| 6 | USP/IPEF 49 | <i>E. dunnii</i> | 0,324 | 94 | 0,265 | 0,384 |
| 7 | USP/IPEF 75 | <i>E. saligna</i> | 0,315 | 94 | 0,257 | 0,372 |
| 8 | USP/IPEF 58 | <i>E. dunnii</i> | 0,306 | 94 | 0,247 | 0,365 |
| 9 | USP/IPEF 59 | <i>E. dunnii</i> | 0,299 | 94 | 0,242 | 0,357 |
| 10 | USP/IPEF 53 | <i>E. dunnii</i> | 0,297 | 94 | 0,237 | 0,357 |
| 11 | USP/IPEF 70 | <i>E. saligna</i> | 0,289 | 94 | 0,232 | 0,346 |
| 12 | USP/IPEF 42 | <i>E. dunnii</i> | 0,240 | 94 | 0,182 | 0,298 |
| 13 | USP/IPEF 63 | <i>E. dunnii</i> | 0,226 | 94 | 0,169 | 0,284 |
| 14 | USP/IPEF 50 | <i>E. dunnii</i> | 0,223 | 94 | 0,165 | 0,280 |
| 15 | USP/IPEF 23 | <i>Desconhecido</i> | 0,219 | 85 | 0,131 | 0,308 |
| 16 | USP/IPEF 55 | <i>E. dunnii</i> | 0,219 | 94 | 0,162 | 0,277 |
| 17 | USP/IPEF 54 | <i>Desconhecido</i> | 0,198 | 93 | 0,136 | 0,260 |
| 18 | USP/IPEF 51 | <i>E. dunnii</i> | 0,189 | 94 | 0,132 | 0,246 |
| 19 | USP/IPEF 76 | <i>E. saligna</i> | 0,184 | 90 | 0,111 | 0,257 |

Tabela 4 - Continuação. Classificação de clones por volume (m³) aos 60 meses, acurácia das médias (r_{aa} (%)) e limites inferior (LI) e superior (LS) do intervalo de confiança a 5% de probabilidade.

Table 4 - Continuation. Clonal ranking for volume (m³) at 60 months, mean accuracy (r_{aa} (%)) and confidence interval at 5% probability with inferior (LI) and superior (LS) limits.

| Ordem | Clones | Origem | Média | r _{aa} (%) | LI | LS |
|-------|--------------|---|-------|---------------------|-------|-------|
| 20 | USP/IPEF 65 | <i>E. dunnii</i> | 0,177 | 94 | 0,120 | 0,235 |
| 21 | USP/IPEF 46 | <i>E. dunnii</i> | 0,172 | 94 | 0,115 | 0,229 |
| 22 | USP/IPEF 43 | <i>E. dunnii</i> | 0,171 | 94 | 0,115 | 0,228 |
| 23 | USP/IPEF 57 | <i>E. dunnii</i> | 0,168 | 94 | 0,111 | 0,225 |
| 24 | USP/IPEF 125 | <i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i> | 0,167 | 94 | 0,110 | 0,224 |
| 25 | USP/IPEF 45 | <i>E. dunnii</i> | 0,164 | 94 | 0,107 | 0,222 |
| 26 | USP/IPEF 47 | <i>E. dunnii</i> | 0,142 | 94 | 0,085 | 0,199 |
| 27 | USP/IPEF 62 | <i>E. dunnii</i> | 0,129 | 94 | 0,070 | 0,189 |
| 28 | USP/IPEF 44 | <i>E. dunnii</i> | 0,125 | 94 | 0,068 | 0,182 |
| 29 | USP/IPEF 69 | <i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i> | 0,080 | 92 | 0,012 | 0,148 |

CONCLUSÕES

- Existem variações genéticas significativas entre os clones para os caracteres silviculturais nas condições ambientais avaliadas;
- Correlações altas e significativas entre os caracteres foram observadas, indicando que a seleção precoce gerará ganhos significativos.;
- Parte dos clones avaliados (USP/IPEF 64, USP/IPEF 78, USP/IPEF 52, USP/IPEF 68 e USP/IPEF 74) apresenta potencial para ser aproveitado no programa de melhoramento genético da empresa e em plantios comerciais na região onde se encontra o município de Palma Sola.

AGRADECIMENTOS

À empresa Palmasola pelo financiamento, condução do experimento e concessão dos resultados para publicação e ao IPEF.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. Anuário estatístico da ABRAF 2012. Ano base 2011. Brasília: 2012. 150 p.

