

Seleção genética de progênies de *Pinus greggii* para formação de pomares de sementes

Ananda Virgínia de Aguiar¹, Valderês Aparecida de Sousa¹, Jarbas Yukio Shimizu²

¹Embrapa Florestas, Estrada da Ribeira Km 111, CP 319, CEP 83411-000, Colombo, PR, Brasil, ananda@cnpf.embrapa.br; valderes@cnpf.embrapa.br; ²J-Shimizu Consultoria, Rua Lord Lovat, 40, Guabirota, CEP 81518-520, Curitiba, PR, Brasil, jarbas.shimizu@sysflor.com.br

Resumo - Um dos principais impedimentos para a adoção de novas espécies para as plantações comerciais é a escassez de sementes geneticamente melhoradas, em quantidade suficiente para abastecer o mercado. Portanto, o objetivo deste estudo foi estimar parâmetros genéticos que possibilitem a realização de seleção individual em um teste combinado de procedências e progênies de *P. greggii* como base para transformar a área num pomar de sementes por mudas. No presente trabalho, foram avaliadas cinco procedências e quarenta e sete progênies de *P. greggii* da região norte e central do México. O experimento foi instalado no município de Ponta Grossa, Paraná, Brasil, no delineamento de blocos casualizados com nove repetições e cinco plantas por parcela. Aos 13 anos após o plantio, avaliou-se o DAP (diâmetro do tronco a 1,3 m de altura), altura total e forma do fuste. Os parâmetros genéticos foram estimados utilizando o *software* SELEGEN-REML/BLUP. Constatou-se considerável variabilidade genética, fato este que indica boas possibilidades de ganho genético a partir da seleção de matrizes superiores. As procedências da região sul apresentaram alto potencial de produtividade para plantios comerciais na região de Ponta Grossa. O progresso esperado em crescimento, após um ciclo de seleção de matrizes para formação de pomar de sementes por mudas, foi de 21,6 % em volume de madeira.

Termos para indexação: Melhoramento genético, herdabilidade, progresso esperado.

Genetic selection *Pinus greggii* progeny to the establishment of seed orchards

Abstract - The main deterrent to the adoption of new species for operational plantations is the availability of genetically improved seeds in sufficient amount to supply the market. Therefore, this study was carried out with the objective to estimate genetic parameters for individual selection as a basis to transform the field trial into a seedling seed orchard. The trial contained forty seven half-sib families from five Mexican provenances, including northern and central Mexico sources. These were planted at Ponta Grossa, Paraná State, Brazil, in a randomized complete block design with nine replications of five-tree linear plots in a 3 m x 3 m spacing. Height, dbh (diameter at breast height) and stem form were assessed in thirteen-year old tree. Variance components were estimated by using SELEGEN-REML/BLUP software. Other procedures included prediction of breeding values and deviance analyses. The significant genetic variation among provenances as well as among and within families in all traits confirmed their high value. The southern Mexico sources showed the highest productivity. The expected progress in improvement through just one cycle of selection was estimated in 21.6 % in wood volume.

Index terms: Breeding, heritability, expected progress.

Introdução

As indústrias de base florestal no Brasil têm apresentado rápido crescimento nos últimos anos, e o consumo de madeira de espécies exóticas vem acompanhando essa tendência. Em 2008, o consumo de madeira em toras originadas de florestas plantadas foi de 174,2 milhões de metros cúbicos. Entre as espécies mais utilizadas nos vários segmentos dessas

indústrias estão os pinus (34,5%) e os eucaliptos (65,5%) (Abraf, 2009). Esses recursos madeireiros têm contribuído para minimizar a taxa de desmatamento dos remanescentes naturais. Isto constitui um aspecto de extrema importância para a economia florestal brasileira. De maneira geral, as florestas plantadas com pinus e eucaliptos são as principais fontes de madeira das cadeias produtivas de importantes segmentos industriais como os de celulose e papel, produtos sólidos de madeira, painéis,

móveis, siderurgia à base de carvão vegetal e energia (Abraf, 2006). Isso tem contribuído para a conservação dos remanescentes florestais, que têm se tornado cada vez mais escassos devido ao desmatamento.

O gênero *Pinus* engloba mais de 100 espécies com grande potencial a ser explorado (Mirov, 1967). Plantios com espécies desse gênero tornaram-se comuns no Sul do País. As espécies mais plantadas nessa região são: *P. taeda* e *P. elliottii*, sobre as quais vêm se desenvolvendo pesquisas visando à adequação de técnicas silviculturais, ao melhoramento genético e à utilização da madeira. Existem várias outras espécies que podem ser utilizadas comercialmente. No entanto, a falta de informação ainda dificulta a sua utilização em escala operacional.

A diversificação de espécies é muito importante na atividade florestal, em vista da contínua expansão do setor industrial de produtos madeireiros. Assim, é constante a necessidade de espécies alternativas para atender as variadas demandas, especialmente nas regiões de transição climática. Nestas regiões, a maior demanda é por espécies com grande capacidade de adaptação aos extremos climáticos, mantendo, a produtividade. O mesmo se aplica à circunstância de mudanças climáticas que podem alterar drasticamente a geografia da economia florestal. Para essa situação em particular, a diversificação de espécies poderá trazer maior segurança no suprimento de matéria-prima para os diversos segmentos da indústria madeireira.

O estudo de espécies alternativas, visando à maior produtividade e segurança contra surtos de pragas e doenças (Borsato, 2000) e condições climáticas adversas, como geadas e déficit hídricos, é de suma importância para que as empresas e produtores dependentes dos reflorestamentos se mantenham em operação. Segundo Shimizu (2008), existem vários materiais genéticos de *Pinus* de alto potencial para elevar a produtividade e qualidade da madeira, difundidos nas bases físicas de empresas florestais e órgãos do Governo Federal e Estaduais. Entre elas, consta *P. greggii*, que se destaca pela alta resistência às geadas severas e à seca, bem como precocidade no florescimento (Shimizu, 2007). Isto indica o seu valor estratégico em programas de melhoramento genético.

