

Variabilidade genética na densidade básica da madeira de *Pinus tecunumanii* procedente do México e da América Central, no cerrado

Genetic variability in wood density of *Pinus tecunumanii* provenances from Mexico and Central America, grown in the cerrado

Vicente Pongitory Gifoni Moura
Ailton Teixeira do Vale

RESUMO: *Pinus tecunumanii* (Schwd.) Eguiluz & J. P. Perry é uma espécie nativa das partes elevadas do sul do México e da América Central. Apesar do seu excelente crescimento é pouco plantada comercialmente, pois pouco se sabe sobre a qualidade da sua madeira. Dois experimentos compostos por cinco procedências mexicanas e oito procedências centro-americanas de *P. tecunumanii*, representados por 38 e 42 progênes de polinização aberta foram estabelecidos em Planaltina, Distrito Federal, em área de cerrado, com o objetivo de analisar a variabilidade genética entre procedências, progênes e indivíduos na densidade básica da madeira e analisar a possibilidade de ganhos em produtividade com ganhos em qualidade da madeira. Aos 17 anos, diferenças significativas foram encontradas entre médias de procedências e progênes nos dois ensaios. As procedências centro-americanas apresentaram densidade básica média de 0,418 g/cm³, variando de 0,403 g/cm³ (KM 47) a 0,445 g/cm³ (Celaque) e as procedências mexicanas apresentaram densidade básica média de 0,398 g/cm³ variando de 0,384 g/cm³ (San José e Las Piedrecitas) a 0,421 g/cm³ (Montebello). As médias de progênes também foram bastante variáveis. As herdabilidades para indivíduos, progênes e dentro de progênes para as procedências centro-americanas foram de 0,13, 0,32 e 0,09 e para as procedências mexicanas de 0,30, 0,58, e 0,22 respectivamente. O material centro-americano apresentou no geral densidade básica média superior ao do material mexicano, porém existe maior controle genético neste último grupo de procedências. Existe a possibilidade de ganhos genéticos significativos nos dois grupos de procedências, os quais serão possíveis de ser obtidos através de seleção individual ou de progênie.

PALAVRAS-CHAVE: *Pinus tecunumanii*, Melhoramento, Procedência, Variabilidade genética, Densidade básica, Ganho genético, Herdabilidade

ABSTRACT: *Pinus tecunumanii* (Schwd.) Eguiluz & J. P. Perry is a native species of the high parts of the southern Mexico and Central America. Despite its excellent growth little it is planted commercially, therefore almost nothing it is known on the characteristics of its wood. Two experiments comprised by five Mexican provenances and eight Central American provenances of *P. tecunumanii*, represented by 38 and 35 of open-pollinated families were established at Planaltina, Federal District, in the Cerrado area, with the objective of analyzing the genetic variability between provenances, families and individuals in wood density and analyze the

possibility of gains in productivity with gains in wood quality. Significant differences were found between provenance and family means in the two populations at 17 years of age. The wood density mean of the Central American provenances was 0.418 g/cm³, varying from 0.403 g/cm³ (KM 47) to 0.445 g/cm³ (Celaque) and the wood density mean of the Mexican provenances was 0.398 g/cm³, varying from 0.384 g/cm³ (San Jose and Las Piedrecitas) to 0.421 g/cm³ (Montebello). The families means were also very variable. The heritabilities for individuals, families and within families for the Central American population were 0.13, 0.32 and 0.09 and for the Mexican population were 0.30, 0.58, and 0.22 respectively. The Central American material showed wood density mean superior to the one of the Mexican material, however this population is under a larger genetic control. There are possibilities of significant genetic gains in the two populations, which will be possible through individual or family selection.

KEYWORDS: *Pinus tecunumanii*, Breeding, Provenances, Genetic variability, Wood density, Genetic gain, Heritability

INTRODUÇÃO

A maior parte da vegetação da região Centro-Oeste brasileira é um tipo de savana arbórea chamada cerrado que compreende uma área de aproximadamente 204 milhões de hectares ou 25% do território brasileiro. O cerrado é encontrado principalmente nos estados da Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Piauí e Tocantins, e em menor extensão nos estados do Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia, Roraima e São Paulo. A topografia desta região abrange desde área plana a colinas onduladas, o que propicia uma agricultura mecanizada. O cerrado tem solos de origem antiga, altamente lixiviados e em sua maioria pertencentes à ordem Oxisol. Estes são caracterizados pelos baixos teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio, e alto teor de alumínio e elevada acidez. (Goedert et al., 1980). Sob condições naturais estes solos são frequentemente inférteis. O clima no cerrado é em quase sua totalidade tropical, com precipitação média anual variando de 800 a 2000 mm, porém as precipitações normalmente estão entre 1100 e 1600 mm (Lopes e Cox, 1977).

