

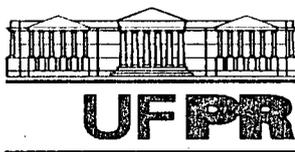
IVONE SATSUKI NAMIKAWA FIER

**VARIAÇÃO GENÉTICA E MÉTODOS DE MELHORAMENTO PARA *Pinus maximinoi* H. E. Moore EM TELÊMACO BORBA (PR)**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de "Mestre em Ciências Florestais".

Orientador: Prof. Dr Antonio Rioyei Higa

CURITIBA  
2001



Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Agrárias – Centro de Ciências Florestais e da Madeira  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**  
Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico – CAMPUS III  
80210-170 - CURITIBA - Paraná  
Tel. (41) 360.4212 - Fax. (41) 360.4211 - <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao>  
e-mail: [pinheiro@floresta.ufpr.br](mailto:pinheiro@floresta.ufpr.br)

## PARECER

Defesa nº 442

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir a mestrand *IVONE SATSUKI NAMIKAWA FIER* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "VARIÇÃO GENÉTICA E MÉTODOS DE MELHORAMENTO PARA *Pinus maximinoi* H.E. Moore EM TELÊMAGO BORBA (PR)", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** da acadêmica, habilitando-a ao título de *Mestre em Ciências Florestais*, na área de concentração em *Silvicultura*.

*Dr. Antonio Riroyei Higa*

Professor e pesquisador do Departamento de Ciências Florestais da UFPR  
Orientador e presidente da banca examinadora

*Dr. José Alfredo Sturion*

Pesquisador da EMBRAPA/CNPF  
Primeiro examinador

*Dr. Luiz Doni Filho*

Professor e pesquisador do Departamento de Fitotecnia da UFPR  
Segundo examinador

Curitiba, 03 de setembro de 2001.

Nivaldo Eduardo Rizzi

Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

Franklin Galvão

Vice-coordenador

**Aos meus pais Kiyoshi (In memorian) e Kaeko  
e ao meu esposo Amauri,**

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Dr. Antonio Rioyei Higa, pela orientação, amizade e incentivo para a elaboração deste trabalho.

Ao pesquisador e co-orientador Dr. Marcos Deon Vilela de Resende, pela sua valiosa contribuição.

Ao pesquisador e co-orientador Admir Lopes Mora pela amizade, incentivo e valiosa contribuição em todas as fases do trabalho.

Ao professor Dr. Luiz Doni Filho e ao pesquisador Dr. José Alfredo Sturion, pelas importantes contribuições ao trabalho.

A Klabin, pela oportunidade profissional e apoio à realização deste trabalho.

Ao saudoso Dr. Rui Fernando Romero Monteiro, pela oportunidade inicial e constante incentivo ao crescimento profissional.

Aos engenheiros Raul Mario Speltz, Manoel Francisco Moreira, Paulo Kikuti e Jose Aldezir de Luca Pucci, que em diferentes períodos na Klabin, prestaram o seu apoio e incentivo para a realização deste trabalho.

A CAMCORE, em especial a William S. Dvorak e Gary Hodge, pelo trabalho dedicado aos Pinus do México e América Central.

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de realizar o curso.

Às amigas Ana Maria de Moura Jorge Santos, Eliane F. Young Blood e Luzia Fermio Simonetti, pela amizade e auxílios prestados.

Aos amigos Regiane Borsato e Randy Speltz pela troca de informações e sugestões.

Aos técnicos florestais, em especial ao Abel Santana, Antonio César Benato, Calmuzino dos Santos, Valdir Moura, Luis Carlos de Souza Lima, Sergio A. Filipaki, Luiz C. P. Barbosa e Auriomar Álvares, da equipe da Pesquisa Florestal da Klabin, pela colaboração e amizade.

À amiga e pesquisadora Rosana C. V. Higa, pela amizade, incentivo e paciência.

A todos os amigos e pessoas que contribuíram, mas que por alguma falha não tenham sido citados.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....</b>	<b>v</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>viii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1 A ESPÉCIE.....	4
2.1.1 Características Gerais.....	4
2.1.2 Taxonomia.....	6
2.1.3 Estudos de Germoplasma.....	6
2.1.4 Crescimento e Forma do Fuste.....	7
2.1.5 Qualidade da Madeira de <i>P. maximinoi</i> .....	8
2.2 PARÂMETROS GENÉTICOS.....	9
2.2.1 Importância.....	9
2.2.2 Variância Fenotípica e Genotípica.....	10
2.2.3 Herdabilidade.....	11
2.2.4 Correlações entre Características.....	12
2.3 PREDIÇÃO DOS VALORES GENÉTICOS.....	14
2.4 MÉTODOS DE SELEÇÃO.....	14
2.5 SELEÇÃO PRECOCE.....	15
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>17</b>
3.1 GERMOPLASMA.....	17
3.2 MÉTODOS.....	18
3.2.1 Instalação dos Experimentos.....	18
3.2.2 Delineamento Experimental e Coleta de Dados.....	19
3.2.3 Análise de Variância.....	21
3.2.4 Estimativas de Parâmetros Genéticos.....	23
3.2.5 Estimativas de Coeficientes de Herdabilidade.....	24
3.2.6 Estimativas de Correlações Genéticas e Fenotípicas.....	25
3.2.7 Valores Genéticos.....	26

3.2.8 Seleção Precoce e Estimativas de Ganhos Genéticos em Diferentes Idades.....	26
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>27</b>
4.1 CRESCIMENTO DE <i>P. maximinoi</i> , <i>P. taeda</i> e <i>P. elliotii</i> .....	27
4.2 AVALIAÇÃO DAS PROCEDÊNCIAS E PROGÊNIES.....	29
4.2.1 Crescimento em Altura, Diâmetro à Altura do Peito e Volume.....	29
4.2.2 Forma e Diâmetro dos Ramos.....	31
4.3 HERDABILIDADE.....	33
4.4 CORRELAÇÕES GENÉTICAS E FENOTÍPICAS.....	34
4.4.1 Entre Características na Mesma Idade.....	34
4.4.2 Entre Idades Diferentes.....	35
4.5 SELEÇÃO SIMULADA EM DIFERENTES IDADES.....	36
4.6 COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE MELHORAMENTO.....	39
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>41</b>
REFERÊNCIAS.....	42

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ORIGEM DAS SEMENTES DE <i>P. maximinoi</i> COLETADAS PELA CAMCORE.....	5
TABELA 1 – HERDABILIDADES ASSOCIADAS ÀS CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO EM DIFERENTES ESPÉCIES DE <i>Pinus</i> .....	12
TABELA 2 – CARACTERIZAÇÃO DAS REGIÕES DE COLETA DAS PROCEDÊNCIAS DE <i>P. maximinoi</i> TESTADAS EM TELÊMACO BORBA (PR).....	17
FIGURA 2 – AVALIAÇÃO VISUAL PARA FORMA DO FUSTE.....	21
TABELA 3 – ESQUEMA DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O MODELO APRESENTADO, COM ESPERANÇA DE QUADRADOS MÉDIOS ASSOCIADOS AOS DIFERENTES EFEITOS.....	22
TABELA 4 – MÉDIAS DE <i>P. maximinoi</i> E DAS TESTEMUNHAS UTILIZADAS E COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO TESTE DE TUKEY, PARA ALTURA, DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP) E SOBREVIVÊNCIA, NAS DIFERENTES IDADES.....	27
TABELA 5 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM NÍVEL DE MÉDIAS DE PROCEDÊNCIAS E DE PROGÊNIES DENTRO DE PROCEDÊNCIAS PARA ALTURA, DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP) E VOLUME DE <i>P. maximinoi</i> , AOS OITO ANOS DE IDADE EM TELÊMACO BORBA (PR).....	30
TABELA 6 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM NÍVEL DE MÉDIA DE PROCEDÊNCIAS E DE PROGÊNIES DENTRO DE PROCEDÊNCIAS PARA FORMA DO FUSTE E DIÂMETRO DOS RAMOS DE <i>P. maximinoi</i> , AOS OITO ANOS DE IDADE, EM TELÊMACO BORBA (PR).....	32
TABELA 7 – COEFICIENTES DE HERDABILIDADE NO SENTIDO RESTRITO, ASSOCIADOS A DIFERENTES EFEITOS PARA AS CINCO CARACTERÍSTICAS AVALIADAS EM <i>P. maximinoi</i> .....	33

TABELA 8 –	CORRELAÇÕES GENÉTICAS ADITIVAS EM NÍVEL DE INDIVÍDUOS ( $r_A$ ) E CORRELAÇÕES FENOTÍPICAS EM NÍVEL DE FAMÍLIAS ( $r_F$ ) ENTRE PARES DE CARACTERÍSTICAS DE <i>P. maximinoi</i> AOS OITO ANOS DE IDADE EM TELÊMACO BORBA (PR).....	34
TABELA 9 –	CORRELAÇÕES GENÉTICAS ADITIVAS EM NÍVEL DE INDIVÍDUOS ( $r_A$ ) E CORRELAÇÕES FENOTÍPICAS EM NÍVEL DE FAMÍLIAS ( $r_F$ ) ENTRE DIFERENTES IDADES DE AVALIAÇÃO.....	36
TABELA 10 –	MÉDIAS DOS GANHOS GENÉTICOS (%) NA IDADE DE VERIFICAÇÃO DE GANHOS (IVG) COM DIFERENTES IDADES DE SELEÇÃO (IS) PARA ALTURA DE PLANTAS.....	37
TABELA 11 –	MÉDIAS DOS GANHOS GENÉTICOS (%) NA IDADE DE VERIFICAÇÃO DE GANHOS (IVG) COM DIFERENTES IDADES DE SELEÇÃO (IS) PARA DAP.....	37
TABELA 12 –	GANHOS GENÉTICOS EM VOLUME (GS %) NA IMPLANTAÇÃO DO POMAR DE SEMENTES POR MUDAS (PSM) E POMAR CLONAL DE SEMENTES (PCS), DE <i>P. maximinoi</i> , AOS OITO ANOS DE IDADE.....	39

## RESUMO

Nas regiões de transição do clima temperado da Região Sul do Brasil para climas mais quentes, como em Telêmaco Borba (PR), as espécies tradicionalmente plantadas como *P. taeda* e *P. elliottii* não expressam todo o seu potencial produtivo. Nessas áreas é necessária a pesquisa por novas espécies visando melhor adaptabilidade, maior potencial de crescimento e qualidade da madeira. Este trabalho teve como objetivos avaliar as características de crescimento de *P. maximinoi* em Telêmaco Borba (PR), em comparação com *P. taeda* e *P. elliottii*, plantadas comercialmente, estudar as variabilidades genéticas para as características de crescimento, retidão do fuste e diâmetro dos ramos, para verificação da viabilidade da seleção precoce e avaliar o método de melhoramento mais eficiente em *Pinus maximinoi* H.E. Moore. Com essa finalidade, foi estabelecido um teste combinado de procedências e progênies com 53 progênies de cinco diferentes procedências, em Telêmaco Borba (PR), com delineamento de nove repetições e parcelas lineares de seis plantas, com espaçamento de 3 m x 3 m. As plantas foram avaliadas aos 1, 2, 3, 5 e 8 anos de idade para altura e sobrevivência, e aos 3, 5 e 8 anos para o DAP. A forma do fuste e o diâmetro dos ramos foram avaliados aos 8 anos de idade. Os resultados indicaram que as procedências de *P. maximinoi* apresentaram superioridade em relação às testemunhas comercialmente plantadas (*P. taeda* e *P. elliottii*) em Telêmaco Borba (PR), para as características de crescimento. *P. maximinoi* apresentou produção volumétrica de 0,2329 m<sup>3</sup> sólidos com casca, aos oito anos de idade, porém apresentou árvores com fustes tortuosos. A média do volume das procedências de *P. maximinoi* foi 48,9% superior ao volume médio das plantações comerciais de *P. taeda*, na mesma idade e condições de sítio. Foram detectadas variações genéticas significativas entre e dentro de procedências e progênies para as características de crescimento, retidão do fuste e diâmetro dos ramos. Essas variações revelaram o potencial das populações em teste para melhoramento através de seleção, para todas as características estudadas. Retidão do fuste e diâmetro dos ramos apresentaram diferenças significativas entre progênies, o que permitirá ganhos para estas características pela seleção dos melhores indivíduos. As correlações genéticas entre idades e as estimativas de ganho por seleção precoce sugerem que a seleção pode ser feita aos 5 anos de idade com a mesma eficiência que aquela feita aos 8 anos de idade, principalmente para a característica DAP. Na transformação do teste de procedências e progênies de *P. maximinoi* em Telêmaco Borba (PR) em pomar de sementes por mudas, a estimativa de ganho genético em volume de madeira através de seleção por índice multi-efeitos (IME) foi de 24,07%, elevando a produção volumétrica de 0,2329 m<sup>3</sup> sólidos com casca por árvore para 0,2863 m<sup>3</sup> sólidos com casca por árvore. No pomar de sementes clonal, a estimativa de ganho genético em volume de madeira através do IME foi de 36,65%, com o volume médio passando a 0,3182 m<sup>3</sup> sólidos com casca por árvore.