Pinus greggii é endêmico no México, ocorrendo em duas regiões: na parte norte do país, nos estados de Nuevo Leon e de Coahuila (latitudes 24° a 25° N) e na região central (parte sul da região de ocorrência do *P. greggii*), nos estados de Puebla, San Luis Potosi,

Hidalgo, Queretaro e Veracruz (20° a 21° N) (Donahue & López-Upton, 1996; Donahue & López-Upton, 1999; Ramírez-Herrera et al., 2005). Variações geográficas e ambientais entre as populações são acentuadas (Donahue & López-Upton, 1996). Segundo Dvorak et al. (1996), as acículas das árvores do norte são mais curtas, rígidas e escuras que das do sul. Ramírez-Herrera et al. (2005) também relataram a existência de diferenças entre essas populações quanto à superfície de cobertura e às espécies arbóreas associadas. As populações do norte encontram-se mais próximas entre si, a maioria, em torno de 5 km. As populações do sul encontram-se a distâncias que variam de 15 km a 40 km entre si (Ramírez-Herrera et al., 2005). Com base nessas observações e outros resultados, reconhecem-se, atualmente, duas variedades taxonômicas: *P. greggii* var. *greggii*, que ocorre na parte norte da região de distribuição da espécie; e *P. greggii* var. *australis*, que ocorre no sul (Donahue & López-Upton, 1999).

Plantios experimentais com *P. greggii*, na região subtropical, foram iniciados entre os anos 1960 e 1980 (Dvorak et al., 1996). Entre 1988 e 1992, foram feitas novas coletas de semente, representadas por 169 árvores de nove procedências. A partir destas, foram instalados testes de procedências/progênes em diversos países, tais como Brasil, Colômbia, África do Sul e Zimbábue (Dvorak et al., 1996, Kietzka et al., 1996). Em escala comercial, plantios dessa espécie ainda são limitados.

O desempenho de *P. greggii* tem sido acompanhado em vários países. Esta espécie tem apresentado rápido crescimento em altura e diâmetro (Neil, 1990; Dwivedi & Thapar, 1990; Alba-Landa et al., 1998; López Ayala et al., 1999; Salazar et al., 1999; Azamar et al., 2000), potencial para adaptar-se em condições secas e à baixa temperatura (Vargas-Hernández & Muñoz, 1988; López-Upton & Muñoz, 1991; Dvorak, 2007) e alta taxa de sobrevivência (96,2% e 97,4%) (Dvorak et al., 1996; Alba-Landa et al., 1998).

Ainda não existe informação sobre a exploração comercial de *P. greggii* no Brasil. Há apenas dados de aspectos genéticos de caracteres morfológicos em ensaios de procedências/progênes implantados em alguns locais da região Sul. Desta forma, o momento é propício para se investir na espécie. O objetivo desse trabalho foi selecionar matrizes com os mais altos potenciais de produtividade de madeira, a partir de um teste de procedências e progênes, para formar um pomar de sementes por mudas.

Material e métodos

As plantas avaliadas neste trabalho são partes de uma coleção de germoplasma instalada em Ponta Grossa, PR, a partir de sementes coletadas pela Cooperativa para Conservação dos Recursos Genéticos de Coníferas do México e da América Central (Camcore) nas regiões de ocorrência natural da espécie, nos estados de Coahuila (Los Lírios e Jamé), Hidalgo (Laguna Seca e Laguna Atezca) e Querétaro (El Madroño) no México. Foram coletados cones de cinco procedências, com amostragem de uma a dezesseis plantas-mães por procedência (Tabela 1). As altitudes, nas áreas de coleta, variam de 1.250 m a 1.420 m em Laguna Atezca, Hidalgo, chegando a 2.590 m em Jamé, Coahuila. As médias de precipitação anual variam de 418 mm a 1.438 mm, enquanto que as

temperaturas médias anuais variam de 16 °C a 19,8 °C (Borsato, 2000). Com essas sementes, foram implantados ensaios de procedências/progênies. Um dos ensaios foi instalado em dezembro de 1994, em Ponta Grossa, PR, na unidade do ex-Serviço de Produção de Sementes Básicas da Embrapa, em um Latossolo vermelho, textura média e de baixa fertilidade natural, seguindo-se o delineamento de blocos ao acaso, com arranjo de famílias compactas, com 48 tratamentos (47 progênies e uma testemunha), nove repetições e cinco plantas por parcela. O espaçamento utilizado foi de 3 m x 3 m. A testemunha utilizada foi *P. elliottii* comercial. Ponta Grossa está localizada a 25°13' S; 50°01' W, altitude de 880 m, com precipitação média anual de 1.402 mm, temperatura média anual de 17,6 °C e solo com pH 3,65 (Borsato, 2000).

Tabela 1. Características dos locais de coleta de sementes e número de árvores de *Pinus greggii* Engelm amostradas na região norte e central do México.

Estado (município)	Nº de plantas-mãe	Latitude (N)/ Longitude (W)	Altitude (m)	Precipitação (mm/ano)	Temperatura (°C)
1- Querétaro** (El Madroño)	16	21° 16' / 99° 10'	1.500-1.600	737	17,4
2- Hidalgo ** (Laguna Atezca)	13	20° 49' / 98° 46'	1.250-1.420	1.438	19,8
3- Hidalgo** (Laguna Seca)	16	21° 02' / 99° 10'	1.750-1.900	723	17,0
4- Coahuila* (Los Lírios)	1	25° 22' / 10° 03'	2.300-2.400	418	17,0
5- Coahuila* (Jame)	2	25° 21' / 10° 04'	2.500-2.590	418	16,0

Fonte: Borsato (2000). *Procedências do norte do México; ** Procedências do centro oeste (sul) do México.