Na década de 70, quando foram iniciadas as atividades de reflorestamento na parte central do Brasil, pouco conhecimento existia sobre as espécies arbóreas a serem utilizadas. Para tanto, foram estabelecidos ensaios com espé-

cies, procedências e progênes pelo Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal (PRODEPEF) e, subseqüentemente, pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), utilizando sementes coletadas por agências internacionais, tais como, a Central America and Mexico Coniferous Resources Cooperative (CAMCORE), da Universidade Estadual da Carolina do Norte, EUA, e o Oxford Forestry Institute (OFI), da Universidade de Oxford, Reino Unido. Os primeiros experimentos realizados na região indicaram que tanto espécies de *Pinus* como de *Eucalyptus* têm excelentes condições de sobrevivência no cerrado. Entretanto, o crescimento de espécies destes dois gêneros segue padrão diferente. Enquanto o crescimento dos *Eucalyptus* tende a estagnar por volta dos oito anos de idade, os *Pinus* continuam a crescer bem até a idade de 14 anos, com sobrevivência quase inalterada (Moura, 1995). Entre as espécies de *Pinus* com maior potencial de crescimento, resultante das observações realizadas numa série de ensaios internacionais está o *Pinus tecunumanii* (Schwd) Eguiluz & J. P. Perry. Esta espécie é nativa das partes elevadas das terras do sul do México e da América Central. O desenvolvimento do *P. tecunumanii* tem sido superior ao do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Morelet (Sénécl.) W. H. Barrett e Golfari e do *Pinus oocarpa* Schiede ex Schlecht, na maioria dos ensaios realizados

no cerrado (Moura et al., 1991; Moura, 1995). Além disso tem uma excelente forma, ramos finos e uma boa desrama natural. Apesar do excelente crescimento do *P. tecunumanii* muitas companhias florestais ainda hesitam em plantá-lo em extensas áreas, pois ainda são poucas as informações sobre a qualidade da sua madeira em relação à de outras espécies comumente plantadas em escala comercial, nos trópicos e subtropicais, tais como *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus oocarpa*, *Pinus elliottii* Engelm, *Pinus patula* Schiede e Deppe e *Pinus taeda* L.

A densidade básica é um dos parâmetros que está mais relacionado com a resistência da madeira, da polpa e do papel por ela produzido.

Este trabalho tem como principal objetivo estudar a densidade básica da madeira em *P. tecunumanii* e verificar a existência de diferenças entre procedências, progênies e indivíduos em dois ensaios no cerrado. Outros objetivos foram estimar parâmetros genéticos, como herdabilidade, ganhos na seleção e correlacionar parâmetros de crescimento com os de densidade da madeira para verificar se existe a possibilidade de associar ganhos em produtividade com ganhos em qualidade da madeira.

MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos com *P. tecunumanii* compostos por cinco procedências mexicanas e oito procedências centro-americanas (Tabela 1), representados por 38 e 42 progênies de polinização aberta respectivamente, foram estabelecidos em Planaltina, Distrito Federal, em área de cerrado, com latitude de 15° 35' S, longitude de 47° 42' W, altitude de 1100 m e com precipitação pluviométrica de 1550 mm ano, com pronunciada estação seca de quase seis meses de duração. Os solos são lateríticos (oxisols), profundos, altamente lixiviados e relativamente inférteis.

Tabela 1

Procedências de *Pinus tecunumanii* incluídas nos dois testes em Planaltina, Distrito Federal.

(Provenances of *Pinus tecunumanii* included in the two tests at Planaltina, Federal District)

Procedências	País	Altitude	Latitude	Precipitação Anual
Las Trancas	Honduras	2130 m	14°07' N	1579 mm
La Soledad	Guatemala	2427 m	14°31' N	1543 mm
San Vicente	Guatemala	1945 m	15°05' N	1700 mm
San Lorenzo	Guatemala	2000 m	15°05' N	1700 mm
San Jerónimo	Guatemala	1735 m	15°03' N	1200 mm
Km 47	Guatemala	2100 m	14°35' N	1543 mm
Km 33	Guatemala	2100 m	14°35' N	1543 mm
Celaque	Honduras	1785 m	14°33' N	1273 mm
Chempil	Mexico	2120 m	16°45' N	1146 mm
Jitotol	Mexico	1705 m	17°02' N	1701 mm
Las Piedrecitas	México	2430 m	16°22' N	1252 mm
Montebello	Mexico	1705 m	16°06' N	1909 mm
San José	México	2322 m	16°42' N	1252 mm

Testemunhas: San Jerônimo 200, Guatemala; *P. oocarpa* 405 de Agudos, Brasil.