## ABSTRACT

Telêmaco Borba (PR) is located in a region where the temperature changes from subtropical to warmer conditions. In this environment *Pinus taeda* and *P. elliottii*, the main forest tree species planted in this area, are not showing their total productivity capacity. Therefore, the search for new species aiming to achieve better growth and suitable wood quality is priority. This work aimed to evaluate volume growth of *P. maximinoi* H. E. Moore in Telêmaco Borba (PR) compared to *P. taeda* and *P. elliottii* commercially planted in this region; to estimate the genetic variability for growth at different ages in order to verify the viability of early selection and, to evaluate the genetic gain by using two traditional breeding methods for the *Pinus* species. A progeny test was planted at Telêmaco Borba, Paraná State, with five provenance and 53 progenies. The field design had nine replications of six plants per plot and the seedlings were planted in a 3 m X 3m spacing. Plants were evaluated at 1, 2, 3, 5 and 8 years of age for height and survival, and at 3, 5 and 8 years for diameter at breast height (DBH). Stem straightness and branch diameter were evaluated at 8 years of age. Results indicated that *P. maximinoi* showed better growth rate than *P. taeda* and *P. elliottii*. *P. maximinoi* was 0,2329m<sup>3</sup> /tree (solid volume with bark) at 8 years of age, but showed bad stem straightness. *P. maximinoi* volume was 48,9 % superior to *P. taeda* commercially planted at the same site conditions. There was no significant genetic variation in growth among tested provenance of *P. maximinoi*. However, significant genetic variation was detected among families within provenances. These variations indicate the potential for breeding for these analyzed traits. Stem straightness and branch diameter were statistically different among progenies, too. These results also, show the potential for gains through selection of the best individuals. Genetic correlation among ages and gains through early selection suggest that selection at five years of age can be efficient at eight years of age, especially for DBH. The genetic gain for wood volume using the option clonal seed orchard strategy is higher than for the option seedling seed orchard, even using the "multiple-effects selection".

## 1 INTRODUÇÃO

O gênero *Pinus*, introduzido inicialmente no Brasil em 1936, através do Serviço Florestal do Estado de São Paulo, vem sendo amplamente utilizado nos programas de reflorestamento no país. Os plantios com este gênero totalizam aproximadamente 1,8 milhões de hectares, o que representa cerca de 33% do total de florestas plantadas no Brasil.

O emprego do gênero *Pinus*, com ênfase nas espécies *P. taeda* e *P. elliottii*, tornou-se bastante comum na Região Sul do Brasil, devido à sua boa adaptação às condições edafoclimáticas, principalmente quanto a resistência à geadas (ARAÚJO, 1980). Além disso, é comprovado o seu potencial de utilização nas diversas indústrias do ramo madeireiro e de celulose e papel, em substituição à madeira de *Araucaria angustifolia*, espécie nativa, tradicionalmente utilizada até a década de 1980, na Região Sul do Brasil, porém de crescimento lento.

Os principais esforços de pesquisa concentraram-se no desenvolvimento de técnicas adequadas para a silvicultura, no melhoramento genético e na utilização da madeira, principalmente de *P. taeda* e *P. elliottii*, conforme SHIMIZU e HIGA (1981). Outras espécies de *Pinus*, que poderiam ser adequadas para o plantio, não foram utilizadas em escala comercial, devido à falta de informações de pesquisa.

Essas espécies podem ser importantes alternativas, principalmente em regiões de transição para climas mais quentes, como em Telêmaco Borba (PR), onde as espécies *P. taeda* e *P. elliottii* não expressam todo o potencial de crescimento, em função de não estarem totalmente adaptadas.

Outro fator preocupante foi a introdução involuntária da vespa-da-madeira (*Sirex noctilio*), no Brasil, a partir do Rio Grande do Sul, causando danos em áreas significativas reflorestadas com *P. taeda* o que gerou a necessidade de buscar espécies alternativas, principalmente em locais onde *P.taeda* não está bem adaptado e, portanto mais susceptível ao ataque da vespa.

O Município de Telêmaco Borba, além de contar com uma grande unidade integrada de celulose e papel, vem se desenvolvendo nos últimos decênios como um forte pólo florestal e industrial madeireiro, com a instalação de diversas serrarias, laminadoras, fábricas de móveis e outras empresas de beneficiamento de madeira. O abastecimento desse pólo é realizado com a madeira produzida pelos

reflorestamentos das Indústrias Klabin S.A., além dos plantios realizados por fazendeiros florestais, incentivados por um programa de fomento desenvolvido em uma parceria entre a EMATER-PR e a empresa. Esses pequenos proprietários utilizam as áreas não-produtivas para agricultura e pecuária, para o plantio de florestas.

Um pólo florestal dessa magnitude e as questões levantadas anteriormente justificam a pesquisa por novas espécies para reflorestamento visando melhor adaptabilidade, maior potencial de crescimento e qualidade da madeira. Tendo como um dos objetivos, atender a essa necessidade, a Cooperativa para Conservação dos Recursos Genéticos de Coníferas do México e da América Central (CAMCORE) em convênio com diversas empresas florestais, coleta sementes de espécies de coníferas potenciais, distribuindo-as para a implantação de testes combinados de procedências e progênies, em diferentes regiões que abrangem países da América do Sul, África e Oceania (DVORAK et al., 2000).

Entre as espécies que vem sendo testadas (*P. oocarpa*, *P. tecunumanii*, *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. pringlei*, entre outras), *P. maximinoi* tem se destacado por seu alto potencial de crescimento, nos diversos países (Colômbia, Brasil, África do Sul, Venezuela) onde tem sido plantado em experimentação. No entanto, a disponibilidade de sementes comerciais da espécie é praticamente inexistente, o que implica na necessidade do desenvolvimento de um programa de melhoramento, visando a produção de sementes geneticamente melhoradas para crescimento. Outra necessidade para a espécie é melhorar as características de forma, já que em alguns plantios pilotos, *P. maximinoi* tem apresentado tortuosidade excessiva e ramos grossos em grande quantidade.

O conhecimento da variabilidade genética para as características de crescimento e forma e a avaliação do método de melhoramento mais eficiente são fundamentais para a determinação da estratégia de melhoramento genético a ser empregada para a espécie (COTTERILL, 1986).

Em espécies florestais, a idade da seleção que fornece o maior ganho genético possível é a representada pelo final da rotação, ou seja, a idade de colheita da árvore. Como essa idade é tardia para *Pinus* (aproximadamente 20 anos), deve ser encontrada uma idade ótima para a realização da seleção, onde haja uma

otimização do tempo necessário sem perda de eficiência nos ganhos a serem obtidos.

Assim, o presente estudo teve como objetivos:

- a) avaliar o crescimento de *P. maximinoi* em Telêmaco Borba (PR), em comparação com *P. taeda* e *P. elliottii*, espécies comercialmente plantadas;
- b) determinar a variação genética entre procedências e progênies e estimar os parâmetros genéticos para as características de crescimento, retidão do fuste e diâmetro dos ramos;
- c) verificar a viabilidade da seleção precoce, quantificando as perdas relativas de ganho genético quando se realiza as seleções em idades diferentes;
- d) comparar os ganhos obtidos pela adoção dos métodos de melhoramento: pomar clonal de sementes e pomar de sementes por mudas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A ESPÉCIE

#### 2.1.1 Características Gerais

*Pinus maximinoi* H.E.Moore ocorre naturalmente no México (a partir da região central), na Guatemala, em Honduras, em El Salvador e no norte da Nicarágua, em altitudes que variam de 700 m a 2400 m (DVORAK; DONAHUE, 1992). Ocupa uma grande diversidade de microclimas e ambientes, desde sítios mais úmidos até ecossistemas mais secos. A Figura 1 mostra a localização geográfica das regiões de origem das sementes de *P. maximinoi*.

Nas maiores altitudes, a espécie é encontrada em sítios úmidos, com solos profundos e férteis em associação com *P. tecunumanii*, *Liquidambar styraciflua* e, mais raramente, com *P. oocarpa*. Nos locais de menor altitude, particularmente no México, *P. maximinoi* pode ocorrer em solos mais pobres, encharcados, em associação com uma maior porcentagem de *P. oocarpa* e com *P. michoacana* (DVORAK; DONAHUE, 1988).

*P. maximinoi* ocorre em áreas que recebem 900 mm a 2200 mm de precipitação com uma estação seca bem definida de novembro a abril. A sua preferência, no entanto, são áreas com precipitações superiores a 1200 mm. Em muitas áreas montanhosas, as árvores recebem uma umidade adicional dos constantes nevoeiros (DVORAK et al., 2000).

Na origem, *P. maximinoi* é uma espécie que apresenta árvores com troncos retos e alturas que variam de 20 a 35 m e diâmetros que podem atingir mais de um metro. As árvores adultas têm em sua maioria galhos horizontais que formam uma copa bastante densa e arredondada.

Apresentam acículas, com comprimentos de 15 a 28 cm, pendentes, com as margens ligeiramente serrilhadas, geralmente em grupos de cinco. Os cones são longos e ovalados, assimétricos, em grupos de três a quatro, fixos em pedúnculos de 10 a 15 mm (PERRY, 1991).

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ORIGEM DAS SEMENTES DE *P. maximinoi* COLETADAS PELA CAMCORE



Na região de ocorrência natural, a dispersão das sementes ocorre entre a segunda e a terceira semana de abril, no período anterior ao início da estação chuvosa. Em média, cada cone contém cerca de 145 sementes. Há entre 55.000 a 115.000 sementes por quilograma (média de 75.500), dependendo da longitude do local de coleta das sementes (DVORAK et al., 2000).

### 2.1.2 Taxonomia

A denominação inicial desta espécie foi *P. tenuifolia* (DVORAK; DONAHUE, 1988). Do início deste século até os anos 70, os taxonomistas discutiram se *P. tenuifolia* Benth. era uma espécie distinta de *P. pseudostrobus* Lindl. Em 1979, MITTAK e PERRY (1979) publicaram resultados de estudos taxonômicos baseados no exame de características morfológicas e análise química da resina coletada em amostras no México, Guatemala, Honduras e El Salvador, concluindo que as duas espécies eram distintas. O nome *P. maximinoi* foi adotado, em vez de *P. tenuifolia*, porque a descrição "*P. tenuifolia*" já havia sido utilizada anteriormente por SALISBURY em 1776 para outra espécie do gênero *Pinus*. (MITTAK; PERRY, 1979). Assim, *P. maximinoi* passou a merecer a condição de espécie.

A confusão relacionada ao "grupo" *P. pseudostrobus*, incluindo *P. maximinoi*, ainda persiste entre muitos botânicos nos trópicos e subtrópicos.

Segundo MITTAK e PERRY (1979), *P. pseudostrobus* é espécie característica de locais de maiores altitudes (1500 m a 3000 m) e *P. maximinoi* de locais de média elevação (700 m a 2400 m).

### 2.1.3 Estudos de Germoplasma

Os resultados obtidos em ensaios internacionais de procedências indicaram que *P. maximinoi* apresenta potencial em áreas, inicialmente plantadas com *P. elliottii* na África do Sul (KIETZKA, 1998) e *P. oocarpa* e *P. patula* na América do Sul.

Ao mesmo tempo, constatou-se que as populações da espécie encontram-se extremamente ameaçadas na América Central, devido à intensa exploração e a abertura de novas áreas para agricultura, principalmente por pequenos produtores de café.

As florestas de *Pinus* da América Central e do México apresentam um dos maiores graus de diversidade genética no mundo e fornecem recurso florestal valioso em termos de madeira e seus diversos produtos para os habitantes locais. Representam, ainda, fonte de sementes para programas de reflorestamento na América Latina, África e Ásia. Assim sendo, a CAMCORE iniciou um projeto

dedicado à conservação genética e melhoramento de espécies ameaçadas na América Central e México.

A partir dos anos 80, foi iniciada a coleta de sementes de mais de 25 espécies florestais no México e América Central.

Sementes de *P. maximinoi* foram coletadas na Guatemala, Honduras e México, totalizando 785 árvores de 23 procedências, entre 1984 e 1991 (DVORAK; DONAHUE, 1992). Foi a primeira vez que procedências do México de *P. maximinoi* foram incluídas em experimentos internacionais e foi a primeira coleta da espécie por árvore individual.

A partir deste material foi planejada a implantação de 71 testes de procedências e progênies e bancos de conservação genética, no Brasil, Colômbia, Honduras, México, África do Sul, Zimbábue e Venezuela, dos quais 47 testes permanecem ativos (DVORAK et al., 2000).

#### 2.1.4 Crescimento e Retidão do Fuste

Analisando os dados de altura e sobrevivência, coletados aos três anos de idade, em 12 testes de procedências e progênies instalados, na Colômbia, Venezuela e Brasil, DVORAK e DONAHUE (1992) concluíram que:

- a) *P. maximinoi* é mais sensível ao déficit hídrico quando comparado a *P. caribaea* var. *hondurensis*. Em testes estabelecidos na Venezuela e no Estado de Minas Gerais no Brasil, em um período muito seco, a sobrevivência da espécie variou de 50% a 60%, enquanto que a sobrevivência de *P. caribaea* var. *hondurensis* não foi afetada nos mesmos sítios;
- b) já na Colômbia, onde não houve a ocorrência do período seco, a sobrevivência da espécie nos testes foi maior que 90%;
- c) as diferenças entre procedências para altura de plantas foram maiores nos testes plantados na Colômbia do que nos testes estabelecidos no Brasil e Venezuela, provavelmente devido às melhores condições de sítio;
- d) em todos os 12 testes foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre progênies em altura de plantas;

- e) a variação entre procedências respondeu por 8 a 10% da variação total em altura encontrada;
- f) as porcentagens de rabo-de-raposa foram maiores na Colômbia (2° a 6° de latitude norte), variando de 69% a 79%, enquanto que no estado do Paraná, Brasil (24° de latitude sul), a média de ocorrência de rabo-de-raposa foi de 32%;
- g) duas procedências do sul de Honduras: Marcala e Tatumbla, apresentaram menor porcentagem de rabo-de-raposa e bom crescimento na Colômbia, sendo indicadas como boa fonte de sementes para essa região.

No Zimbábwe, NYOKA (1994) identificou forte interação genótipo x ambiente, em experimentos com *P. maximinoi*, aos oito anos de idade. As maiores produtividades foram obtidas pelo uso das procedências Tatumbla e Dulce Nombre de Copan de Honduras e San Juan da Guatemala.