O teste de progênies foi avaliado aos 13 anos após o plantio. Os caracteres avaliados foram diâmetro do tronco à altura de 1,3 m (DAP), altura total (Ht), volume cilíndrico (Vol), forma do fuste (Ff) e número de bifurcações (Nb). A altura total e o DAP foram medidos com um hipsômetro e uma fita métrica, respectivamente. O volume cilíndrico foi estimado com base na informação da altura e diâmetro de cada árvore. A forma do fuste foi avaliada segundo um critério de notas estabelecido especificamente para a espécie por Borsato (2000), em que: 1 = fuste apresentando problema grave de espiralamento; 2 = fuste apresentando grave problema de formação, mas não chegando ao espiralamento; 3 = fuste com muita tortuosidade, mas sem problema de formação; 4 = fuste com tortuosidade perceptível; 5 = fuste tendendo à retidão ou reto.

O número de bifurcações foi avaliado por meio de notas, com base na avaliação visual do ensaio: 5 = sem

bifurcação; 4 = uma bifurcação; 3 = duas bifurcações sequenciais; 2 = três bifurcações sequenciais; 1 = quatro ou mais bifurcações sequenciais.

Análise de deviance

Foram realizadas análises de *deviance* para determinar o padrão de variação entre procedências e progênies para todos os caracteres avaliados. Inicialmente, a análise foi realizada em nível de procedências e, posteriormente, em nível de progênies dentro de cada procedência. Primeiramente, foi feita uma análise conjunta, considerando-se todas as progênies, inclusive a testemunha. Na segunda etapa, a testemunha foi excluída, sendo feita uma nova análise para estimar o valor genético de cada árvore para seleção.

Para a análise conjunta foi utilizado o seguinte modelo estatístico:

$$Y = Xr + Za + Wp + Ts + e \text{ (Resende, 2007), em que:}$$

Y é o vetor de dados; r é o vetor dos efeitos de repetição (fixos) somados à média geral; a é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (aleatórios); p é o vetor dos efeitos de parcela (aleatórios); s é o vetor dos efeitos de população ou procedência (aleatórios); e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Na análise individual foi utilizado o seguinte modelo estatístico:

$$Y = Xr + Za + Wp + e \text{ (Resende (2007), em que:)}$$

Y é o vetor de dados; r é o vetor dos efeitos de repetição (fixos) somados à média geral; a é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (aleatórios); p é o vetor dos efeitos de parcela (aleatórios); e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

As estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos foram obtidas pelo método Reml/Blup (máxima verossimilhança restrita – melhor predição linear não viciada), a partir de dados desbalanceados, empregando-se o software genético-estatístico Selegen-Reml/Blup (Resende, 2007). Para isso, foi preciso assumir que as progênies são famílias de meios-irmãos originadas de polinização livre.

Resultados e discussão

Das 2.160 plantas instaladas no primeiro ano, apenas 1.724 sobreviveram até o décimo terceiro ano. Isto equivale a uma taxa de mortalidade de 20,2%. As procedências da região norte foram as que apresentaram as menores taxas de sobrevivência (2% a 4%). Devido a este quadro e por conter um número pequeno de progênies (1 a 2), optou-se por não incluir indivíduos dessas procedências na análise estatística. As poucas árvores que sobreviveram não apresentaram crescimento nem forma de fuste satisfatórios.

Varição significativa foi observada entre progênies para todos os caracteres avaliados (Tabela 2). Entre procedências, variações significativas foram verificadas para os caracteres altura total, forma do fuste e número de bifurcações (Tabela 2). Somente para altura foi notada variação significativa entre plantas dentro de progênies. De maneira geral, a variação entre progênies tende a ser mais expressiva do que entre procedências ou dentro de progênies. Conforme Borsato (2000) e Dvorak et al. (1996), a variação entre procedências de *P. greggii* é maior quando as procedências do norte e do centro são analisadas conjuntamente (50% a 80% da variação total) do que quando analisadas por região (1% a 4% da variação total). Neste último caso, a variação entre procedências pode não ser estatisticamente significativa, como foi observado no presente trabalho. Por outro lado, Borsato (2000) observou variações altamente significativas entre as procedências da região central em ensaio no Município de Correia Pinto, SC.

Tabela 2. Análise de *deviance* conjunta para os caracteres dendrométricos de três procedências de *P. greggii* instalados em Ponta Grossa aos 13 anos de idade (2007).

Altura (m)				
Efeito	<i>Deviance</i>	LRT	Componente de variância	Coefficiente de determinação
Procedência	3.618,93	5,14*	0,09*	0,03*
Progênies	3.649,18	35,39**	0,77**	0,23**
Parcelas	3.655,63	41,84**	0,26**	
Modelo	3.613,79			
Diâmetro à altura do peito (cm)				
Efeito	<i>Deviance</i>	LRT	Componente de variância	Coefficiente de determinação
Procedência	7.034,19	0,05 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Progênies	7.090,80	56,66**	7,51**	0,30**
Parcelas	7.037,28	3,14 ^{ns}	0,49 ^{ns}	
Modelo	7.034,14			
Volume cilíndrico (m³ por árvore)				
Efeito	<i>Deviance</i>	LRT	Componente de variância	Coefficiente de determinação
Procedência	-1.168,82	0,02 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Progênies	-1.108,95	57,87**	0,06**	0,31**
Parcelas	-1.166,10	0,72 ^{ns}	0,00 ^{ns}	
Modelo	-1.166,82			
Forma do fuste				
Efeito	<i>Deviance</i>	LRT	Componente de variância	Coefficiente de determinação
Procedência	1.374,98	30,49**	0,18**	0,18**
Progênies	1.371,08	26,59**	0,27**	0,26**
Parcelas	1.344,57	0,08 ^{ns}	0,00 ^{ns}	
Modelo	1.344,49			
Número de bifurcações				
Efeito	<i>Deviance</i>	LRT	Componente de variância	Coefficiente de determinação
Procedência	1.100,65	9,18**	0,44**	0,07**
Progênies	1.179,76	88,29**	0,28**	0,36**
Parcelas	1.091,96	0,49 ^{ns}	0,01 ^{ns}	
Modelo	1.091,47			

*, ** - Qui-quadrado tabelado para os níveis de significância de 5% e 1% é 3,84 e 6,63, respectivamente; ns - não significativo ao nível de 5%.