BELTRAME, R.; BISOGNIN, D. A.; MATTOS, B. D.; CARGNELUTTI FILHO, A.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A.; SANTOS, G. A. Desempenho silvicultural e seleção precoce de clones de híbridos de eucalipto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 47, n. 6, p. 791-796, 2012.

BORÉM A; MIRANDA G. V. *Melhoramento de Plantas*. 5.ed. Viçosa: UFV, 2009. 529 p.

CAMARGO, M. L. P.; MORAES, C. B.; MORI, E. S.; GUERRINI, I. A.; MELLO, E. J.; ODA, S. Considerações sobre eficiência nutricional em *Eucalyptus*. *Científica*, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 191-196, 2004.

CAMPINHOS JR., E.; IKEMORI, J. K. Clonagem de *Eucalyptus* sp. na Aracruz Florestal S/A. Problemática da produção de mudas em essências florestais. *Série Técnica IPEF*, Piracicaba, v. 4, n. 13, p. 6-11, 1987.

CARON, B. O.; SOUZA, V. Q.; ELOY, E.; BEHLING, A.; SCHMIDT, D.; TREVISAN, R. Resistência inicial de quatro espécies arbóreas em diferentes espaçamentos após ocorrência de geada. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 41, n. 5, p.817-822, 2011.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: UFV, 2004. v.1, 480 p.

FOELKEL, C. As plantações de florestas no Brasil. In: BORÉM, A. (Ed.). *Biotecnologia florestal*. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora, 2007. p.13-24.

FONSECA, S. M. RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ASSIS, T. E.; GRATTAPAGLIA, D. *Manual prática de melhoramento genético do eucalipto*. Viçosa: UFV, 2010. 200 p.

GARCIA, C. H. Tabelas para classificação do coeficiente de variação. *Circular Técnica do IPEF*, Piracicaba, 1989. 12 p.

GARCIA, C. H.; NOGUEIRA, M. C. S. Utilização da metodologia REML/BLUP na seleção de clones de eucalipto. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 68, p. 107-112, 2005.

- HIGA, A. R.; GARCIA, C. H.; SANTOS, E. T. Geadas, prejuízos à atividade florestal. **Silvicultura**, São Paulo, v. 15, n. 58, p. 40-43, 1994.
- HIGA, R. C. V.; HIGA, A. R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M. V. R. Resistência e resiliência a geadas em *Eucalyptus dunnii* Maiden plantados em Campo do Tenente, PR. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 40, p. 67-76, 2000.
- KAGEYAMA, P. Y.; VENCOSKY, R. Variação genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden. **IPEF**, Piracicaba, v. 24, p. 9-26, 1983.
- LIMA, J. L.; SOUZA, J. C. D.; RAMALHO, M. A. P.; ANDRADE, H. B.; SOUSA, L. C. D. Early selection of parents and trees in *Eucalyptus* full-sib progeny tests. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 11, n. 1, p. 10-16, 2011.
- MADHIBHA, T.; MUREPA, R.; MUSOKONYI, C.; GAPARE, W. Genetic parameter estimates for interspecific *Eucalyptus* hybrids and implications for hybrid breeding strategy. **New Forests**, Amsterdam, v. 44, n. 1, p. 63-84, 2013.
- MASSARO, R. A. M.; BONINE, C. A. V.; SCARPINATI, E. A.; PAULA, R. C. Viabilidade de aplicação da seleção precoce em testes clonais de *Eucalyptus* spp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 597-609, 2010.
- MIRANDA, A. C.; MORAES, M. L. T.; TAMBARUSSI, E. V.; FURTADO, E. L.; MORI, E. S.; SILVA, P. H. M.; SEBBENN, A. M. Heritability for resistance to *Puccinia psidii* Winter rust in *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden in Southwestern Brazil. **Tree Genetics & Genomes**, Berlin, v. 9, n. 2, p. 321-329, 2013.
- MORAES, C. B.; DE PIERI, C.; FRAGOSO, A. M.; GRANDE, J.; UESUGI, G.; MARTINS, M. R. S. G.; CARIGNATO, A.; RODRIGUES, D. P.; ZIMBACK, L.; MOREIRA, R. M.; MORI, E. S. Genetic variability in *Eucalyptus* clones for rust *Puccinia psidii* resistance. In: IUFRO WORKING GROUP 2.08.03 IMPROVEMENT AND OF CULTURE *EUCALYPTUS*, Porto Seguro: IUFRO, 2011a.
- MORAES, C.B.; FREITAS, T. C. M.; PIERONI, G. B.; ZIMBACK, L.; MORI, E. S. Genetic variability in eucalypt for frost tolerance. In: IUFRO WORKING GROUP 2.08.03 IMPROVEMENT AND OF CULTURE *EUCALYPTUS*, Porto Seguro: IUFRO, 2011b.
- MORI, E. S.; KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M. Variação genética e interações progênies x locais em *Eucalyptus urophylla*. **IPEF**, Piracicaba, n. 39, p. 53-63, 1988.
- PAULA, R. C.; PIRES, I. E.; BORGES, R. C. G.; CRUZ, C. D. Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 159-165, 2002.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.
- PIRES, I. E.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, R. L.; RESENDE JR., M. R. R. **Genética Florestal**. Viçosa: Editora Arka, 2011. 318 p.
- RESENDE, M. D. V. **Seleção-REML/BLUP: Sistema Estatístico e Seleção Genética Computadorizada via Modelos Lineares Mistos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007a.
- RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007b. 561p.
- RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 975 p.
- RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.
- REZENDE, G. D. S. P.; BERTOLUCCI, F. L. G.; RAMALHO, M. A. P. Eficiência da seleção precoce na recomendação de clones de eucalipto avaliados no norte do Espírito Santo e sul da Bahia. **Cerne**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 45-50, 1994.
- ROCHA, M. G. B.; PIRES, I. E.; ROCHA, R. B.; XAVIER, A.; CRUZ, C. D. Seleção de genitores de *Eucalyptus grandis* e de *Eucalyptus urophylla* para produção de híbridos interespecíficos utilizando REML/BLUP e informação de divergência genética. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 977-987, 2007.
- ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; RESENDE JR., M. F. R.; BHERING, L. L.; CRUZ, C. D. Ganhos genéticos preditos por diferentes métodos de seleção em progênies de *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1653-1659, 2009.