Os dois experimentos estão localizados próximos um do outro, seguindo um delineamento experimental de blocos de progênies compactas, num total de nove blocos compostos por parcelas lineares de seis indivíduos por progênie. O espaçamento utilizado foi de 3 m por 3 m entre plantas. O número de progênie em cada bloco é variável, tendo no mínimo três e no máximo oito progênies. Controles foram incluídos nos testes, sendo um composto dos melhores fenótipos da procedência de San Jerônimo (200), Guatemala, de *P. tecunumanii*, e o outro de *P. oocarpa* (405), oriundo de área de produção de sementes da Companhia Agro-Florestal Monte Alegre (CAFMA), Agudos, São Paulo. Esta área de *P. oocarpa* foi formada originalmente com sementes coletadas em Honduras no início dos anos 70. Uma bordadura dupla com plantas de *P. oocarpa* foi colocada ao redor dos experimentos.

Na ocasião do plantio e 90 dias após, as mudas foram fertilizadas com uma mistura de

100 g de super fosfato simples, 40 g de KCl, 3 g de boro e 2 g de $ZnSO_3$. Cinquenta por cento desta mistura foi usada em cada aplicação.

Estudo de crescimento e forma das plantas foram realizados por Moura e Dvorak (1998) aos 12 anos de idade. Neste caso as mensurações foram feitas em todos os indivíduos nas parcelas e blocos. Entretanto, com base em estudos anteriores no cálculo da densidade básica da madeira (Gibson, 1982; Wright et al., 1986; Lima et al., 1990) e para a redução do volume de trabalho de campo e laboratorial, custos e tempo, o número de indivíduos amostrados foi reduzido, através da eliminação das árvores menores e defeituosas. Esta decisão foi baseada também no fato de que nos processos de seleção, indivíduos dominados e defeituosos são normalmente eliminados nos processos de melhoramento, mesmo que estes tenham densidade básica alta. Além do mais, estudos têm demonstrado correlações fracas ou inexpressivas entre volume e densidade básica da madeira (Barrichelo et al., 1977; Ferreira, 1970). Desta maneira, as amostras de madeira foram retiradas das três melhores árvores (dominantes e co-dominantes), em quatro das nove repetições por teste, num máximo de 12 amostras por progênie, totalizando 960 amostras nos dois experimentos. A determinação da densidade básica foi realizada em baguetas extraídas através de Sonda Pressler de 0,55 mm de diâmetro interno, em toda a extensão do diâmetro à altura do peito (DAP), seguindo sempre a direção leste-oeste e evitando-se nós. Os ferimentos causados pela retirada das baguetas foram tratados com calda bordaleza, prevenindo-se assim infecções. O método utilizado para a determinação da densidade básica foi o do máximo teor de umidade desenvolvido por Smith (1954). A coleta das amostras foi feita quando as plantas tinham 15 anos de idade. Nesta mesma idade foram medidos a altura e o DAP das árvores amostradas. O volume foi calculado usando-se uma fórmula para populações jovens de *Pinus* proposta por Ladrach (1986):

$$v = 0.00003 d^2 h$$

onde v é volume em m^3 , d é diâmetro à altura do peito em cm e h é a altura total em m.

Os experimentos foram analisados separadamente dada a sua diferente composição de procedências e progênies. O modelo estatístico usado foi:

$$y_{ijkm} = u + r_i + p_j + rp_{ij} + f(p)_{k(j)} + e_{ijkm}$$

onde:

u = média geral;

r_i = efeito do i -ésimo bloco ($i = 1..r$);

p_j = efeito da j -ésima procedência ($j = 1..p$);

rp_{ij} = a interação do i -ésimo bloco e j -ésima procedência;

$f(p)_{k(j)}$ = a efeito aleatório da k -ésima progênie dentro da j -ésima procedência ($k = 1..k$);

rf = a interação do i -ésimo bloco e a k -ésima progênie dentro da j -ésima procedências (p) $_{ik(j)}$;

e_{ijkm} = a interação ($n = 1..3$) da n -ésima árvore no i -ésimo bloco e a k -ésima progênie na j -ésima procedência.

Valores individuais foram usados nas análises para todos os caracteres medidos. Efeitos de procedências foram considerados fixos e outros efeitos considerados aleatórios. As análises de variância (ANOVA) para todos os caracteres foram realizadas através do procedimento "Statistical Analysis System (SAS) Generalized Linear Model (GLM)" soma dos quadrados tipo III Waller (SAS, 1990). Testes de Duncan para comparações múltiplas foram utilizados para verificar se as diferenças entre médias de procedências foram significantes.

Testes F aproximados foram realizados de acordo com os procedimentos propostos por Satterthwaite (1946).