Após 13 anos do plantio, as árvores atingiram altura média de 19,99 m, DAP de 23,97 cm e volume cilíndrico de 0,48 m³ arv⁻¹ (Tabela 3). A forma do fuste foi regular (3,3) e a nota de bifurcação média (4,3). Resultados semelhantes, nessa faixa de idade, foram relatados por outros autores (Neil, 1990; Dwivedi & Thapar, 1990; Alba-Landa et al., 1998; López et al., 1999; Salazar et al., 1999; Azamar et al., 2000). Em Poços de Caldas, Minas Gerais, em oito espécies de *Pinus*,

P. greggii, *P. pseudostrobus oaxacana* e *P. tenuifolia* apresentaram maiores sobrevivência e crescimento em altura do que *P. montezumae*, *P. engelmannii*, *P. lutea cooperi*, *P. hartwegii*, e *P. rudis* (Ferreira & Mascarenhas Sobrinho, 1972). Apesar disso, elas não foram indicadas para plantio comercial na região, por não apresentarem forma de fuste satisfatória. Entretanto, foram recomendados estudos adicionais, incluindo a exploração da variabilidade genética, visando à melhoria da forma do fuste.

A magnitude do parâmetro \hat{c}_c^2 (coeficiente de determinação dos efeitos ambientais entre parcelas), que quantifica a variabilidade dentro dos blocos, foi baixa (Tabela 3). Conforme Resende (2002), um experimento com plantas perenes, bem controlado, deve apresentar coeficientes de determinação dos efeitos ambientais entre parcelas em torno 10% da variação fenotípica dentro dos blocos, proporcionada pela variação ambiental entre parcelas. Todos os caracteres analisados neste estudo apresentaram baixa variabilidade ambiental (0% a 8%).

O coeficiente de variância genética aditiva individual (CV_{gi}) e genotípica entre progênies (CV_{gp}) variaram de 4,40% a 24,85% e de 2,10% a 12,42%, respectivamente (Tabela 3). Coeficientes de variação genética aditiva de valores médios a altos sugerem a existência de variabilidade genética e, quanto maior for esse valor, maior será a facilidade de se encontrar indivíduos superiores que poderão proporcionar ganhos na seleção.

Em ensaios com as mesmas procedências e progênies em Ponta Grossa, Telêmaco Borba, Correia Pinto e Campo do Tenente, o coeficiente de variação genética e do erro experimental, aos três anos de idade, variaram de 7,65% a 13,53% e de 9,77% a 18,42%, respectivamente (Borsato, 2000).

Entre os caracteres de crescimento, o volume é o mais favorável à seleção de matrizes, devido ao seu maior quociente de seleção (b) (1,34). As estimativas da herdabilidade individual em altura, DAP e volume cilíndrico variaram de 0,23 a 0,36 (Tabela 3). Estes coeficientes estão próximo da média relatada na literatura (20%) (Moraes, 1987). Para essa espécie, aos três anos de idade, foram observadas herdabilidades variando de 0,10 a 0,51, em Correia Pinto e Ponta Grossa, respectivamente (Borsato, 2000). Estes valores indicam a possibilidade de ganhos genéticos consideráveis, mediante seleção tanto entre quanto dentro de progênies.

Tabela 3. Estimativas de parâmetros genéticos para caracteres dendrométricos de *P. greggii* aos 13 anos de idade em Ponta Grossa (2007).

Parâmetros	Caracteres				
	H (m)	DAP (cm)	Vol (m ³ arv ⁻¹)	Ff	Nb
Média	19,99	23,97	0,48	3,26	4,31
$\hat{\sigma}_a^2$	0,775	7,506	0,057	0,265	0,281
$\hat{\sigma}_f^2$	3,347	24,714	0,187	1,012	0,360
$\hat{\sigma}_c^2$	0,262	0,490	0,003	0,003	0,005
$\hat{\sigma}_p^2$	0,086	0,046	0,000	0,180	0,440
$\hat{\sigma}_e^2$	2,224	16,672	0,127	0,563	0,780
CV_{gi} %	4,40	11,43	24,85	15,83	12,29
CV_{gp} %	2,20	5,72	12,42	7,91	6,14
CV_e %	4,54	9,28	20,07	12,09	8,54
b	0,97	1,23	1,24	1,31	1,44
h^2	0,23 (0,029)	0,30 (0,076)	0,31 (0,076)	0,26 (0,071)	0,36 (0,083)
\hat{c}_c^2	0,08	0,02	0,02	0,00	0,01
\hat{c}_p^2	0,03	0,00	0,00	0,18	0,07

H - altura total; DAP - diâmetro à altura do peito; Vol - Volume cilíndrico; F - forma do Fuste; Nb - número de bifurcações; variância genética aditiva ($\hat{\sigma}_a^2$), fenotípica ($\hat{\sigma}_f^2$), entre procedências ($\hat{\sigma}_p^2$), ambiental entre parcelas ($\hat{\sigma}_c^2$), residual ($\hat{\sigma}_e^2$), coeficiente de variação genética aditiva individual (CV_{gi}), genotípica entre progênies (CV_{gp}), residual (CV_e)b quociente de seleção ($CV_{g/cv}$), coeficiente de herdabilidade individual no sentido restrito (h^2), coeficiente de determinação dos efeitos de parcelas (\hat{c}_c^2), coeficiente de determinação dos efeitos de procedências (\hat{c}_p^2).