SAMPAIO (1996) comparando o crescimento entre procedências e progênies de *P. maximinoi*, em dois testes instalados em Ventania, PR, aos cinco anos de idade, concluiu que as procedências Coban da Guatemala, Tapiquil de Honduras e San Jeronimo e Altamirano, do Estado de Chiapas no México, apresentaram as melhores produtividades volumétricas.

Quanto à retidão do fuste, este mesmo autor concluiu que a espécie apresenta árvores com fustes tortuosos, porém as procedências La Cañada, San Jerónimo (México), Dulce Nombre de Copan e Coapilla, originadas de regiões de longitudes entre 88° Oeste e 97° Oeste e altitudes entre 1200 m a 1350 m, apresentaram fustes menos tortuosos.

#### 2.1.5 Qualidade da Madeira de *P. maximinoi*

A qualidade da madeira, bem como a taxa de crescimento e as práticas de manejo requeridas pela espécie indicam o seu potencial de utilização para o estabelecimento de plantios florestais. Vários estudos sobre a qualidade da madeira de *P. maximinoi* em plantios experimentais foram realizados. Segundo DVORAK et al. (2000), a densidade da madeira é moderada, mas é tão boa, ou melhor, que a madeira de espécies comercialmente utilizadas, como *P. patula* quando as duas são

plantadas no mesmo local. Tem um conteúdo de extrativos baixo em relação a outras espécies tropicais, como *P. caribaea hondurensis* ou *P. oocarpa*, e é adequada tanto para a polpação kraft como para a polpação termomecânica.

Segundo WRIGHT e WESSELS (1992), a densidade da madeira de *P. maximinoi* em plantios na África do Sul aos dez anos de idade é 0,46 g/cm<sup>3</sup>, podendo ser utilizada para construções, celulose e chapas de fibras.

WRIGHT e BAYLIS (1993) estudaram dois testes de procedências de *P. maximinoi*, quanto às características de crescimento e de celulose e papel, aos 11 anos de idade. As árvores de *P. maximinoi* apresentaram rendimento em celulose similar às de *P. patula* (aproximadamente 42% de rendimento com número kappa de 28). As procedências de *P. maximinoi* diferiram significativamente entre si, quanto ao comprimento de auto-ruptura, rasgo e estouro em um dos testes e rendimento em celulose no outro teste.

## 2.2 PARÂMETROS GENÉTICOS

### 2.2.1 Importância

Os parâmetros genéticos são valores numéricos que permitem fazer inferências sobre a estrutura genética de uma população. Eles variam para características, populações e idades diferentes. Nos programas de melhoramento florestal, os parâmetros genéticos que mais interessam ao melhorista são as variâncias genéticas e seus componentes aditivos e não aditivos, o coeficiente de herdabilidade, tanto no sentido amplo como restrito, as correlações genéticas entre características e as associações entre idades para as características. Nas espécies florestais, estas estimativas podem ser obtidas a partir de dados coletados em testes de progênies, bem como, em alguns casos em testes combinados de procedências e progênies.

As estimativas de parâmetros genéticos, tais como as variâncias genéticas e ambientais são utilizadas para calcular a herdabilidade que mede o grau de controle genético de uma característica (FALCONER, 1996).

O volume da árvore tem sido, historicamente, a característica objetivo de muitos programas de melhoramento. Entretanto, características como retidão do

fuste e diâmetro dos ramos podem ser importantes devidos às suas influências no valor do produto final, principalmente quando pretende se obter madeira para serraria ou afins (ZOBEL; TALBERT, 1984).

O objetivo da maioria dos programas de melhoramento é produzir árvores superiores, bem adaptadas e que produzam madeira de alta qualidade. Para isso, combinam crescimento volumétrico por área com a qualidade do fuste, isto é, troncos retos com galhos finos. No entanto, o melhorista deve restringir o número de características a selecionar, porque só é possível melhorar poucas ao mesmo tempo, principalmente quando elas não são correlacionadas.

A decisão de quais características devem ser incluídas na seleção depende de uma série de fatores, tais como: o valor econômico das características, o custo de sua medição, o potencial de resposta à seleção, e a direção e magnitude das mudanças que vão ocorrer em uma característica, como resposta à seleção em outra. O conhecimento destas mudanças requer a estimativa de vários parâmetros genéticos, incluindo os níveis de variação genética e fenotípica, herdabilidades e correlações genéticas entre as características (WILLIAMS; MATHESON, 1995).

### 2.2.2 Variância Fenotípica e Genotípica

As progênies obtidas de cruzamentos não controlados, onde somente a mãe é conhecida são consideradas como famílias ou progênies de meios-irmãos, embora em algumas espécies possa ocorrer alguma freqüência de endogamia. Quando ambos os pais são conhecidos, em delineamentos de polinização controlada, são produzidas famílias ou progênies de irmãos completos ou irmãos germanos.

Nos testes de progênies são estimados diferentes componentes de variação de um caráter: variação entre plantas dentro de uma parcela ( $\sigma^2_d$ ); variação devido às diferenças ambientais entre parcelas ( $\sigma^2_e$ ) e a variação genética devido às diferenças entre as progênies ( $\sigma^2_p$ ).

A expressão genotípica de um indivíduo resulta da soma dos efeitos genéticos aditivos, de dominância e epistáticos, dos quais, segundo VENCOVSKY (1987), o parâmetro mais importante a considerar é o que corresponde à variância genética aditiva ( $\sigma^2_A$ ), pois ela contribui plenamente para a resposta à seleção.

Os parâmetros genéticos são derivados das estimativas de variância entre e dentro de progênies. Esses parâmetros são as mais importantes ferramentas para programas de melhoramento, sendo usados em predição dos valores genéticos dos indivíduos parentais, desenvolvimento da estratégia de melhoramento, construção de índices de seleção, delineamento de pomares de sementes e quantificação de eficiência da seleção precoce (ZOBEL; TALBERT, 1984).

### 2.2.3 Herdabilidade

A herdabilidade é o quociente entre a variância genética e a variância total e fornece uma estimativa do quanto da variação fenotípica total está sob controle genético (FALCONER, 1996). O controle genético pode ser separado em dois componentes: a variância genética aditiva e a não-aditiva, e a herdabilidade pode ser estimada no sentido amplo ou restrito. No sentido amplo, é a proporção entre a variância genética total e a variância fenotípica. No sentido restrito, é a proporção entre a variância genética aditiva e a variância fenotípica.

Nos programas de melhoramento baseados na reprodução sexuada, é empregada a herdabilidade no sentido restrito, já que ela reflete o ganho que pode ser obtido através da recombinação sexuada. Nos programas onde se usa a propagação clonal, a herdabilidade no sentido amplo é utilizada para calcular o quanto de ganho genético pode ser obtido, pela reprodução do genótipo como um todo, por clonagem.

As herdabilidades podem ser usadas para estimar a resposta à seleção baseada em indivíduos ou em progênies. Elas também fornecem bases para decidir em quais características devem ser investidos os esforços em seleção e para escolher o melhor método de seleção (COTTERIL; ZED, 1980).

Quando é obtido um alto valor de herdabilidade para uma característica, há uma indicação de que o controle genético é alto, isto é, o efeito genético representa a maior parte da variação fenotípica em relação ao efeito ambiental. Isso significa que existe uma grande possibilidade de obtenção de ganho genético com a seleção (VENCOSKY, 1978).

Em relação ao gênero *Pinus*, estimativas de herdabilidade individual no sentido restrito ( $h^2$ ), obtidas por diversos autores, para as características de

crescimento, são apresentadas na Tabela 1. Essas estimativas prevêem as várias respostas à seleção em diferentes situações e ambientes e demonstram uma variação de magnitudes.

TABELA 1 – HERDABILIDADES ASSOCIADAS ÀS CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO EM DIFERENTES ESPÉCIES DE *Pinus*

CARACTERÍSTICA	ESPÉCIE	IDADE (ANOS)	h <sup>2</sup>	REFERÊNCIA
Altura	<i>P. taeda</i>	25	0,18	BALOCCHI et al. (1993)
Altura	<i>P. taeda</i>	1	0,11	PAUL et al. (1997)
Altura	<i>P. taeda</i>	2	0,26	PAUL et al. (1997)
Altura	<i>P. taeda</i>	3	0,29	PAUL et al. (1997)
Altura	<i>P. taeda</i>	4	0,37	PAUL et al. (1997)
Altura	<i>P. taeda</i>	5	0,26	PAUL et al. (1997)
Altura	<i>P. patula</i>	5	0,10	NYOKA; BIRKS; GUMBIE (1994)
Altura	<i>P. patula</i>	8	0,03	NYOKA; BIRKS; GUMBIE (1994)
DAP	<i>P. taeda</i>	5	0,14	PAUL et al. (1997)
DAP	<i>P. patula</i>	5	0,11	NYOKA; BIRKS; GUMBIE (1994)
Volume	<i>P. taeda</i>	5	0,14	PAUL et al. (1997)
Volume	<i>P. patula</i>	8	0,13	NYOKA; BIRKS; GUMBIE (1994)
Volume	<i>P. caribaea hondurensis</i>	5	0,18	RESENDE et al. (1995a)

GAPARE (1999) encontrou valores de herdabilidade moderados para *P. maximinoi* para as características de crescimento e forma das árvores em 29 experimentos estabelecidos no Brasil, Colômbia e África do Sul. O autor encontrou aumentos significativos dos valores da herdabilidade com o aumento da idade ( $0,13 \pm 0,08$ ;  $0,19 \pm 0,09$  e  $0,21 \pm 0,08$  para as herdabilidades do DAP, aos 3, 5 e 8 anos de idade, respectivamente).

Segundo VENCOVSKY e BARRIGA (1992), as estimativas de herdabilidade são restritas à população, às características e ao ambiente para o qual foram determinadas.

#### 2.2.4 Correlações entre Características

As correlações são medidas da associação entre duas características e podem ser estimadas fenotípica ou geneticamente. As correlações fenotípicas são causadas por uma combinação entre correlações genéticas e ambientais. A covariância genética é devida aos efeitos pleiotrópicos, onde alguns genes apresentam um efeito sobre uma ou mais características (FALCONER, 1996).

O coeficiente de correlação genética mede o grau de associação genética entre duas características quantitativas em uma determinada população. Esta informação pode ser utilizada com diferentes objetivos (WILLIAMS; MATHESON, 1995):

- a) para a predição de respostas no momento do corte da árvore, baseada na seleção em idade juvenil. Normalmente, não se espera completar a idade de rotação para a seleção, devido à grande demanda de tempo para execução do programa de melhoramento. Assim, a seleção é realizada precocemente em uma idade na qual a correlação genética seja alta;
- b) para a predição de respostas em características de difícil mensuração, através de outra que seja mais fácil de se medir. Por exemplo, a densidade básica da madeira é uma característica que para ser medida diretamente necessita do corte das árvores e retirada de discos. Utilizando um equipamento como o "Pilodyn®", é possível medir a dificuldade de penetração na árvore e correlacionar este valor com a densidade básica.
- c) para a predição de respostas à seleção em um sítio, quando o material é plantado em outro. O crescimento em cada um dos sítios é considerado uma característica. Quanto maior a correlação genética entre estas características, menor é a interação genótipo x ambiente.
- d) os índices de seleção são construídos usando correlações genéticas e herdabilidades para maximizar o ganho em características específicas selecionadas ao mesmo tempo.

Em situações onde duas características se correlacionam positivamente, a seleção pode ser baseada em apenas uma delas. Existem casos, no entanto, onde uma característica pode correlacionar-se negativamente com outras, causando mudanças indesejáveis em certas características.

Segundo VENCOVSKY (1978), as correlações genéticas e fenotípicas entre altura e diâmetro, em espécies florestais, são positivas e de alta magnitude, demonstrando que a seleção pode ser realizada em apenas uma delas, sem grande prejuízo para a outra característica. As correlações não significativas indicam a independência entre características. As correlações negativas altas podem

prejudicar a seleção simultânea, quando o melhoramento de uma característica prejudica a outra.

As características de crescimento e a densidade básica da madeira apresentam de modo geral resultados opostos, ou seja, correlações negativas (SHELBOURNE, 1969). MORAES (1987) observou correlação genética positiva e alta entre as características de crescimento sendo que a correlação altura x volume cilíndrico apresentou maior valor para *Eucalyptus grandis*. Já entre as características de crescimento e a densidade básica da madeira, o mesmo autor encontrou correlações genéticas negativas de pequena magnitude. Altas correlações genéticas entre características de crescimento também foram relatadas por KAGEYAMA (1980) em *E. grandis* e PATIÑO-VALERA (1986) em *E. saligna*.

### 2.3 PREDIÇÃO DE VALORES GENÉTICOS

O uso prático dos valores genéticos em programas de melhoramento foi descrito por vários autores (LINDGREN, 1986; WHITE, 1987). Estes autores enfatizam a importância da predição precisa e acurada dos valores genéticos em um programa de melhoramento florestal. A precisão e a acurácia dos valores genéticos aumentam os ganhos, diminuindo as possibilidades de erro na seleção. Apenas os indivíduos com altos valores genéticos devem ser incorporados na população de produção.

Os valores genéticos são estimados através da utilização de todas as informações disponíveis a respeito dos indivíduos que serão submetidos à seleção. Essas informações podem ser avaliações repetidas no mesmo indivíduo em vários estágios de seu desenvolvimento, avaliações provenientes de seus parentes, ou avaliações de outras características no indivíduo e em seus parentes (RESENDE; HIGA, 1994a).

### 2.4 MÉTODOS DE SELEÇÃO

Os métodos de seleção podem ser classificados quanto às unidades de seleção e quanto ao procedimento de predição de valores genéticos. Quando a produção de sementes se dá em pomares de sementes por mudas, a unidade de

seleção utilizada é no bloco, enquanto que para população de melhoramento ou pomares de sementes clonais é no experimento. Os métodos mais eficientes são aqueles baseados em índices de seleção, incluindo informações de parentes.