Os componentes da análise de variância foram estimados pelo procedimento VARCOMP (SAS, 1990). As herdabilidades individuais, de progênies e de indivíduos dentro de progênies, para todos os caracteres, foram calculadas da maneira usual, exceto quanto ao coeficiente de correlação genético aditivo entre plantas den-

tro de progênies (r_{xy}). Este foi assumido ser de 0,33 em vez de 0,25, já que um grau de autopolinização (cerca de 15 %) é passível de ocorrer em populações relativamente pequenas de *P. tecunumanii* de onde as sementes foram coletadas na América Central e México (Vásquez e Dvorak, 1996). Com o aumento no coeficiente r_{xy} , as estimativas da herdabilidade a nível individual são mais conservadoras (Squillace, 1974).

As fórmulas usadas para o cálculo da herdabilidade foram:

✓ herdabilidade em nível de plantas individuais

$$h_i^2 = (3 * \sigma_{f(p)}^2) / (\sigma_{f(p)}^2 + \sigma_{rf(p)}^2 + \sigma^2);$$

✓ herdabilidade entre progênies

$$h_f^2 = \sigma_{f(p)}^2 / (\sigma_{f(p)}^2 + \sigma_{rf(p)}^2 / r + \sigma^2 / nr);$$

✓ herdabilidade dentro de progênies

$$h_w^2 = (2 * \sigma_{f(p)}^2) / (\sigma_{f(p)}^2 + \sigma^2);$$

em que:

$\sigma_{f(p)}^2$ = Componentes da análise de variância para progênies dentro de procedências;

$\sigma_{rf(p)}^2$ = Componentes da análise de variância para bloco*progênie dentro de procedências;

σ^2 = Componentes da análise de variância do resíduo;

n = Média harmônica do número de plantas por parcela;

r = Número de blocos.

Correlações fenotípicas entre densidade básica e caracteres de crescimento foram calculadas separadamente para os ensaios, usando-se o método de "Pearson's product-moment" (SAS, 1990).

RESULTADOS

Procedências centro-americanas

A densidade básica média da madeira das procedências centro-americanas foi de 0,418 g/cm³. A densidade básica média entre procedências foram significativas ($p < 0.0053$) e variaram de 0,403 a 0,445 g/cm³. A procedência de

Celaque apresentou média de densidade da madeira superior a todas as outras procedências desta população, porém não diferiu significativamente da testemunha *P. oocarpa* 405 (Tabela 2). A procedência Km 47 foi a que apresentou a menor densidade entre todas as outras neste teste (Tabela 2).

Tabela 2

Valores médios das procedências de *P. tecunumanii* da América Central calculados para densidade básica da madeira, volume, altura e diâmetro à altura do peito (DAP). (Provenance trial means of *P. tecunumanii* from Central América, assessed for wood density, volume, height and diameter at breast height (dbh))

Procedências	Densidade (g/cm ³)	Volume (m ³)	Altura (m)	DAP (cm)
Celaque	0.445 a	0,30	18,2	23,1
San Vicente	0.424 bc	0,31	17,6	23,5
San Jerónimo	0.418 bcd	0,36	18,5	25,1
Km 33	0.414 bcd	0,26	17,2	22,1
Las Trancas	0.413 cd	0,32	17,9	23,7
La Soledad	0.410 cd	0,32	17,5	24,0
San Lorenzo	0.410 cd	0,34	18,3	23,9
Km 47	0.403 d	0,26	16,8	22,5
Médias	0,418	0,31	17,8	23,6
Testemunha 405	0.448 a	0,35	19,5	24,1
Testemunha 200	0.415 bcd	0,32	17,9	24,1

*, letras diferentes indicam diferenças significativas entre procedências ao nível de 0,05 de probabilidade

* Para o cálculo das médias não foram considerados as testemunhas

As diferenças entre médias da densidade básica para progênies foram significativas ($p < 0,0001$) e variaram de um mínimo de 0,379 g/cm³ a um máximo de 0,469 g/cm³.

As testemunhas apresentaram densidade básica média de 0,448 g/cm³ (*P. oocarpa* 405) e 0,415 g/cm³ (San Jerónimo 200). A densidade básica da testemunha *P. oocarpa* foi superior à da procedência de Celaque, a qual apresentou a maior densidade entre todas as procedências centro-americanas. A testemunha de San Jerónimo apresentou densidade básica média inferior apenas às procedências de Celaque e

San Vicente, e o seu valor foi muito próximo ao da procedência de San Jerônimo no teste (Tabela 2).

Os valores da herdabilidade da densidade básica para indivíduos, progênies e indivíduos dentro de progênies foram de 0,13, 0,32 e 0,09, respectivamente.

As médias de altura, diâmetro à altura do peito (DAP) e volume das procedências foi de 17,8 m, 23,6 cm e 0,315 m³, respectivamente (Tabela 2).