O crescimento (altura e DAP) das árvores das procedências da região central (parte sul da região de ocorrência do *P. greggii*) foi maior do que as da região norte. Resultados semelhantes foram observados, também, por Donahue & López-Upton (1999). Além disso, as menores taxas de sobrevivência e piores formas de fuste também foram observadas nas procedências da região norte. Segundo Dvorak et al. (1996) e Kietzka et al. (1996), as diferenças morfológicas e de crescimento entre as árvores do norte e da região central são, às vezes, mais pronunciadas quando as árvores crescem em ambientes exóticos. Nas condições naturais, as populações do norte são mais tolerantes ao déficit hídrico e ao frio do que as do centro (Kietzka et al., 1996; Dvorak et al., 1996). Por outro lado, em ambientes exóticos, como na África, as populações da região central foram mais tolerantes ao frio e à seca do que *P. patula* (Kietzka et al., 1996). Acredita-se que algum fator edafoclimático mais restritivo do que a temperatura do local de plantio possa ter contribuído para o baixo desempenho das árvores do norte.

Os resultados de crescimento (altura total) e sobrevivência confirmam o desenvolvimento superior das árvores das procedências El Madroño, seguida por Laguna Atezca e Laguna Seca. Nas variáveis analisadas houve diferenças significativas dos efeitos de progênies em nível de 1% probabilidade para as três procedências, com exceção da altura total na procedência El Madroño (Tabela 4). Isto significa que o crescimento foi diferenciado entre as progênies, havendo possibilidade de serem selecionadas aquelas que apresentarem um crescimento mais rápido para programas de pré-melhoramento. Desempenho semelhante, aos três anos de idade, foi observado por

Borsato (2000), em que somente na procedência Laguna Atezca não foi observada variação significativa entre progênies em DAP nos ensaios de Telêmaco Borba e Campo do Tenente. Outros estudos sobre as mesmas procedências confirmaram os maiores desempenhos em altura, diâmetro e sobrevivência na procedência El Madroño, em vários locais (López Ayala, 1998). Segundo Borsato (2000), a região de Ponta Grossa apresenta condições ambientais diferenciadas em relação as do norte do México, principalmente quanto ao regime de precipitação e à altitude. O baixo desempenho das procedências do norte foi notado, também, em outros locais. Musálem & Cantera (2003) relataram que, em suas origens, as populações do norte (Jamé e Los Lírios) apresentam pequeno número de indivíduos e o rendimento em toras para desdobro é muito baixo. Por outro lado, as populações de Piñon, Hidalgo, El Madroño, Querétaro, Las Placetas, Nuevo León, Santa Anita e Puerto Los Conejos, que são da região central, apresentam árvores maiores e com as melhores características para produção de madeira para desdobro.

No presente trabalho, a testemunha (*P. elliottii*) apresentou volume cilíndrico de $0,29 \text{ m}^3 \text{ arv}^{-1}$, que é estatisticamente menor que qualquer progênie de *P. greggii*. Em plantios estabelecidos à latitude de 24° S e 780 m de altitude, no Brasil, *P. greggii* da região central do México, um ano após o plantio, cresceu aproximadamente 150% mais que do norte e 40% a 50% mais que as testemunhas (*P. elliottii* e *P. taeda*) (Dvorak & Donahue, 1992). Em Telêmaco Borba, Campo do Tenente, Correia Pinto e Ponta Grossa, Borsato (2000) observou crescimento diamétrico similar ou maior que em *P. elliottii* e *P. taeda*.

Tabela 4. Análise de *deviance* para os caracteres dendrométricos de progênies de três procedências de *P. greggii* do experimento de Ponta Grossa aos 13 anos de idade (2007).

El Madroño									
FV	H (m)			DAP (cm)			Vol (m ³ arv ⁻¹)		
	Deviance	LRT	Coef. Det.	Deviance	LRT	Coef. Det.	Deviance	LRT	Coef. Det.
Progênie	1.355,85	0,33 ^{ns}	0,04 ^{ns}	2.602,07	18,93 ^{**}	0,38 ^{**}	-471,61	18,12 ^{**}	0,38 ^{**}
Parcela	1.382,39	26,88 ^{**}	0,19 ^{**}	2.590,55	7,41 ^{**}	0,08 ^{**}	-481,41	8,32 ^{**}	0,09 ^{**}
Modelo	1.355,52			2.583,14			-489,73		
SQ bloco	105,66			50,76			0,84		
\bar{X}		20,35 ^{**}			23,79 ^{**}			0,48 ^{ns}	
SOB (%)					89				
Laguna Atezca									
FV	H (m) *			DAP (cm)			Vol (m ³ arv ⁻¹)		
	Deviance	LRT	Coef. Det.	Deviance	LRT	Coef. Det.	Deviance	LRT	Coef. Det.
Progênie	982,62	5,79 [*]	0,24 [*]	1.964,53	9,31 ^{**}	0,21 ^{**}	-246,11	9,45 ^{**}	0,22 ^{**}
Parcela	986,51	9,69 ^{**}	0,13 ^{**}	1.955,24	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-255,53	0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Modelo	976,83			1.955,22			-255,55		
SQ bloco		36,00 ^{**}			68,00 ^{**}			0,50 ^{ns}	
\bar{X}		19,78			24,57			0,50	
Sob (%)					88				
Laguna seca									
FV	H (m) *			DAP (cm)			Vol (m ³ arv ⁻¹)		
	Deviance	LRT	Coef. Det.	Deviance	LRT	Coef. Det.	Deviance	LRT	Coef. Det.
Progênie	1.266,63	13,33 ^{**}	0,39 ^{**}	2.472,20	10,58 ^{**}	0,25 ^{**}	-356,81	12,60 ^{**}	0,28 ^{**}
Parcela	1.278,64	25,33 ^{**}	0,18 ^{**}	2.465,26	3,64 ^{ns}	0,07 ^{ns}	-366,49	2,92 ^{ns}	0,06 ^{ns}
Modelo	1.253,30			2.461,62			-369,41		
SQ bloco		85,14 ^{**}			121,00 ^{**}			0,77 ^{ns}	
\bar{X}		19,82			23,65			0,47	
SOB (%)					81				