WHITE e HODGE (1989) relatam que o índice de seleção foi descrito pela primeira vez por SMITH em 1936 e, mais tarde, por HAZEL em 1943, como um método de selecionar simultaneamente para várias características. Através dos índices de seleção, todos os indivíduos disponíveis para avaliação podem ser ordenados de acordo com algum critério de seleção e considerando pesos econômicos para as características. Os índices de seleção têm sido amplamente utilizados em melhoramento florestal (NAMKOONG, 1976; BURDON, 1979; COTTERIL; JACKSON, 1981). Quando o objetivo é a seleção de indivíduos, muitos efeitos podem ser considerados, efeito do indivíduo, efeito da média da parcela, efeito da média do bloco e efeito da média da família dentro de um experimento.

De acordo com RESENDE e FERNANDES (1999), o método do índice multi-efeitos (IME) pode ser utilizado eficientemente na seleção envolvendo experimentos com alta taxa de sobrevivência e balanceados. Nos demais casos o procedimento BLUP individual tende a ser mais acurado.

Para o gênero *Eucalyptus*, RESENDE e BERTOLUCCI (1995) e RESENDE et al. (1995b) mostraram que a seleção pelo IME foi sempre superior à seleção combinada nos seguintes aspectos: maior ganho genético, maior acurácia, maior tamanho efetivo populacional e maior intensidade de seleção realizada.

SAMPAIO (1996) comparou a seleção individual e combinada com a seleção pelo IME para três espécies de *Pinus*, concluindo que esta última é mais eficiente, por considerar frações da variância genética aditiva retida nos efeitos de parcelas e de blocos. Assim, os ganhos genéticos em volume tanto para pomar de sementes clonal, como para pomar de sementes por mudas seriam maximizados.

## 2.5 SELEÇÃO PRECOCE

A eficiência dos programas de melhoramento deve ser medida pelo ganho genético por unidade de tempo. Uma grande limitação ao progresso nos programas de melhoramento tem sido o tempo necessário para, de uma forma segura, avaliar

uma progênie. A determinação dos valores dos indivíduos parentais e de suas progênies estabelecidas em testes, é uma atividade que resulta em um alto custo e uma grande demanda de tempo nos programas de melhoramento (KAGEYAMA, 1980).

A seleção pode ser realizada na idade de corte de uma árvore, ou seja, é necessário todo o intervalo de uma geração para que a seleção seja executada. No outro extremo, a seleção poderia ser efetuada em mudas ou árvores em idades muito jovens, mas é muito pouco provável que o desempenho de uma determinada família nessa idade precoce seja a mesma de quando ela atinge a maturidade. O problema, então, consiste em determinar qual a idade mais adequada para se realizar a seleção, de modo que a taxa de ganho genético por ano seja otimizada. Esta decisão tem uma grande consequência para a maximização do ganho genético nos programas de melhoramento florestal.

A utilidade da seleção precoce baseada nas correlações entre idades, no aumento das taxas de ganho genético tem sido demonstrada por vários autores (MC KEAND, 1988; COTTERIL; DEAN, 1988).

GAPARE (1999) encontrou alta correlação genética entre as idades de cinco e oito anos para a característica diâmetro em *P. maximinoides*, indicando a possibilidade de seleção precoce para esta característica. Segundo o autor, este resultado tem importância na redução do intervalo entre as gerações de melhoramento, aumentando as respostas à seleção com base em unidades de tempo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 GERMOPLASMA

O germoplasma estudado neste trabalho foi coletado pela CAMCORE (Central America and Mexico Coniferous Resources Cooperative). Esta cooperativa coletou sementes de 701 árvores de 23 procedências de *P. maximinoi* na Guatemala, Honduras e México entre 1984 e 1986. A coleta foi realizada mantendo um tamanho representativo da amostra tanto para conservação genética, como para o teste genético do material. Para isso, foram selecionadas fenotipicamente de 10 a 50 árvores em cada procedência, baseadas em volume, diâmetro dos ramos e retidão do fuste. Algumas árvores selecionadas em florestas mais antigas como San Jerónimo, na Guatemala, tinham mais de 55 metros de altura e mais de 80 cm em diâmetro.

A relação das procedências, número de progênies de meios-irmãos e a localização geográfica daquelas testadas em Telêmaco Borba (PR), é apresentada na Tabela 2:

TABELA 2 – CARACTERIZAÇÃO DAS REGIÕES DE COLETA DAS PROCEDÊNCIAS DE *P. maximinoi* TESTADAS EM TELÊMACO BORBA (PR)

PROCEDÊNCIAS	NÚMERO DE PROGÊNIES	LATITUDE (Norte)	LONGITUDE (Oeste)	ALTITUDE (m)	PRECIPITAÇÃO (mm)
Cobán (Guatemala)	12	15°28'	90°24'	1420-1440	2109
San Jerónimo (Guatemala)	09	15°04'	90°14'	1280-1590	970
San Juan (Guatemala)	12	14°41'	90°38'	1580-2000	1138
Marcala (Honduras)	08	14°19'	88°00'	1400	1671
Tatumbula (Honduras)	12	14°01'	87°07'	1300	937

Fonte: DVORAK, W. S.; DONAHUE, J. K. **CAMCORE Cooperative Research Review**.(1980–1992). Department of Forestry, College of Forest Resources, North Carolina State University. Raleigh, NC. CAMCORE COOPERATIVE, 1992.

As procedências relacionadas acima apresentam as seguintes características:

- a) Cobán (Guatemala): A população onde as árvores foram selecionadas é consideravelmente degradada e muito heterogênea. Em partes desta população foram encontradas árvores jovens, porém de boa qualidade

- fenotípica. A população ocorre em solos férteis, classificados como argilosos, com profundidade de 35 cm. O subsolo que pode ir a 100 cm de profundidade é também argiloso.
- b) San Juan (Guatemala): É uma população homogênea de má qualidade fenotípica, com apenas alguns indivíduos remanescentes de qualidade média ou superior. A regeneração natural é ruim porque é uma área de pastagem. O solo dessa área é de origem vulcânica, com uma camada superficial do solo argilosa, de 25 a 45 cm de profundidade e um subsolo com uma percentagem maior de argila e profundidade de 50 a 75 cm.
  - c) San Jerónimo (Guatemala): As árvores nessa região foram severamente danificadas por madeireiros locais, ocorrência de fogo e pastagem. Existem, no entanto, árvores remanescentes com boas características fenotípicas, bastante representativas do *P. maximinoi*.
  - d) Tatumbula (Honduras): População com qualidade fenotípica apenas média.
  - e) Marcala (Honduras): Nessa região, as florestas de *P. maximinoi* são muito maiores em área que outras populações da espécie em Honduras. A forma das árvores é superior às de Tatumbula.

As procedências utilizadas nesse experimento representam apenas parte da variação existente para a espécie, abrangendo Guatemala e Honduras. A área de ocorrência natural é mais ampla e a coleta da CAMCORE foi realizada em 23 procedências (Figura 1). Estrategicamente a CAMCORE distribuiu as sementes para serem testadas por diferentes empresas e instituições de pesquisa, combinando grupos de procedências e progênies, de forma que as mesmas não sejam repetidas.

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Instalação dos Experimentos

O experimento foi implantado em maio de 1990, em Telêmaco Borba (PR), na Fazenda Monte Alegre, pertencente a Indústrias Klabin S.A., em uma área localizada a 24°16'10" de latitude sul e 50°38'25" de longitude oeste, à altitude de 780 m. A precipitação média anual é de 1473 mm e a temperatura média anual de

18,9° C, com um clima do tipo transicional Cfa/Cfb, segundo a classificação de Köppen.

A vegetação anterior ao plantio era de reflorestamento com *Pinus taeda*. O experimento está localizado em um Latossolo Vermelho-Escuro Álico, com horizonte A moderado, textura argilosa, em um relevo suave ondulado. Os Latossolos Vermelho Escuros são representativos do patrimônio de terras das Indústrias Klabin S.A. no Estado do Paraná, totalizando cerca de 43% da área, sendo que o restante está subdividido em várias classes de solo (INDÚSTRIAS KLABIN S.A., 1997).

As mudas foram produzidas no viveiro florestal das Indústrias Klabin S.A., em Telêmaco Borba (PR), por semeadura direta em tubetes, com substrato à base de casca de *Pinus*.

O solo foi preparado com subsolagem, sem fertilização e as mudas foram plantadas aos oito meses após semeadura, quando tinham aproximadamente 20 cm de altura. Foi adotado um espaçamento de 3,0 m X 3,0 m, com bordadura dupla ao redor do experimento.

### 3.2.2 Delineamento Experimental e Coleta de Dados

O delineamento utilizado foi em blocos de famílias compactas (“compact family blocks”), com sub-parcelas lineares de 6 plantas e 9 repetições. Foram testadas 53 progênies de 5 procedências, tendo sido utilizadas como testemunhas quatro progênies de *P. maximinoi* da própria CAMCORE (tomadas ao acaso entre as árvores coletadas nas diferentes procedências para servirem de testemunha comum nos experimentos estabelecidos nos diferentes países), e *P.taeda* e *P.elliottii*, originadas de Áreas de Produção de Sementes das Indústrias Klabin S.A., em Telêmaco Borba (PR).

Foram realizadas avaliações, incluindo as seguintes características nas diferentes idades:

- a) altura total de plantas em metros (1, 2, 3, 5 e 8 anos de idade);
- b) diâmetro à altura do peito (1,30 metros) – DAP - em centímetros ( 3, 5 e 8 anos de idade);
- c) retidão do fuste (8 anos de idade);
- d) diâmetro dos ramos (8 anos de idade);

- e) volume individual em metros cúbicos sólidos com casca (8 anos de idade)
- f) sobrevivência (1, 2, 3, 5 e 8 anos de idade).

A altura das plantas foi estimada com o hipsômetro Suunto™ e o DAP foi medido com fita diamétrica.

As primeiras cinco características foram analisadas em nível de plantas, enquanto que a sobrevivência foi analisada em nível de média de parcelas e expressa em porcentagem.

O volume individual com casca por árvore foi calculado utilizando a fórmula para *Pinus*, em idade juvenil, proposto por LADRACH (1986):

$$\text{VOLUME} = 0,00003 * \text{DAP}^2 * \text{Altura}$$

em que:

VOLUME é expresso em metros cúbicos, o DAP em centímetros e Altura total em metros.

Para as características retidão do fuste e diâmetro dos ramos foram utilizados critérios de avaliação visual em toda a extensão do fuste, atribuindo-se notas de 1 a 3, segundo normas recomendadas por BALOCCHI (1990):

a) Retidão do fuste (Figura 2):

Nota 1 – fuste com defeito grave, muito tortuoso;

Nota 2 – fuste com defeito visível, com tortuosidade média;

Nota 3 – fuste sem defeito, tendendo à retidão ou reto.

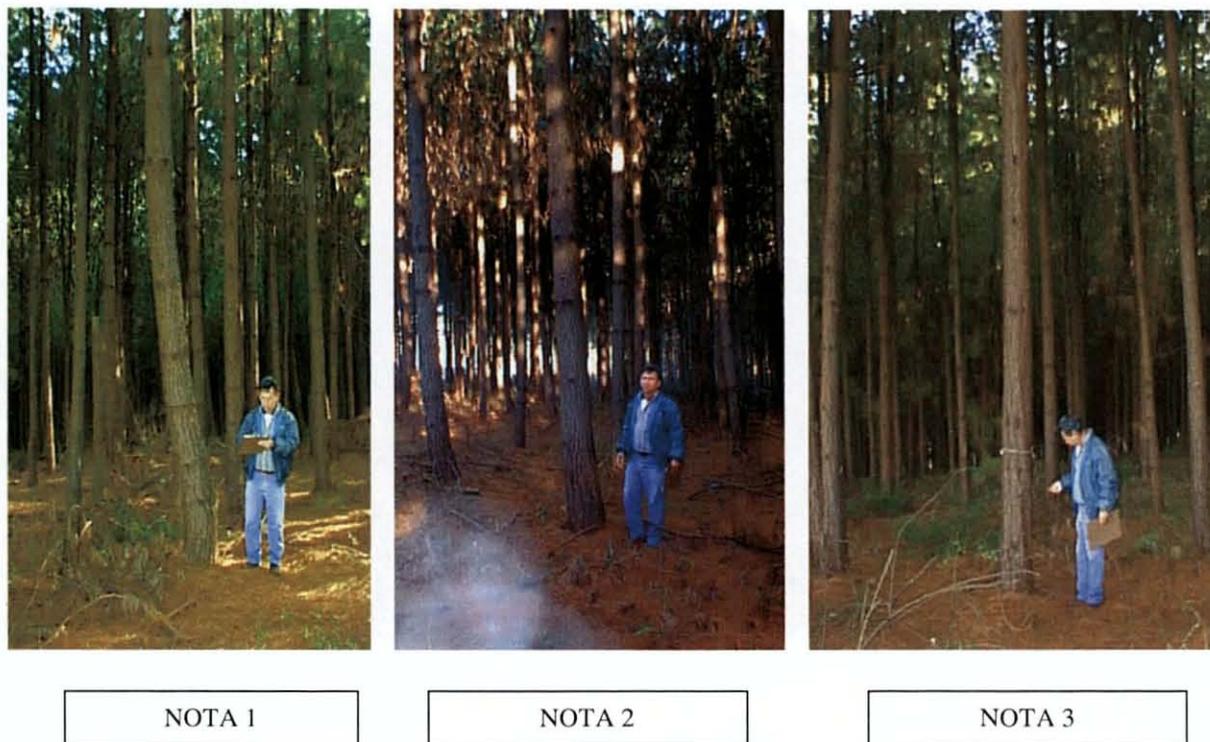
b) Diâmetro dos ramos:

Nota 1 – ramos mais grossos que a média da população;

Nota 2 – ramos médios da população;

Nota 3 – ramos mais finos que a média da população.