As médias de altura, DAP e volume das progênies, variaram de 16,38 m a 19,58 m; 20,03 cm a 27,60 cm; e de 0,207 m³ a 0,447 m³, respectivamente.

A procedência centro-americana mais produtiva foi a de San Jerônimo, Guatemala, com o volume de 0,36 m³.

Correlações significativas e positivas foram encontradas em nível de plantas e de média de progênies entre densidade e os caracteres de crescimento (exceto DAP). Entretanto, as médias de densidade e os caracteres de crescimento não apresentaram correlação significativa em nível de médias de procedência (Tabela 4).

Procedências mexicanas

A densidade básica média da madeira das procedências mexicanas foi de 0,398 g/cm³, inferior à verificada para as procedências centro-americanas. Diferenças entre médias de densidade básica das procedências mexicanas foram significativas ($p < 0,0001$), variando de 0,384 g/cm³ (Las Piedrecitas) a 0,421 g/cm³ (Montebello). As diferenças entre médias das procedências mexicanas foram mais nítidas do que nas procedências centro-americanas (Tabelas 2 e 3). A procedência de Montebello diferiu significativamente de todas as outras procedências, porém não diferiu da testemunha San Jerônimo 200 e foi inferior à testemunha *P. oocarpa* (Tabela 3). Além da superioridade em densidade, a procedência de Montebello, também apresentou a maior média em volume de madeira (0,32 m³).

Tabela 3

Valores médios das procedências de *P. tecunumanii* do México, calculados para densidade básica da madeira, volume, altura e diâmetro à altura do peito (DAP). (Provenance trial means of *P. tecunumanii* from Mexico, assessed for wood density, volume, height and diameter at breast height (dbh))

Procedência	Densidade (g/cm ³)	Volume (m ³)	Altura (m)	Dap (cm)
Montebello	0.421 b	0,32	18,6	23,6
Jitotol	0.401 c	0,28	16,9	22,9
Chempil	0.398 c	0,30	17,6	23,4
San José	0.386 cd	0,26	16,2	22,6
Las Piedrecitas	0.384 d	0,23	15,7	21,2
Médias*	0,398	0,28	17,1	22,8
Testemunha 405	0.453 a	0,26	17,8	21,3
Testemunha 200	0.422 b	0,35	18,5	24,5

* letras diferentes indicam diferenças significativas entre procedências ao nível de 0,05 de probabilidade

* Para o cálculo das médias não foram considerados as testemunhas

As diferenças entre as médias de densidade básica para progênies foram significativas ($p < 0,001$) e variaram de um mínimo de 0,337 g/cm³ a um máximo de 0,465 g/cm³.

As herdabilidades de indivíduos, progênies e dentro das progênies para densidade básica média da madeira foram de 0,30; 0,58 e 0,22, respectivamente.

As médias de altura, DAP e volume para as procedências foram de 17,12 m, 22,78 cm e 0,281 m³, respectivamente.

As médias de altura, DAP e volume para progênies variaram de 14,59 m a 19,50 m; 18,31 cm a 25,21 cm; e de 0,150 m³ a 0,372 m³, respectivamente.

Correlação positiva e significativa foi encontrada entre os valores médios de densidade básica da madeira e dos valores de altura e volume das progênies e procedências e individuais. Porém essas correlações significativas não foram observadas entre os valores individuais ou médias de progênies e procedência, para DAP (Tabela 4).

Tabela 4

Coefficientes de correlação (r) entre valores individuais (DI), médias de progênies (DPROG) e de procedências (DPROV) da densidade básica da madeira e de dados de altura (H), diâmetro à altura do peito (DAP) e volume (VOL), para procedências Centro Americanas e Mexicanas de *Pinus tecunumanii*, com 15 anos de idade, em Planaltina, DF

(Correlation coefficients (r) between individual values (DI), family means (DPROG) and of provenances (DPROV) of wood density and of height(H), diameter at breast height (DAP) and volume (VOL) data, for Central America and Mexico provenances of *Pinus tecunumanni*, 11 years old, grown in Planaltina, DF)

	Procedências centro-americanas				Procedências mexicanas			
	n	H	DAP	VOL	n	H	DAP	VOL
DI	496	0.23 ***	0.17 ***	0.19***	428	0.29***	0.08 ns	0.14**
DPROG	42	0.46 **	0.27 ns	0.29*	38	0.62***	0.24 ns	0.40**
DPROV	8	0.47 ns	0.02 ns	0.24ns	5	0.91ns	0.79 ns	0.86*

* = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$; *** $p < .001$; ns = não significante; n= número de observações

DISCUSSÃO

Neste e em outros estudos a madeira produzida por *P. tecunumanii* em condições naturais ou em plantios tem apresentado densidade básica de moderado a alto valor entre espécies de *Pinus*.