H - altura total; DAP - diâmetro à altura do peito; Vol - volume cilíndrico; Sob - sobrevivência ** - teste F significativo a 1% e ns - não significativo.; coef. Det.- coeficiente de determinação. *, ** - Qui-quadrado tabelado para os níveis de significância de 5% e 1% é 3,84 e 6,63, respectivamente; ns - não significativo ao nível de 5%.

Nas três procedências da região central, os coeficientes de variação genotípica (CV_{gp}) foram baixos a médios, quando comparados com estimativas comumente encontradas em espécies florestais, exceto em volume. O menor coeficiente de variação genotípica (V_{gp}) foi observado para altura e a maior para volume (Tabela 5). Os coeficientes de herdabilidade individual, dentro de parcelas e das médias das progênies variaram de 0,04 a 0,39, de 0,04 a 0,40 e de 0,21 a 0,78, nas três procedências, respectivamente (Tabela 5). Esses valores indicam possibilidades de ganhos genéticos em todos os níveis de seleção. Assim, se a seleção for realizada com base no volume cilíndrico, a procedência de El Madroño

poderá contribuir mais para o aumento da produtividade de madeira no futuro, em relação às outras procedências. López Ayala (1998) também estimou herdabilidades maiores que 0,30 tanto em nível individual quanto nas médias de famílias em altura, diâmetro e comprimento dos ciclos de crescimento. Portanto, pode-se considerar que a variabilidade genética de *P. greggii* é expressiva e pode ser explorada para tornar seus plantios comerciais altamente produtivos.

A acurácia (correlação entre os valores genotípicos preditos e os verdadeiros) variou de 46% em altura total a 88% em DAP e volume cilíndrico na procedência de El Madroño. Os maiores coeficientes de correlação

devido ao ambiente comum da parcela (\hat{c}_c^2), que medem a variabilidade entre as parcelas no bloco, foram observados em altura (Tabela 5). Segundo Resende

(2002), um valor adequado para a estimativa de \hat{c}_c^2 seria, no máximo, 15% da variação fenotípica total.

Tabela 5. Estimativas de parâmetros genéticos para os caracteres dendrométricos de três procedências de *P. greggii* aos 13 anos após o plantio em Ponta Grossa, PR (2007).

Parâmetros genéticos	El Madroño			Laguna Atezca			Laguna Seca		
	H* (m)	DAP (cm)	Vol (m ³ arv ⁻¹)	H (m)	DAP (cm)	Vol (m ³ arv ⁻¹)	H (m)	DAP (cm)	Vol (m ³ arv ⁻¹)
$\hat{\sigma}_a^2$	0,129	8,698	0,066	0,740	5,421	0,044	1,340	6,585	0,053
$\hat{\sigma}_f^2$	3,185	22,865	0,173	3,101	25,258	0,200	3,455	25,945	0,191
$\hat{\sigma}_c^2$	0,602	1,926	0,016	0,392	0,154	0,001	0,609	1,692	0,011
$\hat{\sigma}_e^2$	2,454	12,240	0,092	1,969	19,683	0,155	1,506	17,669	0,127
h^2	0,04 (0,045)	0,38 (0,138)	0,38 (0,138)	0,24 (0,128)	0,21 (0,121)	0,22 (0,123)	0,39 (0,146)	0,25 (0,118)	0,28 (0,124)
h_{ap}^2	0,05	0,42	0,42	0,27	0,22	0,22	0,47	0,27	0,30
h_{ad}^2	0,04	0,35	0,35	0,22	0,17	0,18	0,40	0,22	0,24
h_m^2	0,21	0,78	0,77	0,65	0,71	0,72	0,73	0,70	0,73
CV _{gi} %	1,77	12,40	26,72	4,35	9,47	21,01	5,84	10,85	24,71
CV _{gp} %	0,88	6,20	13,36	2,17	4,74	10,50	2,92	5,42	12,36
CV _e %	5,18	10,02	21,88	4,79	9,01	19,80	5,32	10,54	22,50
CV _r %	0,17	0,62	0,61	0,45	0,53	0,53	0,55	0,51	0,55
\hat{c}_c^2	0,19	0,08	0,09	0,13	0,01	0,01	0,18	0,07	0,06
$r_{a\hat{a}}$	0,46	0,88	0,88	0,81	0,84	0,85	0,85	0,84	0,85

* H - altura total; DAP - diâmetro à altura do peito; Vol - volume cilíndrico; variância genética aditiva ($\hat{\sigma}_a^2$), fenotípica ($\hat{\sigma}_f^2$), ambiental entre parcelas ($\hat{\sigma}_c^2$), residual ($\hat{\sigma}_e^2$), coeficiente de herdabilidade individual no sentido restrito (h_a^2), herdabilidade individual no sentido restrito, ajustada para os efeitos de parcela (h_{ap}^2), herdabilidade aditiva dentro de parcela (h_{ad}^2), herdabilidade média de progênies (h_m^2), coeficiente de variação genética aditiva individual (CV_{gi}), genotípica entre progênies (CV_{gp}), residual (CV_e), coeficiente de variação relativo a (CV_r = CV_{gp}/CV_e), coeficiente de determinação dos efeitos de parcelas (\hat{c}_c^2), acurácia da seleção de progênies, assumindo sobrevivência completa ($r_{a\hat{a}}$).