FIGURA 2 – AVALIAÇÃO VISUAL PARA RETIDÃO DO FUSTE



As variáveis de crescimento, DAP e altura de plantas, medidas nas diferentes idades, foram analisadas através dos dados individuais.

A comparação de médias entre *P. maximinoi* e as espécies testemunhas utilizadas foi realizada pelo teste Tukey.

### 3.2.3 Análise de Variância

A análise de variância para as características em estudo foi realizada conforme o esquema apresentado por RESENDE e ARAÚJO (1993), segundo o modelo estatístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + p_i + f_{j(i)} + b_k + pb_{ik} + fb_{j(i)k} + d_{ijkl}$$

em que:

$Y_{ijkl}$  = observação da planta l, da procedência i, da progênie j, no bloco k;

$\mu$  = média geral da população;

$p_i$  = efeito da procedência i, com  $i = 1, 2, \dots, 5$ ;

$f_{j(i)}$  = efeito da progênie j, dentro da procedência i;

$b_k$  = efeito do bloco k, com  $k = 1, 2, \dots, 9$ ;

$pb_{ik}$  = interação da procedência, com o bloco k;

$fb_{j(i)k}$  = interação da progênie j, dentro da procedência i, com o bloco k;

$d_{ijkl}$  = efeito entre plantas dentro da parcela, associado ao indivíduo l, da progênie j, da procedência i, no bloco k.

O esquema de análise de variância utilizado para o delineamento bloco de famílias compactas, considerando-se médias de parcelas está apresentado na Tabela 3.

TABELA 3 – ESQUEMA DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O MODELO APRESENTADO, COM ESPERANÇA DE QUADRADOS MÉDIOS ASSOCIADOS AOS DIFERENTES EFEITOS

F.V.	G.L.	Q.M.	E(QM)	F
Blocos	$r - 1$	$Q_1$	$\sigma_b^2 + f \sigma_a^2 + fp \sigma_r^2$	Q1/Q3
Procedências	$p - 1$	$Q_2$	$\sigma_b^2 + r \sigma_{f/p}^2 + f \sigma_a^2 + fr \sigma_p^2$	Q2/Q3
Erro (a)	$(r - 1)(p - 1)$	$Q_3$	$\sigma_b^2 + f \sigma_a^2$	
Prog /Proc	$\sum (f_i - 1)$	$Q_4$	$\sigma_b^2 + r \sigma_{f/p}^2$	Q4/Q10
Prog /Proc 1	$f_1 - 1$	$Q_5$	$\sigma_b^2 + r \sigma_{f/p1}^2$	Q5/Q10
Prog /Proc 2	$f_2 - 1$	$Q_6$	$\sigma_b^2 + r \sigma_{f/p2}^2$	Q6/Q10
Prog /Proc 3	$f_3 - 1$	$Q_7$	$\sigma_b^2 + r \sigma_{f/p3}^2$	Q7/Q10
Prog /Proc 4	$f_4 - 1$	$Q_8$	$\sigma_b^2 + r \sigma_{f/p4}^2$	Q8/Q10
Prog /Proc 5	$f_5 - 1$	$Q_9$	$\sigma_b^2 + r \sigma_{f/p5}^2$	Q9/Q10
Erro (b)	$(r - 1)(\sum f_i - p)$	$Q_{10}$	$\sigma_b^2$	
Total	$(b \sum f_i) - 1$			

em que:

$p = n^\circ$  de procedências;

$r = n^\circ$  de blocos;

$f_i = n^\circ$  de progênies na procedência i;

$\sigma_p^2$  = variância entre procedências;

$\sigma_{f/p}^2$  = variância entre progênies dentro de procedências;

$\sigma_r^2$  = variância entre blocos;

$\sigma_a^2$  = variância do erro a (erro entre procedências);

$\sigma_b^2$  = variância do erro b (variância da interação progênies x bloco)

A análise de variância foi realizada em duas etapas, recomendadas para um ensaio em blocos de famílias compactas, inicialmente em nível de procedências e posteriormente em nível de progênies dentro de cada procedência. A análise única para progênies e procedências, considerando-se um erro único poderia levar a superestimativas em algumas procedências e subestimativas em outras.

Para a realização da análise em nível de progênies dentro de cada procedência foi utilizado o software genético-estatístico denominado Selegen, desenvolvido por RESENDE et al. (1994).

#### 3.2.4 Estimativas de Parâmetros Genéticos

As estimativas dos componentes da variância para as progênies dentro de procedências foram obtidas segundo metodologia descrita por VENCOVSKY (1978), a partir dos quadrados médios. A variância genética aditiva ( $\sigma_A^2$ ), considerando *P. maximinoi* como espécie alógama e de sistema reprodutivo de polinização livre, foi estimado por:

$$\sigma_A^2 = 4 \times \sigma_{f/p}^2$$

em que:

$\sigma_A^2$  = variância genética aditiva

### 3.2.5 Estimativas de Coeficientes de Herdabilidade

As herdabilidades (utilizadas no IME para prever valores genéticos) associadas aos efeitos de indivíduos dentro de parcela, de parcela e de progênies apresentadas por RESENDE e HIGA (1994a), foram estimadas pelo programa Selegen, com base nas seguintes expressões:

- a) herdabilidade no sentido restrito para o efeito de indivíduo na parcela ( $h_d^2$ )

$$h_d^2 = \frac{(3/4)\sigma_A^2}{\sigma_d^2};$$

em que:

$\sigma_d^2$  = variância fenotípica entre plantas dentro de parcelas, obtida pela média das variâncias dentro de parcelas, estimadas separadamente.

- b) herdabilidade no sentido restrito para o efeito de progênies ( $h_f^2$ )

$$h_f^2 = \frac{[(3+nr)/(4nr)]\sigma_A^2}{\sigma_{f/p}^2 + \frac{\sigma_e^2}{r} + \frac{\sigma_d^2}{nr}}$$

sendo:

n = número de plantas por parcela

r = número de blocos;

- c) Herdabilidade no sentido restrito para o efeito de parcela ( $h_p^2$ )

$$h_p^2 = \frac{[3/(4n)]\sigma_A^2}{\sigma_e^2 + \frac{\sigma_d^2}{n}}$$

- d) Herdabilidade individual no sentido restrito no bloco ( $h_{ir}^2$ )

$$h_{ir}^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_{f/p}^2 + \sigma_a^2 + \sigma_b^2 + \sigma_d^2}$$

Os desvios padrões das estimativas das herdabilidades individuais ( $h^2_{ir}$ ) foram estimados conforme FALCONER (1996):

$$\sigma (h^2_{ir}) = \sqrt{32h^2 / nfr}$$

em que:

nfr = número total de árvores avaliadas por caráter no experimento.

### 3.2.6 Estimativas de Correlações Genéticas e Fenotípicas

As correlações genéticas em nível de indivíduos e fenotípicas em nível de médias de progênes foram estimadas a partir das seguintes expressões (FALCONER, 1987):

a) Coeficiente de correlação genética aditiva ( $r_A$ )

$$r_{Ay} = \frac{C\hat{O}V_A(X, Y)}{(\sigma_{Ax}^2 \cdot \sigma_{Ay}^2)^{1/2}}$$

em que:

$C\hat{O}V_A(X, Y)$  = covariância genética aditiva entre as características x e y;

$\sigma_{Ax}^2$  = variância genética aditiva da característica x;

$\sigma_{Ay}^2$  = variância genética aditiva da característica y;

b) Coeficiente de correlação fenotípica em nível de média de progênes ( $r_F$ )

$$r_F = \frac{C\hat{O}V_F(X, Y)}{(\sigma_{Fx}^2 \cdot \sigma_{Fy}^2)^{1/2}}$$

em que:

$C\hat{O}V_F(X, Y)$  = covariância fenotípica entre as características x e y em nível de média de progênes;

$\sigma_{Fx}^2$  = variância fenotípica da característica x;

$\sigma_{Fy}^2$  = variância fenotípica da característica y.

A correlação genética ou fenotípica entre idades pode ser considerada como se fosse para duas características quaisquer tais como altura e diâmetro, volume e forma, etc. No caso, as duas idades foram consideradas como diferentes características no que se refere ao controle genético, conforme foi descrito por TODA (1972).

### 3.2.7 Valores Genéticos

Os valores genéticos dos candidatos à seleção foram preditos pelo IME e equivalem à melhor predição linear não viciada (BLUP) no caso de experimentos com alta taxa de sobrevivência e dados balanceados (RESENDE; FERNANDES, 1999). O índice é dado por:

$$I = h_d^2 (Y_{ijk} - \bar{Y}_{ij.}) + h_f^2 (\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...}) + h_p^2 (\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{.j.} + \bar{Y}_{...})$$

em que:

$I =$  Valor genético;

$h_d^2 =$  herdabilidade no sentido restrito para efeito de indivíduo dentro da parcela;

$h_p^2 =$  herdabilidade no sentido restrito para efeito de parcela;

$h_f^2 =$  herdabilidade no sentido restrito para efeito de progênie;

$Y_{ijk}$ ,  $\bar{Y}_{...}$ ,  $\bar{Y}_{.j.}$ ,  $\bar{Y}_{i..}$  e  $\bar{Y}_{ij.}$ : valor individual; média geral, de bloco, de progênie e de parcela, respectivamente.

### 3.2.8 Seleção Precoce e Estimativas de Ganhos Genéticos em Diferentes Idades

Os ganhos genéticos esperados na idade de verificação dos ganhos (IVG), devido à seleção na idade de seleção (IS), foram estimados pela média dos valores genéticos aditivos dos indivíduos selecionados na IVG, identificados pelo desempenho da IS.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CRESCIMENTO DE *P. maximinoi*, *P. taeda* e *P. elliottii*

A análise de variância realizada para comparação do crescimento entre *P. maximinoi* e as testemunhas utilizadas no teste, bem como a respectiva comparação de médias pelo teste de Tukey são apresentadas na Tabela 4.

TABELA 4 – MÉDIAS DE *P. maximinoi* E DAS TESTEMUNHAS UTILIZADAS E COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO TESTE DE TUKEY, PARA ALTURA, DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP) E SOBREVIVÊNCIA, NAS DIFERENTES IDADES

IDADE	CARACTERÍSTICAS	<i>P. maximinoi</i>		<i>P. taeda</i>	<i>P. elliottii</i>	C.V. EXP. (%)
		Progênes	Testemunhas			
	Número de acessos	53	4	1	1	
1 Ano	Altura (M)	1,20 b	1,27 a	1,05 c	0,91 d	10,99
	Sobrevivência (%)	94,02 c	97,22 b	100,00 a	98,15 ab	8,86
2 Anos	Altura (M)	3,52 b	3,84 a	2,67 c	2,24 d	8,39
	Sobrevivência (%)	92,63 c	94,91 bc	100,00 a	98,15 ab	10,00
3 Anos	DAP (CM)	8,28 b	8,91 a	7,22 c	6,78 d	9,26
	Altura (M)	6,47 b	6,92 a	4,82 c	3,92 d	7,56
	Sobrevivência (%)	90,99 c	93,98 b	100,00 a	98,15 ab	11,17
5 Anos	DAP (CM)	15,26 b	16,17 a	13,37 c	10,87 d	7,92
	ALT (M)	11,46 b	11,97 a	9,10 c	7,23 d	8,00
	Sobrevivência (%)	90,36 c	93,98 b	100,00 a	98,15 ab	11,76
8 Anos	DAP (CM)	20,21 b	20,90 a	16,99 c	12,60 d	9,49
	ALT (M)	16,34 b	16,99 a	14,07 c	10,30 d	8,64
	Sobrevivência (%)	87,39 b	93,52 a	96,30 a	90,74 ab	14,56

Médias na mesma linha, seguidas pelas mesmas letras, não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

O teste de Tukey indicou diferenças entre *P. maximinoi* (progênes), *P. maximinoi* (testemunhas), *P. taeda* e *P. elliottii* para altura e DAP em todas as idades avaliadas.

A média das quatro progênes testemunhas de *P. maximinoi* (tomadas ao acaso entre as árvores coletadas nas diferentes procedências) foi estatisticamente superior à média das progênes de *P. maximinoi*, *P. taeda* e *P. elliottii*, nesta ordem para altura e DAP. Apesar das testemunhas de *P. maximinoi* terem apresentado superioridade em relação à média das 53 progênes testadas, existem progênes que apresentam crescimento superior às testemunhas da mesma espécie.

A superioridade de *P. maximinoi* em relação às espécies tradicionalmente plantadas (*P. taeda* e *P. elliottii*) para as características de crescimento indica o potencial desta espécie para reflorestamento em Telêmaco Borba (PR). Um dos fatores que contribuíram para este resultado é clima do local. Telêmaco Borba encontra-se em uma faixa de transição entre o clima temperado, mais adequado a *P. taeda* e *P. elliottii*, para um clima mais quente, mais adequada às espécies de *Pinus* da América Central, como *P. maximinoi*.

Resultado semelhante foi obtido por SAMPAIO (1996) em um local com condições climáticas semelhantes à área deste experimento. O autor relata que a testemunha *P. taeda* apresentou altura e DAP cerca de 40% inferiores à média geral das progênies de *P. maximinoi*.

GAPARE (1999) também verificou que o material não melhorado de *P. maximinoi* foi superior às espécies comercialmente plantadas na Colômbia e África do Sul. Os valores de DAP variaram de 6 a 8 cm aos 3 anos, de 12 a 16 cm aos 5 anos e de 16 a 22 cm aos 8 anos, nos locais estudados pelo autor, coincidindo com os valores encontrados neste estudo.