No cerrado de Planaltina a magnitude da densidade básica da madeira produzida por procedências centro-americanas ou mexicanas foi superior às médias da densidade básica da madeira de procedências de altas altitudes em plantios realizados na Colômbia (0,344 g/cm³) (Osório e Dvorak, 1993). Por outro lado, foram inferiores à densidade do mesmo tipo de procedências em plantios nas partes altas da África do Sul (0,423 g/cm³), aos oito anos de idade (Malan, 1992), e à média dos valores de densidade básica da madeira de procedências de baixa elevação em Queensland na Austrália (0,402 g/cm³) aos nove anos de idade (Harding, 1990); e em Barinas, Venezuela (0,412 g/cm³) aos 10 anos de idade (Gimenez, 1982). Estas diferenças podem ser creditadas às variações de idade e ambientais entre locais de plantio, fato já evidenciado em populações de *P. tecunumanii* de baixa altitude (Moura et al., 1991). A densidade da madeira encontrada em populações naturais de *P. tecunumanii* de alta e baixa altitude, com idade acima de 27 anos, foi

superior aos valores encontrados neste trabalho, para todas as procedências. Populações de *P. tecunumanii* de altitudes elevadas na Guatemala, com idade entre 30 e 60 anos, apresentaram densidade de 0,525 g/cm³ (Eguiluz-Piedra e Zobel, 1986) e a densidade básica média da madeira de 97 árvores com idade média de 28 anos, da procedência de Mountain Pine Ridge, Belize, de baixa altitude, foi de 0,542 g/cm³ (Dvorak e Wright, 1994).

No Brasil e, principalmente no cerrado, os estudos de densidade com *P. tecunumanii* foram efetuados apenas em procedências de baixa altitude, mais precisamente com as procedências de Mountain Pine Ridge, de Belize e Yucul da Guatemala. A densidade básica média da procedência de Mountain Pine Ridge foi de 0,375 g/cm³ aos oito anos (Moura e Santiago, 1991) e de 0,420 g/cm³ (Moura et al., 1998) aos 12 anos, em Planaltina, DF; de 0,412 g/cm³ e 0,419g/cm³ em Serranópolis, GO, e Jaciara, MT, aos 12 anos de idade respectivamente (Moura et al., 1991); de 0,395 g/cm³ em Morada Nova, MG, aos 4 anos de idade (Lima et al., 1990); 0,402 g/cm³ em Agudos, SP (Birks e Barnes, 1990). Em Aracruz, ES, região de mata, a densidade dessa procedência foi de 0,377 g/cm³ aos 4 anos (Lima et al., 1990). A procedência de Yucul, apresentou densidade de 0,382 g/cm³ aos oito anos (Moura e Santiago, 1991) e de

0,406 g/cm³ em Planaltina, DF; de 0,407 g/cm³ em Serranópolis, GO e de 0,396 g/cm³, em Jaciara, MT, aos 12 anos de idade (Moura et al., 1991). Os valores da densidade básica média destas procedências de baixa altitude estão em faixa bastante próxima da variabilidade das densidades das procedências centro-americanas e mexicanas deste estudo, as quais apresentam idade inferior. A tendência das populações de *P. tecunumanii* de baixa altitude apresentarem densidade básica da madeira mais alta do que as procedências de altas altitudes, já havia sido documentada por Osório e Dvorak (1993), sendo que árvores com oito anos produzidas com sementes de altitude elevadas na Guatemala e Honduras (0,358g/cm³) apresentaram densidade da madeira mais alta do que aquelas de Chiapas, México (0,330 g/cm³), quando plantadas na Colômbia. É interessante notar que a baixa densidade da madeira apresentada pelas procedências mexicanas, deve-se principalmente às baixas médias da densidade das procedências de San Jose e Las Piedrecitas, originárias do plateau de San Cristobal de las Casas, onde estas têm a mesma performance nos caracteres de crescimento aos observados em Planaltina (Moura e Dvorak, 1998). Isto evidencia a incapacidade dessas procedências de produzirem madeira em qualidade e quantidade. Ao contrário, a procedência de Montebello, do sopé oeste da serra dos Chumunatanes, México, foi a que apresentou madeira com mais alta densidade entre as procedências mexicanas e de valor similar às das melhores procedências centro-americanas, e praticamente igual ao do controle de San Jerônimo 200, da Guatemala. A procedência de San Jerônimo 200 apresenta maior potencial de crescimento nas condições do cerrado de Planaltina entre outras procedências de *P. tecunumanii* testadas (Moura e Dvorak, 1998).

Os estudos realizados em diferentes locais no cerrado têm demonstrado que a densidade básica da madeira de procedências de *P. oocarpa* é igual ou superior ao de procedências

de *P. tecunumanii* (Moura e Parca, 1993), porém o volume de madeira produzido é menor do que a maioria das procedências de *P. tecunumanii* de alta ou baixa altitude (Moura e Parca, 1993; Moura e Dvorak, 1998).