Com base nas estimativas dos parâmetros genéticos e, principalmente, dos valores genéticos dos caracteres de volume cilíndrico, forma do fuste e número de bifurcações, foi proposto uma intensidade de seleção individual em torno de 15%, selecionando-se, no máximo, duas plantas por progênie por bloco. Resende & Higa (1994) sugerem não selecionar mais de um indivíduo por família.

Com base nos progressos esperados na seleção calculados para essa coleção de germoplasma *in vivo* de

P. greggii e, por ser um teste de progênies de primeira geração, será adotada uma intensidade de seleção mais baixa entre progênies, descartando-se somente as progênies de baixa sobrevivência e os indivíduos que apresentaram os menores valores genéticos em volume. Assim, foram selecionados 328 indivíduos de 44 progênies.

Segundo Resende (1999), o ideal é iniciar com uma população-base representada por um número elevado de progênies, a fim de permitir alta intensidade de seleção

já nas primeiras gerações e, simultaneamente, manter o tamanho efetivo compatível com o melhoramento no longo prazo.

A média geral da população selecionada foi de 0,65 m³ arv⁻¹. Apesar de a seleção ter sido realizada com base no volume, foram considerados, também, a forma do fuste e o número de bifurcações. O progresso esperado com a seleção, considerando o valor genético médio predito, foi de 21,6% em volume. Isso representa um ganho considerável para a etapa inicial de melhoramento dessa espécie.

Como a estimativa do ganho genético, mediante seleção de matrizes para compor o pomar de sementes por mudas, foi considerável, supõe-se que a implantação de um pomar de sementes clonal seja pelo menos tão eficaz quanto, visto que a intensidade de seleção para este propósito pode ser maior e as plantas serão selecionadas com base nos dois sexos. Ganhos maiores podem ser obtidos após um teste clonal para estimação e uso dos valores genéticos não aditivos. Neste caso, os indivíduos seriam selecionados pelo valor genético total e não somente pelo valor genético aditivo.

Com a seleção de 328 indivíduos para compor o pomar de semente por mudas, o tamanho efetivo médio (N_e) foi estimado em 105, que é considerado adequado para fins de melhoramento em longo prazo. Como o número de indivíduos por progênie (família) foi variável, apesar de o número físico de progênies ter sido 44, o número efetivo de progênies foi de apenas 35. Um tamanho efetivo pequeno é inadequado para fins de melhoramento em longo prazo, pois isso conduz a um rápido aumento na endogamia (Morais, 1997), além de não proporcionar salvaguarda contra a perda aleatória de alelos. Resende & Bertolucci (1995) e Resende (1999) sugeriram a manutenção de N_e em torno de 50, em cada ciclo de seleção, para não comprometer os progressos genéticos nos ciclos subsequentes. Com base nas estimativas do tamanho efetivo, espera-se que a estratégia de seleção adotada mantenha variabilidade genética suficiente por várias gerações de seleção.

A diversidade genética, após a seleção, foi quantificada segundo método usado por Wei & Lindgren (1996). Se esse parâmetro estiver próximo a zero, significa a extinção da variabilidade genética. A magnitude da diversidade genética foi estimada em 0,76, indicando que, mesmo após a seleção, não houve redução substancial da variabilidade genética em relação à população inicial.

Conclusões

Pinus greggii constitui uma espécie de alto potencial para o estabelecimento de plantios comerciais em Ponta Grossa, PR. Entre as várias procedências, El Madroño é a que apresenta a maior perspectiva de incremento volumétrico.

As progênies procedentes da região norte do México não apresentam perspectiva para uso em povoamentos comercialmente viáveis na região de Ponta Grossa.

As variabilidades genéticas em altura, DAP e volume foram consideráveis, indicando a viabilidade da estratégia de melhoramento mediante seleções recorrentes.

A seleção individual de matrizes para a formação do pomar de semente por mudas propiciou estimativas de ganho genético em torno de 21,6% em volume cilíndrico.

Mesmo após a seleção proposta, a magnitude do tamanho efetivo mantém-se em nível adequado para o prosseguimento dos futuros ciclos de seleção.

Referências

- ALBA-LANDA, J.; MENDIZABAL-HERNANDEZ, L.; APARICIO-RENTERIA, A. Respuesta de un ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en Coatepec, Veracruz, México. **Forestal Veracruzana**, v. 1, n. 1, p. 25-28, 1998
- ABRAF. **Anuário estatístico ABRAF: ano base 2008**. Brasília, ABRAF, 2009. 129 p. Disponível em: < <http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF09-BR.asp>>. Acesso em: 15 mar. 2010.
- ABRAF. **Anuário estatístico ABRAF: ano base 2005**. Brasília, ABRAF, 2006. 81p. Disponível em: < <http://www.abraflor.org.br/estatisticas/anuario-ABRAF-2006.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2010.
- AZAMAR, O. M.; LÓPEZ-UPTON, J.; VARGAS-HERNÁNDEZ, J. J.; PLANCARTE, A. B. Evaluación de un ensayo de procedencias-progenies de *Pinus greggii* y su conversión a huerto semillero. In: CONGRESO NACIONAL DE REFORESTACIÓN, 1., 2000. **Memorias**. Programa Nacional de Reforestación-Colegio de Postgraduados. Montecillo, México, 7 p.
- BORSATO, R. **Variación genética em *Pinus greggii* Engelm. e seu potencial para reflorestamento no sul do Brasil**. 2000, 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- DONAHUE, J. K.; LÓPEZ-UPTON, J. A new variety of *Pinus greggii* (Pinaceae) in Mexico. **Sida**, v. 18, n. 4, p. 1083-1093, 1999.
- DONAHUE, J. K.; LÓPEZ-UPTON, J. Geographic variation in leaf, cone and seed morphology of *Pinus greggii* Engelm. In native forest. **Forest Ecology and Management**, v. 82, p. 145-157, 1996.