Quando se compara o crescimento de *P. maximinoi* com o crescimento das espécies comercialmente plantadas, é importante considerar que estão sendo comparados material genético não melhorado coletado em populações naturais com material genético melhorado. No caso do experimento em Telêmaco Borba, a comparação foi realizada com material de *P. taeda* e *P. elliottii* de Área de Produção de Sementes, isto é, com uma geração de seleção. Como nesse caso, *P. maximinoi* apresentou superioridade em relação a este material melhorado, é evidente que com seleção e melhoramento, poderá se tornar uma importante opção para plantios comerciais.

Os coeficientes de variação experimental (CV%) obtidos no experimento para altura e DAP nas diferentes idades variaram de 7,56% a 10,99%. Segundo GOMES (1976), estes valores são baixos, o que demonstra uma boa precisão experimental.

Quanto à característica sobrevivência, *P. taeda* foi superior em todas as idades. *P. maximinoi* apresentou os menores percentuais de árvores vivas em todas as idades avaliadas, embora o menor valor encontrado aos oito anos de idade tenha sido 87,39%, o que é um valor aceitável para plantios nesta idade.

O resultado de sobrevivência obtido neste experimento é bastante superior ao obtido por SAMPAIO (1996). O autor obteve 63,4%, para *P. maximinoi*, e 71,4% para a testemunha *P. taeda*, em Tibagi (PR). SAMPAIO (1996) relata esses resultados como conseqüência de uma estação seca prolongada no ano de implantação do experimento. GAPARE (1999) estudou *P. maximinoi* na Colômbia, África do Sul e Brasil, encontrando média de sobrevivência de 87% aos oito anos de idade, no Brasil, acima de 80% na Colômbia e 68% na África do Sul.

A comparação entre os volumes de *P. maximinoi* e das testemunhas *P. taeda* e *P. elliottii* não foi realizada com os dados do experimento, porque as testemunhas foram plantadas em parcelas lineares de seis plantas, cujas plantas, aos oito anos de idade, estavam totalmente dominadas pelas progênies de *P. maximinoi*. O potencial de crescimento desta espécie foi confirmado comparando a média de volume das procedências com a média de volume dos plantios comerciais. Desta forma, calculando-se o volume médio das procedências de *P. maximinoi* (0,2329 m<sup>3</sup> sólidos com casca) aos oito anos de idade, constata-se que este valor é 48,9% superior à média de volume das plantações comerciais com *P. taeda* (0,1564 m<sup>3</sup> sólidos com casca) na mesma idade e nas mesmas condições de sítio (INDÚSTRIAS KLABIN S.A., 2000).

## 4.2 AVALIAÇÃO DAS PROCEDÊNCIAS E PROGÊNIES

### 4.2.1 Crescimento em Altura, Diâmetro à Altura do Peito (DAP) e Volume

Os resultados da análise de variância em nível de médias de procedências e de progênies dentro de procedências, bem como a comparação das médias de procedências pelo teste Tukey para altura, DAP e volume, aos oito anos de idade são apresentados na Tabela 5.

A análise de variância para altura indicou diferenças significativas em nível de 1% (Teste F) entre progênies, apenas para as procedências Tatumbra e San Juan. Não houve diferença significativa entre as médias das procedências para a característica altura.

TABELA 5 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM NÍVEL DE MÉDIAS DE PROCEDÊNCIAS E DE PROGÊNIAS DENTRO DE PROCEDÊNCIAS PARA ALTURA, DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP) E VOLUME DE *P. maximinoi*, AOS OITO ANOS DE IDADE EM TELÊMACO BORBA (PR)

PROCEDÊNCIAS	N	ALT (M)		DAP (CM)		VOL (M <sup>3</sup> )	
		Média	QM <sup>z</sup>	Média	QM <sup>z</sup>	Média	QM <sup>z</sup>
Marcala (Honduras)	8	16,71 a	2,03 <sup>ns</sup>	20,63 a	11,13 *	0,2313 a	0,0067*
Tatumbla (Honduras)	12	16,51 a	4,62 **	20,06 a	31,82 **	0,2218 a	0,0183 **
S. Jerónimo (Guatemala)	9	16,82 a	1,44 <sup>ns</sup>	21,04 a	3,70 **	0,2407 a	0,0028 <sup>ns</sup>
S. Juan (Guatemala)	12	16,81 a	4,24 **	20,46 a	20,90 **	0,2330 a	0,0121 **
Cobán (Guatemala)	12	16,90 a	2,31 <sup>ns</sup>	20,86 a	14,11 **	0,2390 a	0,0089 **
Média Geral <sup>1</sup>		16,75		20,59		0,2329	
Progênis/Procedências			3,09 **		17,56 **		0,0104 **
Procedências			2,39 <sup>ns</sup>		14,23 *		0,0056 <sup>ns</sup>
DMS <sup>2</sup>		2,27		2,69		0,075	

Onde: \* = significativo a 5% de probabilidade; \*\* = significativo a 1% de probabilidade; ns = não significativo; N = Número de progênis; 1 = Média Geral da análise conjunta, não incluindo as testemunhas; 2 = Diferença mínima significativa para o teste Tukey; z= teste F para progênis dentro de procedências

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente pelo teste Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

A característica DAP apresentou diferença significativa em nível de 5% (Teste F) entre progênis dentro da procedência Marcala e em nível de 1% dentro das demais procedências. Foram detectadas também diferenças significativas (nível de 5%) entre as médias das procedências.

A análise de variância para volume indicou diferenças significativas em nível de 1% (Teste F) entre progênis dentro de procedência, exceto para a procedência Marcala que apresentou diferenças significativas em nível de 5% e as progênis dentro da procedência San Jerónimo que não diferiram significativamente. Não houve diferença significativa, também, entre as médias das procedências para volume.

Os resultados obtidos neste estudo para procedências diferiram dos obtidos por SAMPAIO (1996). O autor detectou diferenças significativas em nível de 5% entre as médias das procedências e entre progênis dentro das procedências de *P. maximinoi*, testadas em Tibagi (PR), aos cinco anos de idade, para as características altura, DAP e volume.

GAPARE (1999), em uma série de 29 testes estabelecidos no Brasil, Colômbia e África do Sul, envolvendo 22 procedências, detectou diferenças

significativas para DAP entre procedências em apenas 30% dos experimentos, quando avaliados aos oito anos de idade. NYOKA (1994) encontrou diferenças significativas entre procedências para DAP aos oito anos de idade, em experimento plantado no Zimbábue. Quanto às diferenças entre progênies dentro de procedências, GAPARE (1999) detectou diferenças significativas em nível de 5%, em 80% dos experimentos estudados, para DAP aos oito anos de idade.

DVORAK e DONAHUE (1992) estudaram o crescimento em altura de 13 procedências de *P. maximinoi*, em testes no Brasil, Venezuela e Colômbia e concluíram que as maiores alturas foram apresentadas pelas procedências Cobán, Altamirano, Tatumbla e San Jerónimo (Guatemala). As procedências San Jerónimo (Guatemala) e Cobán também são citadas por GAPARE (1999) como de boa performance em altura no Brasil (San Jerónimo = 5% acima da média; Cobán = 4% acima da média), Colômbia (San Jerónimo = 5% acima da média) e África do Sul (Cobán = 7% acima da média; San Jerónimo = 5% acima da média). A procedência San Jerónimo também foi citada por CROCKFORD et al. (1991) e NYOKA (1994), em estudos na África do Sul, como uma das procedências de crescimento consistentemente superior às demais, juntamente com Dulce Nombre de Copan e Tatumbla.

No presente estudo, não foram detectadas diferenças significativas entre as procedências, entretanto deve se considerar que foram testadas apenas cinco procedências.

A magnitude das variações genéticas entre progênies, quando tomadas em conjunto, para as características de crescimento, indica a possibilidade de ganho com a seleção entre as melhores progênies testadas.

#### 4.2.2 Retidão do Fuste e Diâmetro dos Ramos

Os resultados da análise de variância para as características forma do fuste e diâmetro dos ramos, aos oito anos de idade, são apresentados na Tabela 6.

A análise de variância para as características retidão do fuste e diâmetro dos ramos indicou que existem diferenças significativas em nível de 1% pelo teste F, entre as médias das procedências para estas duas características. Considerando a variação entre progênies dentro de procedências, apenas a procedência S. Juan não

apresentou diferença significativa para a característica retidão do fuste. Já para diâmetro dos ramos foram observadas diferenças significativas em nível de 1% de probabilidade entre progênies dentro de procedência, para Tatumbla de Honduras e Cobán da Guatemala.

TABELA 6 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM NÍVEL DE MÉDIA DE PROCEDÊNCIAS E DE PROGÊNIES DENTRO DE PROCEDÊNCIAS PARA RETIDÃO DO FUSTE E DIÂMETRO DOS RAMOS DE *P. maximinoi*, AOS OITO ANOS DE IDADE, EM TELÊMACO BORBA (PR)

PROCEDÊNCIAS	N	RETIDÃO DO FUSTE		DIÂMETRO DOS RAMOS	
		Média	QM <sup>z</sup>	Média	QM <sup>z</sup>
Marcala (Honduras)	8	1,53 a	4,08 **	2,29 a	1,33 <sup>ns</sup>
Tatumbla (Honduras)	12	1,47 a	2,32 **	2,41 a	3,28 **
S. Jerónimo (Guatemala)	9	1,40 a	2,52 **	2,35 a	1,42 <sup>ns</sup>
S. Juan (Guatemala)	12	1,35 a	1,52 <sup>ns</sup>	2,26 a	1,45 <sup>ns</sup>
Cobán (Guatemala)	12	1,39 a	2,95 **	2,31 a	2,74 **
Média Geral <sup>1</sup>		1,42		2,32	
Progênies/Procedências			0,17 **		0,22 **
Procedências			0,43 **		2,98 **
DMS <sup>2</sup>		0,41		0,41	

Onde: \* = significativo a 5% de probabilidade; \*\* = significativo a 1% de probabilidade; ns = não significativo; N = Número de progênies; 1 = Média Geral da análise conjunta, não incluindo as testemunhas; 2 = Diferença mínima significativa para o teste Tukey; z= teste F para progênies dentro de procedências

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente pelo teste Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

O teste Tukey, por ser um teste mais rigoroso na discriminação dos contrastes, não detectou diferença significativa entre as procedências para as características retidão do fuste e diâmetro dos ramos.

A média geral da retidão do fuste (1,42) mostrou que as árvores das procedências testadas possuem fustes tortuosos. Este valor é praticamente igual ao valor encontrado por GAPARE (1999) para *P. maximinoi* em experimentos que foram avaliados no Brasil (1,43). Isso mostra que a espécie, de maneira geral, apresenta árvores com fustes tortuosos sendo, portanto, uma das características que precisam ser melhoradas para a utilização da espécie em plantios comerciais.

As diferenças significativas encontradas entre progênies para retidão do fuste sugerem que há possibilidade de melhorar esta característica através da seleção de progênies que apresentem árvores com fustes mais retos.

Para diâmetro dos ramos, a média geral do experimento foi de 2,32 (para uma escala de 1 a 3), o que significa que as árvores desta espécie apresentam, de modo geral, ramos com diâmetros médios a finos. Esta característica é possível de ser melhorada pela seleção das melhores progênes, já que as diferenças entre progênes foram significativas.

#### 4.3 HERDABILIDADE

Os coeficientes de herdabilidade no sentido restrito estimados para os efeitos de progênie, de parcela, de indivíduo dentro da parcela, para as características altura, DAP, volume, retidão do fuste e diâmetro dos ramos aos oito anos de idade; e os coeficientes de herdabilidade individuais estimados no bloco para as diferentes idades são apresentados na Tabela 7.

TABELA 7 – COEFICIENTES DE HERDABILIDADE NO SENTIDO RESTRITO, ASSOCIADOS A DIFERENTES EFEITOS EMPREGADOS NOS MÉTODOS DE SELEÇÃO PARA AS CINCO CARACTERÍSTICAS AVALIADAS EM *P. maximinoi*

EFEITOS	CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO			QUALIDADE	
	Altura	DAP	Volume	Retidão do Fuste	Diâmetro dos Ramos
$(h_{ir1}^2)$	0,2348 ± 0,051	-	-	-	-
$(h_{ir2}^2)$	0,2947 ± 0,057	-	-	-	-
$(h_{ir3}^2)$	0,2884 ± 0,057	0,3099 ± 0,059	-	-	-
$(h_{ir5}^2)$	0,2098 ± 0,048	0,3470 ± 0,062	-	-	-
$(h_{ir8}^2)$	0,1112 ± 0,035	0,2790 ± 0,056	0,2473 ± 0,053	0,1870 ± 0,046	0,1284 ± 0,038
$(h_d^2)$	0,0835	0,2209	0,1979	0,1507	0,1003
$(h_f^2)$	0,5135	0,8075	0,7752	0,6891	0,6011
$(h_p^2)$	0,0699	0,2301	0,1973	0,1364	0,0969

$(h_{iri}^2)$  = herdabilidade individual no bloco na idade i.

$(h_d^2)$  = herdabilidade de indivíduo dentro da parcela na idade de oito anos.

$(h_f^2)$  = herdabilidade de progênes na idade de oito anos.

$(h_p^2)$  = herdabilidade de parcela na idade de oito anos.

Os valores de herdabilidade no sentido restrito encontrados variaram entre as características em estudo. Os maiores valores observados foram para as estimativas de herdabilidade para o efeito de progênes para as características DAP e volume.

Resultados similares em relação às herdabilidades foram obtidos por SAMPAIO (1996) para *P. maximinoi*. Os valores obtidos indicam que o controle genético é alto e, portanto, a seleção praticada em nível de progênes possibilitará ganhos nas características.

Para a característica altura é possível observar que os valores de herdabilidade individual foram maiores quando em idades mais jovens, mostrando maior variabilidade genética entre os indivíduos na idade jovem.