Ficou evidenciado que as correlações entre os caracteres de crescimento e de densidade básica, não seguem o mesmo padrão para os dois grupos de procedência, principalmente quando se considera as correlações entre densidade básica e o DAP das plantas. Enquanto as correlações em nível de indivíduos foram significativas para as procedências centro-americanas, o mesmo não ocorreu para as procedências mexicanas. Entretanto, a tendência verificada foi sempre positiva independente do nível de significância. Isto significa que nos processos seletivos, tendo como base caracteres de crescimento, graus diferenciados de ganho genético em densidade básica também serão possíveis. Isso demonstra que na amostragem para cálculo da densidade a eliminação dos indivíduos de menor crescimento não acarretará necessariamente diminuição do ganho genético numa seleção com base na densidade.

Considerando que as populações de baixa altitude de *P. tecunumanii* normalmente têm madeira de densidade elevada e também apresentarem maior crescimento volumétrico no cerrado (Moura e Dvorak, 1998), o uso destas populações são mais recomendadas para serem incluídas nos processos de melhoramento genético e também para plantios comerciais.

Os valores das herdabilidades foram mais altos nas procedências mexicanas do que nas procedências centro americanas, indicando que as primeiras estão sob mais forte controle genético. Embora isso demonstre que ganhos genéticos percentuais podem ser maiores nas procedências mexicanas, considera-se que no geral as densidades básicas foram menores nas procedências mexicanas, em todos os níveis, Sendo assim, num processo de melhoramento, recomenda-se que um número maior de indivíduos sejam selecionados dentro das procedências

cias centro-americanas, porém incluindo também indivíduos das procedências mexicanas, principalmente da procedência de Montebello, a de maior densidade básica média entre todas as procedências mexicanas neste experimento.

A produção volumétrica das procedências mexicanas, considerando-se apenas os três indivíduos de maior crescimento dentro de cada parcela, foi menor em 10,8% do que a das procedências centro-americanas.

CONCLUSÕES

- ✓ As densidades básicas médias das procedências e progênies diferiram significativamente tanto para as procedências centro-americanas como para as mexicanas;
- ✓ A densidade básica média foi maior nas procedências centro-americanas que nas procedências mexicanas;
- ✓ A densidade básica da madeira nas procedências mexicanas estão sobre um maior controle genético do que nas procedências centro-americanas;
- ✓ Ganhos genéticos podem ser obtidos através da seleção de indivíduos ou de progênies nas populações mexicanas e centro-americanas;
- ✓ Seleção com base em caracteres de crescimento acarretará ganhos genéticos, em maior ou menor grau, independente das procedências;
- ✓ Existe tendência de diminuição de densidade básica da madeira de *P. tecunumanii* com a altitude de origem da procedência.

AUTORES E AGRADECIMENTOS

VICENTE PONGITORY GIFONI MOURA é Engenheiro Florestal, Pesquisador Doutor da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Parque Estação Biológica. Final da Av. W5 Norte – Brasília, DF - 70770-900 – E-mail: vmoura@cenargen.embrapa.br

AILTON TEIXEIRA DO VALE é Engenheiro Florestal, Professor Doutor do Departamento de Engenharia Florestal da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília - Campus Universitário – Brasília, DF - 70910-900 – E-mail: atvale@unb.br

Os autores agradecem ao engenheiro florestal Fábio Bakker Isaias do Centro de Recursos Ambientais do Estado da Bahia; ao estudante de engenharia florestal Pablo Viejo Fagundes do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília; e ao Técnico Agrícola Celso Milhomen, da Embrapa Cerrados, pela assistência e colaboração durante a coleta das amostras e cálculo da densidade básica da madeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRICHELO, L.E.G.; KAGEYAMA, P.Y.; SPELTZ, R.M.; BONISH, H.J.; BRITO, J.O.; FERREIRA, M. Estudo de procedências de *Pinus taeda* visando seu aproveitamento industrial. **IPEF**, n.15, p.1-14, 1977.
- BIRKS, J.S.; BARNES, R.D. **Provenance variation in *Pinus caribaea*, *Pinus oocarpa* and *Pinus patula* ssp. *tecunumanii***. Oxford: Oxford Forestry Institute, 1990. 40p. (Tropical forestry papers, 21)
- DVORAK, W.S.; WRIGHT, J.A. Offspring-parent correlations for wood density of *Pinus tecunumanii* in between native and exotic environments. **Canadian journal of forest research**, v.24, p.1593-1596, 1994.
- EGUILUZ-PIEDRA, T.A.; ZOBEL, B.J. Geographic variation in wood properties of *Pinus tecunumanii*. **Wood and fiber science**, v.18, n.1, p.68-75, 1986.
- FERREIRA, M. Estudo da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw, *Eucalyptus saligna* Smith. **IPEF**, n.1, p.83-96, 1970.
- GIBSON, G.L. **Genotype-environment interaction in *Pinus caribaea***. Oxford: Commonwealth Forestry Institute, 1982. 124p.
- GIMENEZ, S. **Variación feno-genética entre 30 procedencias de ocho especies de pino en Miri, Barinas, Venezuela**. Merida, 1982. 87p. Tese (Mestrado) - Universidad de los Andes
- GOEDERT, W.J.; LOBATO, E.; WAGNER, E. Potencial agrícola da região dos cerrados. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.15, n.1, p.1-17, 1980.