- SANTOS, G. A.; XAVIER, A.; LEITE, H. G. Desempenho silvicultural de clones de *Eucalyptus grandis* em relação às árvores matrizes. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 737-747, 2006.
- SEBBENN; A. M.; VILAS BOAS, O.; MAX, J. C. M. Altas herdabilidades e ganhos na seleção para caracteres de crescimento em teste de progênes de polinização aberta de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii*, aos 25 anos de idade em Assis-SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 95-102, 2008a.
- SEBBENN; A. M.; VILAS BOAS, O.; MAX, J. C. M. Variação genética, herdabilidades e ganhos na seleção para caracteres de crescimento em teste de progênes de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 20 anos de idade em Assis-SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 103-115, 2008b.
- SILVA, A. L. L.; OLIVEIRA, Y.; ALCANTARA, G. B.; SANTOS, M.; QUOIRIN, M. Tolerância ao resfriamento e congelamento de folhas de eucalipto. **Biociências**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 86-90, 2009.
- TIBBITS, W. N.; HODGE, G. R. Genetic parameters for cold hardiness in *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 52, n. 3/4, p. 89-97, 2003.
- VENCOVSKY, R. Genética quantitativa. In: Paterniani, E. (Coord.) **Melhoramento do milho no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1978. p.122-201.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética Biométrica no Fitomelhoramento**: Ribeirão Preto: SBG, 1992. 496 p.
- WENG, Y. H.; TOSH, K. J.; P ARK, Y. S.; FULLARTON, M. S. Age-related trends in genetic parameters for jack pine and their implications for early selection. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 56, n. 5, p. 242-252, 2007.
- WHITE, T. L.; ADAMS, W. T.; NEALE, D. B. **Forest genetics**. Oxford: CAB Internacional, 2007, 683 p.
- WU, H. X. Study of early selection in tree breeding. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 47, n. 2-3, p. 146-155, 1998.
- ZIMBACK, L.; MORI, E. S.; BRIZOLLA, T. F.; CHAVES, R. Correlações entre caracteres silviculturais durante o crescimento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 57-67, 2011.
- ZOBEL, B.; TALBERT, J. **Applied Forest tree improvement**. New York: John Wiley & Sons. 1984. 505 p.

Recebido em 22/07/2013

Aceito para publicação em 13/03/2014