#### 4.4 CORRELAÇÕES GENÉTICAS E FENOTÍPICAS

##### 4.4.1 Entre Características na Mesma Idade

As correlações genéticas aditivas em nível de plantas ( $r_A$ ) e as correlações fenotípicas em nível de progênes ( $r_F$ ) entre as cinco características estimadas aos 8 anos de idade, são apresentadas na Tabela 8.

TABELA 8 – CORRELAÇÕES GENÉTICAS ADITIVAS EM NÍVEL DE INDIVÍDUOS ( $r_A$ ) E CORRELAÇÕES FENOTÍPICAS EM NÍVEL DE FAMÍLIAS ( $r_F$ ) ENTRE PARES DE CARACTERÍSTICAS DE *P. maximinoi* AOS OITO ANOS DE IDADE EM TELÊMACO BORBA (PR)

CARACTERÍSTICAS	CRESCIMENTO			QUALIDADE	
	Altura	DAP	Volume	Retidão do Fuste	Diâmetro dos Ramos
Altura	-	0,6930	0,7669	0,2880	- 0,3821
DAP	0,9349	-	0,9520	0,2800	-0,5438
Volume	0,9827	0,9957	-	0,0270	-0,9120
Retidão do Fuste	0,0030	0,0225	0,3109	-	-0,1310
Diâmetro dos Ramos	-1,2019	-0,8357	-0,5401	-0,0817	-

$r_A$  = diagonal superior;  
 $r_F$  = diagonal inferior;

As correlações genéticas aditivas foram maiores entre o volume e o DAP. Embora exista uma correlação entre volume e altura, a mesma não foi tão significativa como a anterior. A alta correlação entre volume e DAP indica que a seleção baseada em DAP deverá representar o volume, com boa precisão.

As correlações altas e positivas entre as características de crescimento para espécies florestais são citadas por diversos autores como KAGEYAMA (1980), MORAES (1987), STURION (1993) e SAMPAIO (1996), entre outros.

A retidão do fuste apresentou correlação genética aditiva positiva, porém de baixa magnitude com as características de crescimento (altura, DAP e volume). Portanto, a seleção com base nas características de crescimento não deverá afetar a retidão do fuste.

Já o diâmetro dos ramos apresentou correlações genéticas negativas de média (altura e dap) e alta magnitude (volume) com as características de crescimento. É importante considerar que a escala de avaliação do diâmetro dos ramos variou de 1 a 3, onde 1 representa ramos mais grossos que a média da população.

Foi observada uma tendência das árvores de maior diâmetro apresentarem ramos mais grossos o que coincide com os resultados obtidos por GAPARE et al. (2000).

Com base nesses dados, recomenda-se um maior cuidado na seleção envolvendo características de crescimento e diâmetro dos ramos.

#### 4.4.2 Entre Idades Diferentes

Os coeficientes de correlação genética e fenotípica, obtidos a partir das esperanças dos quadrados médios das análises de covariâncias entre idades, para altura e DAP são apresentados na Tabela 9.

Para DAP, as correlações foram de alta magnitude e positivas, acima de 0,70, para todos os pares de idade testados. As correlações genéticas aditivas para DAP foram maiores entre cinco e oito anos, do que entre três e cinco anos e três e oito anos.

Na literatura, as correlações genéticas encontradas para outras espécies de *Pinus* são geralmente de magnitude semelhante às obtidas neste estudo, como em

*P. patula* (BARNES et al., 1992); *P. caribaea* (WOOLASTON; KANOWSKI; NIKLES, 1990); *P. elliotii* (COTTERILL; DEAN; VAN WYK, 1987); *P. taeda* (FOSTER, 1986) e *P. radiata* (COTTERILL; DEAN, 1988).

TABELA 9 – CORRELAÇÕES GENÉTICAS ADITIVAS EM NÍVEL DE INDIVÍDUOS ( $r_A$ ) E CORRELAÇÕES FENOTÍPICAS EM NÍVEL DE FAMÍLIAS ( $r_F$ ) ENTRE DIFERENTES IDADES DE AVALIAÇÃO

CARACTERÍSTICAS	IDADE	1 ANO	2 ANOS	3 ANOS	5 ANOS	8 ANOS
Altura	1 ANO	-	0,1717	0,1229	0,1504	0,0799
	2 ANOS	0,7726	-	0,7481	0,5143	0,4016
	3 ANOS	0,6107	0,9676	-	0,6123	0,4880
	5 ANOS	0,3920	0,6942	0,7225	-	0,6775
	8 ANOS	0,5700	0,6697	0,7808	0,9018	-
DAP	3 ANOS	-	-	-	0,8813	0,7497
	5 ANOS	-	-	0,9214	-	0,9325
	8 ANOS	-	-	0,8067	0,9508	-

$r_A$  = diagonal superior;

$r_F$  = diagonal inferior;

Para altura de plantas, característica em que o estudo de correlações envolveu um maior número de pares de idades, os resultados mostraram uma clara tendência para uma diminuição do coeficiente de correlação com o aumento da distância entre as idades analisadas.

Os resultados obtidos indicam que a seleção para o DAP, e conseqüentemente para o volume de madeira efetuada aos 5 anos de idade, têm eficiência próxima àquela realizada aos 8 anos de idade.

#### 4.5 SELEÇÃO SIMULADA EM DIFERENTES IDADES

A simulação de seleção das melhores progênies em uma idade mais jovem, com aferição de seu comportamento a uma idade posterior foi realizada selecionando-se os 50 melhores indivíduos para cada característica, pelo IME, visando a implantação de um pomar clonal de sementes. A avaliação dos ganhos obtidos com a seleção nas diferentes idades quando comparados com a seleção na própria idade são apresentados nas Tabelas 10 e 11.

TABELA 10 – MÉDIAS DOS GANHOS GENÉTICOS (%) NA IDADE DE VERIFICAÇÃO DE GANHOS (IVG) COM DIFERENTES IDADES DE SELEÇÃO (IS) PARA ALTURA DE PLANTAS

IDADE DE SELEÇÃO	IDADE DE VERIFICAÇÃO DOS GANHOS				
	1 ANO	2 ANOS	3 ANOS	5 ANOS	8 ANOS
1 ANO	15,48(100,0)	3,00 (19,4)	2,19 (14,1)	0,63 (4,1)	1,08 (8,3)
2 ANOS		11,49 (100,0)	7,63 (66,4)	2,98 (25,9)	1,55 (13,5)
3 ANOS			10,74 (100,0)	3,80 (35,4)	2,10 (19,6)
5 ANOS				6,65 (100,0)	3,56 (53,5)
8 ANOS					4,45 (100,0)

TABELA 11 – MÉDIAS DOS GANHOS GENÉTICOS (%) NA IDADE DE VERIFICAÇÃO DE GANHOS (IVG) COM DIFERENTES IDADES DE SELEÇÃO (IS) PARA DAP DE PLANTAS

IDADE DE SELEÇÃO	IDADE DE VERIFICAÇÃO DOS GANHOS		
	3 ANOS	5 ANOS	8 ANOS
3 ANOS	15,74 (100)	12,52 (79,5)	9,92 (63,0) 3,307 <sup>1</sup>
5 ANOS		14,75 (100)	12,46 (84,5) 2,492 <sup>1</sup>
8 ANOS			14,62 (100) 1,827 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Eficiência seletiva por unidade de tempo

Os ganhos obtidos foram maiores e mais expressivos para DAP (quase todos os valores acima de 10%), e bem menores para altura (menores que 5% aos 8 anos de idade). A constatação dos ganhos a partir da seleção na própria idade, que pode ser observado nas diagonais em destaque nas Tabelas 10 e 11, mostra que o maior ganho para altura de plantas foi conseguido com a seleção a 1 ano de idade (15,48%). Esse ganho decresceu para 11,49% aos 2 anos de idade, 10,74% aos 3 anos, 6,65% aos 5 anos e 4,45% aos 8 anos.

Esse resultado está relacionado a grande variação genética à idade de 1 ano e que tendeu a decrescer a partir desta idade para altura de plantas, conforme pode ser verificado na tabela 7, em que foram apresentados os coeficientes de herdabilidade.

Examinando o ganho nas outras idades, correspondente à seleção com um ano pode-se verificar uma queda brusca nesses percentuais de avanço genético, caindo de 15,48% no 1º ano para 1,08% no 8º ano. Portanto, passou para o 8º ano, somente 8,3% do ganho da seleção com um ano de idade. Esse fato está

relacionado à baixa correlação entre as idades de um e oito anos (Tabela 9) para altura de plantas.

A análise da Tabela 10 permite inferir que para altura de plantas, há uma nítida tendência de decréscimo do ganho genético com o aumento da diferença entre as idades de seleção e a idade de verificação dos ganhos.

Considerando a idade de seleção de oito anos como padrão (normalmente a idade do primeiro desbaste em *Pinus*), observou-se que a seleção para altura nas idades precoces resgata no máximo 53,5% do ganho possível, aos cinco anos de idade.

Quando se analisa a Tabela 11, referente aos dados de DAP, verifica-se uma tendência para que as seleções nas próprias idades apresentem ganhos de magnitude bastante semelhante (15,74 aos três anos, 14,75 aos cinco anos e 14,62 aos oito anos).

A seleção precoce aos três anos resgatou 63% dos ganhos totais aos oito anos de idade, enquanto que a seleção aos cinco anos permitiu uma maior eficiência de seleção, resgatando 84,5% desses ganhos.

Os valores obtidos no teste instalados em Telêmaco Borba (PR) são bastante semelhantes aos obtidos por GAPARE (1999). O autor analisou dados de 29 testes instalados com *P. maximinoi* no Brasil, Colômbia e África do Sul e concluiu que a seleção precoce aos cinco anos para DAP resultou em ganhos genéticos próximos a 83% dos ganhos obtidos com a seleção na idade de oito anos,

Apesar dos ganhos obtidos com a seleção aos cinco anos de idade com a seleção pelo DAP, não ser igual aos ganhos obtidos com oito anos de idade, deve-se notar que quando expresso em termos de eficiência por unidade de tempo, a seleção aos cinco anos é 36% mais eficiente, que a seleção realizada no oitavo ano.

A seleção aos três anos também se mostrou altamente eficiente por unidade de tempo para seleção pelo DAP (81 % mais eficiente que a seleção realizada no oitavo ano). Entretanto, a espécie inicia seu florescimento próximo ao quinto ano, o que não favorece a seleção aos três anos.

Os valores de ganhos obtidos maiores para DAP estão relacionados a uma maior herdabilidade para esta característica em relação aos valores encontrados para altura de plantas.

#### 4.6 COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE MELHORAMENTO

Os métodos de melhoramento avaliados neste trabalho foram o pomar de sementes por mudas (PSM) e o pomar clonal de sementes (PCS), por serem os métodos tradicionalmente utilizados para espécies do gênero *Pinus*.

Em um pomar de sementes por mudas procura-se deixar entre 70 a 120 indivíduos por hectare, procurando manter uma distribuição equilibrada das plantas ao longo dos blocos, para permitir um florescimento adequado das árvores selecionadas.

Para implantação do PSM a partir deste teste de procedências e progênes de *P. maximinoi* optou-se por selecionar 180 indivíduos das 20 melhores progênes que apresentaram os maiores valores genéticos para volume. Este número de indivíduos correspondeu a uma seleção de 6,3% (70 indivíduos por ha) que deverão estar distribuídos uniformemente na área do pomar de sementes por mudas.

O ganho em volume estimado, usando o IME para a seleção dos indivíduos que comporão o PSM foi de 24,07%. Com esse valor, é possível prever que, com apenas um ciclo de seleção, a nova média será de 0,2863 m<sup>3</sup> sólidos com casca/árvore (Tabela 12).

TABELA 12 – GANHOS GENÉTICOS EM VOLUME (GS %) NA IMPLANTAÇÃO DO POMAR DE SEMENTES POR MUDAS (PSM) E POMAR CLONAL DE SEMENTES (PCS), DE *Pinus maximinoi*, AOS OITO ANOS DE IDADE

MÉTODO DE SELEÇÃO	GS(%)	NOVA MÉDIA
PSM (20 prog. selecionadas - 9 ind./progênie)	24,07	0,2863 m <sup>3</sup> /árvore
PCS (20 prog. selecionadas)	36,65	0,3182 m <sup>3</sup> /árvore

Esta seleção foi realizada com restrição de um indivíduo por família por bloco, porque a transformação de um teste de procedências e progênes em pomar de sementes por mudas implica na necessidade de uma distância mínima entre indivíduos aparentados. Essa medida visa evitar o cruzamento entre eles, o que poderia provocar a endogamia (WRIGHT, 1978). A seleção das plantas individuais, pelo IME foi realizada envolvendo todas as procedências, pois não existe diferença entre elas e por possibilitar a manutenção de uma ampla base genética.

No IME, são considerados efeito do indivíduo, efeito da média da parcela, efeito da média do bloco e efeito da média da família, o que o torna mais eficiente, em experimentos com alta taxa de sobrevivência e balanceados.

A seleção individual em nível de experimento objetiva a instalação do PCS. Os 20 indivíduos selecionados corresponderam a uma seleção de 0,70%. Foi selecionado apenas um indivíduo de cada uma das melhores 20 progênies. O ganho genético em função dessa seleção e implantação do PCS foi estimado em 36,65%,. Isso permitirá elevar o volume médio da próxima geração para 0,3182 m<sup>3</sup>/árvore (Tabela 12).

Foi possível obter um ganho genético maior no PCS, em relação ao PSM, porque se utilizou uma intensidade de seleção maior (0,7% e 6,3%, respectivamente). No PCS, os indivíduos selecionados serão propagados (por enxertia) e plantados em um delineamento adequado para evitar cruzamentos entre indivíduos aparentados e propiciar produção de altas quantidades de sementes.