- HARDING, K.J. Queensland wood properties research during the 1980s. **Appita**, v.43, n.2, p.155-157, 1990.
- LADRACH, W.E. Comparaciones entre procedências de siete coníferas en la Zona Andina al finalizar los ochos años. **Informe de investigación Smurfit Cartón de Colombia**, n. 105, p.1-8, 1986.
- LIMA, R.T.; JETT, J.B.; DVORAK, W.S. Family stability of wood specific gravity in *Pinus tecunumanii* established on three sites in South America. **New forests**, v.3, p.311-316, 1990.
- LOPES, A.S.; COX, F.R. A survey of the fertility status of surface soils under "cerrado" vegetation in Brazil. **Soil Science Society of American journal**, v.41, p.142-147, 1977.
- MALAN, F.S. **Wood properties of 46 Pinus tecunumanii families: FOR-DEA589**. Pretoria: Department of Water Affairs and Forestry, 1992. 13p.
- MOURA, V.P.G. A pesquisa com *Eucalyptus* e *Pinus* na região dos cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 7, Planaltina, 1995. **Anais: estratégias de utilização**. Brasília, 1995. p.183-197
- MOURA, V. P.; DVORAK, W. S. Provenance and family variation of families of *Pinus tecunumanii*, grown in the Brazilian Cerrado. **Forest genetic**, v.5, n.3, p.137-145, 1998.
- MOURA, V.P.G.; DVORAK, W.S.; NOGUEIRA, M.V.P. Variation in stem volume and wood density of the Mountain Pine Ridge, Belize, provenance of *Pinus tecunumanii* grown at Planaltina, Brazil. **Scientia forestalis**, n.53, p.7-14, 1998.
- MOURA, V.P.G.; PARCA, M.L.S. Estudo comparativo entre densidade básica e penetração do *Pilodyn* em espécies/procedências de *Pinus* centro-americanos em três locais dos cerrados. **Boletim de pesquisa EMBRAPA/CPAC**, n.36, p.19, 1993.
- MOURA, V.P.G.; PARCA, M.L.S.; SILVA, M.A. Variação da densidade básica da madeira de espécies e procedências de *Pinus* centro-americanos em três locais na região dos Cerrados. **Boletim de pesquisa florestal**, n.22/23, p.29-44, 1991.
- MOURA, V.P.G.; SANTIAGO, J. Densidade básica da madeira de espécies de *Pinus* tropicais determinadas através de métodos não-destrutivos. **Boletim de pesquisa EMBRAPA-CPAC**, v.33, p.1-14, 1991.
- OSÓRIO, L.F.; DVORAK, D.W. Volume and wood density results for *Pinus tecunumanii* at eight years of age in Colombia. In: SOUTHERN FOREST TREE IMPROVEMENT CONFERENCE, 22, Atlanta, 1993. **Proceedings**. Atlanta, 1993. p.348-356
- SAS – STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS. **SAS/STAT user's guide, version 6**. 4.ed. Cary: SAS Institute, 1990. v.2
- SATTERTHWAITE, F.E. An approximate distribution of estimates of variance components. **Biometrics bulletin**, v.2, p.110-114, 1946.
- SMITH, D.M. Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples. **USDA. Forest Service. FPL**, n.2014, p.1-8, 1954.
- SQUILLACE, A.E. Average genetic correlations among off-spring from open-pollinated forest trees. **Silvae genetica**, v.23, p.149-156, 1974.
- VÁSQUEZ, J.; DVORAK, W.S. Trend in variances and heritabilities with stand development of tropical pines. **Canadian journal of forest research**, v.26, p.1473-1480, 1996.
- WRIGHT, J.A.; GIBSON, G.L.; BARNES, R.D. Provenance variation in stem volume and wood density of *Pinus caribaea*, *P. oocarpa*, and *P. patula* ssp. *tecunumanii* in Zambia. **Commonwealth forestry review**, v.65, n.1, p.33-41, 1986.