- DVORAK, W. S. *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. In: Part II—Species Descriptions . p. 615-617. Disponível em: <http://www.rngr.net/publications/ttsm/species/PDF.2004-03-15.5136>. Acesso em: 23 jun. 2007.
- DVORAK, W. S.; DONAHUE, J. K. **CAMCORE Cooperative research review 1980-1992**. Raleigh: College of Forest Resources, North Carolina State University/CAMCORE Cooperative, 1992. 93 p.
- DVORAK, W. S.; KIETZKA, J. E.; DONAHUE, J. K. Three-year and growth of provenances of *Pinus greggii* in the tropics and subtropics. **Forest Ecology and Management**, v. 83, p. 123-131, 1996.
- DWIVEDI, A. P.; THAPAR, H. S. An evaluation of the performance of exotic pines a New Forest. **Indian Forester**, Dehra Dun, v. 116, n. 4, p. 268-277, 1990.
- FERREIRA, M.; MASCARENHAS SOBRINHO, J. The introduction of Mexican pines into the region of Poços de Caldas. IPEF, Piracicaba, n. 4, p. 95-109, 1972.
- KIETZKA, E. J.; DENISON, N. P.; DVORAK, W. S. *Pinus greggii* new species for South Africa. In: DIETERS, M. J.; MATHESON, A. C.; NIKLES, D. G.; HARDWOOD, C. E.; WALKER, S. M. **Tree Improvement for Sustainable Tropical Forestry**, 1996. 42-45p.
- LÓPEZ AYALA, J. L. Variación intraespecífica em el patrón de crecimiento en altura del brote terminal de *Pinus greggii* Engelm. 1998. 62 f. Tesis (Licenciatura). Universidad Autónoma Chapingo, México.
- LÓPEZ AYALA, J. L. ; VARGAS-HERNÁNDEZ, J. J.; RAMÍREZ-HERRERA, C.; LÓPEZ-UPTON, J. Variación intraespecífica en el patrón de crecimiento del brote terminal de *Pinus greggii* Engelm. **Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente**, v. 5, n. 2, p. 133-140, 1999.
- LÓPEZ-UPTON, J.; DONAHUE, J. K. Seed production of *Pinus greggii* Engelm in natural stands in México. **Trees Planter's Notes**, v. 46, p. 86-92, 1995.
- LÓPEZ-UPTON, J.; MUNOZ, O. Selección familiar por tolerancia a sequía en *Pinus greggii* Engelm. I- Evolución en plantula. **Agrociencia, Serie Fitotecnica**, México, v. 2, p. 111-123, 1991.
- MIROV, N. T. **The genus Pinus**. New York: Ronald Press, 1967. 602 p.
- MORAES, M. L. T. de. **Variação genética da densidade básica da madeira em progenies de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e suas relações com as características de crescimento**. 1987. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- MORAIS, O. P. Tamaño efectivo de la población. In: GUIMARÃES, E. P. **Selection recorrente en arroz**. Cali: Colômbia-Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1997. p. 25-44.
- MUSÁLEM, M. A.; MARTÍNEZ CANTERA, G. **Monografía de *Pinus greggii* Engelm**. México, DF: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Pecuarías, 2003. 341 p. (Libro técnico, n. 9). Proyecto de Investigación Manejo Sustentable y Conservación de la Biodiversidad de los Bosques de Clima Templado y Frio de México. Proyecto Sierra Madre (CONACYT-INIFAP 820003-K0288-T9710).
- NEIL, P. E. Estimative of volume and biomass from *Pinus greggii* in Nepal. **Banko Janakari**, Nepal, v. 2 , n. 4, p. 395-398, 1990.
- RAMÍREZ-HERRERA, C.; VARGAS-HERNÁNDEZ, J. J.; LÓPEZ-UPTON, J. Distribución y Conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. **Acta Botanica Mexicana**, v. 72, p. 1-16, 2005.
- RESENDE, M. D. V. de; BERTOLUCCI, F. L. G. Maximization of genetic gain with restriction on effective population size and inbreeding in *Eucalyptus grandis*. In: IUFRO CONFERENCE. *Eucalyptus* plantations: improving fibre yield and quality. Hobart-1995, Austrália. **Proceedings...** Austrália, 1995. p. 167-170.
- RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 975 p.
- RESENDE, M. D. V. de. Melhoramento de essências florestais. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 1999. p. 589-647
- RESENDE, M. D. V. de, HIGA, A. R. Maximização da eficiência da seleção em testes de progênies de *Eucalyptus* através da utilização de todos os efeitos do modelo matemático. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 28/29, p. 37-55, 1994.
- RESENDE, M. D. V. de. **SELEGEN-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 360 p.
- SALAZAR, G. G. J.; VARGAS-HERNÁNDEZ, J. J.; MATA, J. J.; MOLINA, J. D. G.; RAMÍREZ-HERRERA, C.; H.; LÓPEZ-UPTON, J. Variación en el patrón de crecimiento en altura de cuatro especies de *Pinus* en edades tempranas. **Madera y Bosques**, v. 5, n. 2, p.19-34, 1999.
- SHIMIZU, J. Y.; SEBBENN, A. M. Espécies de Pinus na silvicultura brasileira. In: SHIMIZU, J. Y. (Ed.). **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. p. 49-74 .
- VARGAS-HERNÁNDEZ, J. J.; MUÑOZ, O. Crecimiento y supervivencia en plantulas de cuatro especies de Pinus. **Agrociencia**, México, v. 72, p. 197-208, 1988.
- WEI, R. P.; LINDGREN, D. Effective family number following selection with restrictions . **Biometrics**, v. 52, p. 229-234, 1991.