A desvantagem do PCS em relação ao PSM está relacionada ao tempo necessário para se fazer a propagação, implantar o pomar de sementes e esperar pela produção de sementes (em média, cinco a seis anos em *Pinus* no Brasil). Como no PSM, a seleção é realizada nos indivíduos do teste de progênies, e os mesmos já estão produzindo sementes aos oito anos de idade, é possível apenas realizar o desbaste, aguardar a polinização adequada entre os indivíduos remanescentes selecionados e realizar a colheita de sementes (dois anos).

A comparação dos dois métodos pelas estimativas de ganho genético em volume de madeira através da seleção por IME indica que o pomar clonal de sementes é o mais indicado para este material genético.

A seleção realizada neste trabalho representa uma condição ótima em que estão indicados apenas os melhores indivíduos para cada um dos métodos. Na prática, o melhorista seleciona um número maior de indivíduos, com base no IME e, na fase seguinte, avalia estes indivíduos no campo, com o intuito de descartar aquelas árvores que tem um alto valor genético para as características selecionadas, porém apresentam problemas no fuste ou de ramos.

## 5 CONCLUSÕES

Com base neste estudo conclui-se que:

- a) *P. maximinoi* cresceu mais que *P. taeda* e *P. elliottii* em Telêmaco Borba (PR). A média do volume das procedências de *P. maximinoi* foi 48,9% superior ao volume médio das plantações comerciais de *P. taeda*, na mesma idade e condições de sítio;
- b) existem variações genéticas significativas entre progênies dentro de procedências para as características de crescimento, retidão do fuste e diâmetro dos ramos, revelando o potencial destas populações para melhoramento através de seleção genética;
- c) o volume foi altamente correlacionado com o DAP, indicando que a seleção poderá ser realizada com base apenas no DAP, diminuindo custos e tempo;
- d) a seleção aos cinco anos de idade pode ser tão eficiente quanto àquela realizada aos oito anos, principalmente para a característica DAP.
- e) o pomar clonal de sementes é melhor alternativa para a produção de sementes geneticamente melhoradas, a partir deste germoplasma, em relação ao pomar de sementes por mudas.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A.J. **Early results of provenance studies of loblolly and slash pine in Brazil**. Michigan, 1980. Ph.D. Thesis. 115p. Michigan State University, USA.

BALOCCHI, C.E. CAMCORE: Tree improvement program. **CAMCORE – Bulletin of Tropical Forestry**, n.7, 1990. 36p.

BALOCCHI, C.E.; BRIDGWATER, F.E.; ZOBEL, B.J.; JAHROMI, S. Age trends in genetic parameters for tree height in a nonselected population of loblolly pine. **Forest Science**, v. 39, n.2, p.231-251, 1993.

BARNES, R.D.; SIMONS, A.J.; MACQUEEN, D.J. Domestication of hardwood tree species for non-industrial use. In: LAMBETH, C.; DVORAK, W.S.(eds.). **Breeding tropical trees**. IUFRO CONFERENCE, Cali. *Proceedings*, 1992, p. 372-384.

BURDON, R.D. Generalisation of multi-trait selection indices using information from several sites. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v.9, p.145-152, 1979.

COTTERILL, P.P. Genetic gains expected from alternative breeding strategies including simple low cost options. **Silvae Genetica**, v.35, p.5/6, p.212-223, 1986.

COTTERILL, P.P.; DEAN, C.A.; VAN WYK, G. Additive and dominance genetic effects in *Pinus pinaster*, *P. radiata* and *P. elliottii* and some implications for breeding strategy. **Silvae Genetica**, v.36, n.5/6, p.221-232, 1987.

COTTERILL, P.P.; DEAN, C.A. Changes in the genetic control of growth of radiata pine to 16 years and efficiencies of early selection. **Silvae Genetica**, v.37, p.138-146, 1988.

COTTERILL, P.P.; ZED. P.G. Estimates of genetic parameters for growth and form traits in four *Pinus radiata* D. Don progeny tests in South Australia. **Australian Forest Research**, v.10, p. 155-167, 1980.

COTTERILL, P.P.; JACKSON, N. Index selection with restrictions in tree breeding. **Silvae Genetica**, v.30, p. 106-108, 1981.

CROCKFORD, K.J.; BAYLIS, W.B.; DUNSDON, A.J.; WANYANCHA, J.M.; WRIGHT, J.A. Provenance productivity of *Pinus maximinoi* in Southern Africa. **The Commonwealth Forestry Review**, v.70, n.4, p. 213-236, 1991.

DVORAK, W.S.; DONAHUE, J.K. **CAMCORE Cooperative Research Review (1980–1992)**. Department of Forestry, College of Forest Resources, North Carolina State University. Raleigh, NC. CAMCORE COOPERATIVE, 1992.

DVORAK, W.S.; DONAHUE, J.K. *Pinus maximinoi* seed collections in Mexico and Central America. **CAMCORE Technical Bulletin**, n. 4. College of Forest Resources, North Carolina State University. Raleigh, NC., 1988. 47 p.

DVORAK, W.S.; GUTIÉRREZ, E.A.; GAPARE, W.J.; HODGE, G.R.; OSORIO, L.F.; BESTER, C.; KIKUTI, P. *Pinus maximinoi*. In: **Conservation & Testing of Tropical & Subtropical Forest Tree Species**. CAMCORE Cooperative, College of Natural Resources, NCSU. Raleigh, 2000. p. 107-127.

FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics**. 4<sup>th</sup>. Ed. Longman, Harlow, 1996. 464 p.

FOSTER, G.S. Trends in genetic parameters with stand development and their influence on early selection for volume growth in loblolly pine. **Forest Science**, v.32, n.4, p.944-959, 1986.

GAPARE, W.J. **Genetic parameters and provenance productivity of *Pinus maximinoi* H.E. Moore in Brazil, Colombia and South Africa**. Raleigh, North Carolina (Master of Science Thesis). NCSU, 1999. 108p.

GOMES, F.P. **Curso de Estatística Experimental**. 7<sup>a</sup>. Ed. Livraria Nobel S.A., Piracicaba, 1977. 430 p.

INDÚSTRIAS KLABIN S.A. **Relatório de levantamento de solos**. 1997.

INDÚSTRIAS KLABIN S.A. **Relatório de inventário florestal contínuo**. 2000.

KAGEYAMA, P. **Variação genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden**. Piracicaba, SP (Tese de Doutorado) ESALQ/USP, 1980. 125 p.

KIETZKA, J.E. *Pinus maximinoi*: A promising species in South Africa. **South African Forestry Journal**, n.145, p.38-38., 1988.

LADRACH, W.E. Comparaciones entre procedencias de siete coníferas en la zona Andina al finalizar los ocho años. **Carton de Colombia Research Report**, n.94, Cali, 8 p, 1986.

LINDGREN, D. How should breeders respond to breeding values? In: Joint workshop of IUFRO working parties. Williamsburg, Virginia. **Proceedings...NCSU**, p.361-372, 1986.

McKEAND, S.E. Optimum age for family selection for growth in genetic tests of loblolly pine. **Forest Science**, v.34, n.2, p.400-411, 1988.

MITTAK, W.L.; PERRY, J.P. *Pinus maximinoi*: its taxonomic status and distribution. **J.Arnold. Arbor. Harvard University**, v.60, n.3, p.386-395, 1979.

MORAES, M.L.T. **Variação genética da densidade básica da madeira em progênies de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e suas relações com as características de crescimento.** Piracicaba, SP (Dissertação de Mestrado). ESALQ/USP, 1987, 115p.

NAMKOONG, G. A multiple-index selection strategy. **Silvae Genetica**, v.33, p.160-163, 1976.

NAMIKAWA FIER, I.S. Desenvolvimento de *Pinus maximinoi* na região de Telêmaco Borba, PR. Telêmaco Borba, **KLABIN**, 1999. 06p. (KLABIN – GPF, Relatório Técnico, 81).

NYOKA, B.I. Provenance variation in *Pinus maximinoi*: a promising species for commercial afforestation in Zimbabwe. **The Commonwealth Forestry Review**, v.73, n.1, p.47-53, 1994.

NYOKA, B.I.; BIRKS, J.S.; GUMBIE, C.M. *Pinus patula* progeny test: Heritability estimates and genetic correlations between fifth- and eight-year traits. **South African Forestry Journal**, Pretoria, v.168, p.23-26, 1997.

PAUL, A.D.; FOSTER, G.S.; CALDWELL, T.; McRAE, J. Trends in genetic and environmental parameters for height, diameter and volume in a multilocation clonal study with loblolly pine. **Forest Science**, Bethesda, v.43, n.1, p.87-98, 1997.

PERRY, J.R. **The pines of Mexico and Central America.** Timber Press, p. 144-146, 1991.

RESENDE, M.D.V. de. Melhoramento de essências florestais. In: BORÉM, A. (Ed.) **Melhoramento de Espécies Cultivadas.** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. p.589-648.

RESENDE, M.D.V. de; ARAÚJO, A.J. de. Modelo genético – estatístico e delineamento experimental para estimação de componentes de variação genética e parâmetros genéticos em testes de progênies com indivíduos repetidos clonalmente. **Rev. Floresta**, Curitiba, v.23,n.1/2, p.35-45, 1993.

RESENDE, M.D.V. de; FERNANDES, J.S.C. Procedimento BLUP (melhor predição linear não viciada) individual pra delineamentos experimentais aplicados ao melhoramento florestal. **Rev. de Matemática e Estatística**, v.17, p.89-107, 1999.

RESENDE, M.D.V. de; HIGA, A.R. Estimação de valores genéticos no melhoramento de *Eucalyptus*: seleção em um caráter com base em informações do indivíduo e de seus parentes. **Bol. Pesq. Florestal**, Colombo, n.28/29, p.11-36, 1994a.

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. **Bol. Pesq. Florestal**, Colombo, n.28/29, p.37-56, 1994b.

RESENDE, M.D.V. de; OLIVEIRA, E.B.; MELINSKI, L.C.; GOULART JUNIOR, F.S.; OAIDA, G.R.P. **Seleção genética computadorizada – Selegen “Best Prediction”**. Manual do Usuário. Colombo: EMBRAPA-CNPQ. 1994, 31p.

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: CRCTHF - IUFRO CONFERENCE “Eucalypt Plantations: Improving Fibre and Quality”. Hobart, Australia. **Proceedings...** IUFRO, p.167-170, 1995.

RESENDE, M.D.V. de; ARAÚJO, A.J. de; SAMPAIO, P. de T.B.; WIECHETECK, M.S.S. Acurácia seletiva, intervalos de confiança e variância de ganhos genéticos associados a 22 métodos de seleção em *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Rev. Floresta**, Curitiba, v.24,n.1/2, p.35-45, 1995a.

RESENDE, M.D.V. de; VENCOVSKY, R.; FERNANDES, J.S.C. Selection and genetic gains in populations of *Eucalyptus* with a mixed mating system. In: CRCTHF - IUFRO CONFERENCE “Eucalypt Plantations: Improving Fibre and Quality”. Hobart, Australia. **Proceedings...** IUFRO, p.191-193, 1995b.

SAMPAIO, P. de T.B. **Variação genética entre procedências e progênes de *Pinus oocarpa* Schiede, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. & Golf. e *Pinus maximinoi* H. E. Moore e métodos de seleção para melhoramento genético**. Curitiba, PR (Tese de Doutorado) – Setor de Ciências Agrárias, UFPR, 1996. 169 p.

SHELBOURNE, C.J.A. Breeding for stem straightness in conifers. In: Second World Consultant on Forest Tree Breeding, Washington. **Proceedings...** FAO, 1969.

SHIMIZU, J.Y.; HIGA, A.R. Variação racial do *Pinus taeda* L. no sul do Brasil até o sexto ano de idade. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v.2, 1981.

STURION, J.A. **Variação genética de características de crescimento e de qualidade da madeira em progênes de *Eucalyptus viminalis* LABILL.** Curitiba, PR (Tese de Doutorado) – Setor de Ciências Agrárias, UFPR, 1993. 112p.

TODA, R. Heritability problems in forest genetics. In: IUFRO GENETICS –SABRAO JOINT SYMPOSIA. (1972 : Tokyo). **Proceedings**. Tokyo : The Government Forest Experiment Station of Japan, 1972. P.A-3(I):1-9.

VENCOVSKY, R. Genética quantitativa. In: PATERNIANI, E. (Coord.) **Melhoramento do milho no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1978. p.122-201.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. (Eds.) **Melhoramento e produção de milho**. 2<sup>a</sup> ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.137-214.

WHITE, T.L. A conceptual framework for tree improvement programs. **New Forests**, n. 4, p. 325-342, 1987.

WHITE, T. L.; HODGE, G. R. **Predicting breeding values with applications in forest tree improvement.** Kluwer Academic Publishers, London, 1989. 367p.

WILLIAMS, E.R.; MATHESON, A. C. **Experimental design and analysis for use in tree improvement.** CSIRO, Melbourne, 1995. 174 p.

WOOLASTON, R.R.; KANOWSKI, P.J.; NIKLES, D.G. Genetic parameters estimates for *Pinus caribaea* var. *hondurensis* in Coastal Queensland, Australia. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 39, n. 1, p. 21-28, 1990.

WRIGHT, J. A. A simplified design for combined provenance and progeny testing. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 27, n. 2, p. 68-70, 1978.

WRIGHT, J. A.; BAYLIS, B. Volume, pulp and paper-making traits of *Pinus maximinoi* provenances planted at two sites in South Africa. **South African Forestry Journal**, n. 165, p. 37- 40, 1993.

WRIGHT, J.A.; WESSELS, A. Laboratory scale pulping of *Pinus pseudostrobus*, *P. maximinoi* and *P. patula*. **IPEF International**, Piracicaba, v. 2, p.39-44, 1992.

ZOBEL, B.J.; TALBERT, J. **Applied forest tree improvement.** New York: J. Wiley & Sons, 1984. 505p.