

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**JANAÍNA RODRIGUES DA SILVA**

**CARACTERIZAÇÃO GENÉTICA DE ÁREAS DE PRODUÇÃO DE SEMENTES  
DE *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE PARA PRODUÇÃO DE PINHÃO  
E MADEIRA**

Ilha Solteira  
2016

**JANAÍNA RODRIGUES DA SILVA**

**CARACTERIZAÇÃO GENÉTICA DE ÁREAS DE PRODUÇÃO DE SEMENTES  
DE *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE PARA PRODUÇÃO DE PINHÃO  
E MADEIRA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia.  
Especialidade: Sistema de Produção.

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. ANANDA VIRGINIA DE AGUIAR  
**Orientador**

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. VALDERÊS APARECIDA DE SOUSA  
**Co-orientador**

Ilha Solteira  
2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- S586c Silva, Janaína Rodrigues da.  
Caracterização genética de áreas de produção de sementes de araucaria angustifolia (BERT) o. ktze para produção de pinhão e madeira / Janaína Rodrigues da Silva. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2016  
90 f. : il.
- Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia . Especialidade: Sistema de Produção, 2016
- Orientador: Ananda Virginia de Aguiar  
Co-orientador: Valderês Aparecida de Sousa  
Inclui bibliografia
1. Conífera. 2. Caracteres quantitativos. 3. Melhoramento genético.  
4. Ganho genético por seleção.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Caracterização genética de áreas de produção de sementes de *Araucária angustifolia* (Bert.) O. Ktze para produção de pinhão e madeira

AUTORA: JANAINA RODRIGUES DA SILVA

ORIENTADORA: ANANDA VIRGÍNIA DE AGUIAR

CO-ORIENTADORA: VALDERÊS APARECIDA DE SOUSA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA, especialidade: SISTEMAS DE PRODUÇÃO pela Comissão Examinadora:

  
Profa. Dra. ANANDA VIRGÍNIA DE AGUIAR  
Câmpus Samambaia / Empresa Florestas

  
Prof. Dr. MARIO LUIZ TEIXEIRA DE MORAES  
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

  
Prof. Dr. KARINA MARTINS  
Departamento de Biologia / Universidade Federal de São Carlos

Ilha Solteira, 11 de agosto de 2016

A minha mãe Elisabete e meu pai Wilson Rodrigues pelo amor, paciência, carinho e incentivo, aos meus irmãos, Diego e Juliana pelo amor, compreensão e apoio.

DEDICO

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus por me dar força, coragem, saúde nesses anos para vencer os obstáculos e concluir o trabalho.

À pesquisadora Ananda Virginia Aguiar pela orientação, por todos os ensinamentos compartilhados, conselhos, paciência e por confiar no meu trabalho.

À pesquisadora Valderês Aparecida de Sousa pela co-orientação.

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP) pela oportunidade de realizar o mestrado e pela infraestrutura oferecida, aos professores, pelos ensinamentos que contribuíram para a minha formação acadêmica e aos funcionários em especial, aos da pós-graduação pelos serviços prestados.

Ao Prof. Dr. Mário Luiz Teixeira de Moraes, pela oportunidade de todos os anos de trabalho, por todos os ensinamentos compartilhados com muita humildade, pela convivência, por estar sempre à disposição, pelos conselhos e paciência, enfim por toda atenção dedicada.

À Selma Maria Bozzite de Moraes pelos ensinamentos de técnicas e trabalho no laboratório, pela convivência e oportunidades. Obrigada pelas inúmeras conversas, conselhos, pela disposição e por todo empenho em ajudar principalmente nas horas difíceis.

A banca da qualificação composta por Prof. Dr. João da Costa Andrade, Profa. Dra. Daniela Canutto e a banca da defesa composta por Prof. Dr. Mário Luiz Teixeira de Moraes, Prof. Dra. Karina Martins, e suplentes Profa. Dra. Graciela da Rocha Sobierajski e Prof. Dr. Alan Rodrigo Panosso.

Aos Pesquisadores, técnicos, assistentes e estagiários da Embrapa Florestas, que estiveram envolvidos desde a implantação e manutenção dos experimentos, até a coleta dos dados.

A todos os colegas, funcionários, amigos e alunos da Escola Arno Hausser. Obrigada pela oportunidade de trabalho, pois esta foi essencial para a minha permanência em Ilha Solteira, agradeço em especial, Marina Xavier, Adriana, Ieda, Elaine, Stella, Suzana, Leila, Tânia. Obrigada por toda paciência, dedicação, apoio, compreensão e pela troca de experiências.

Aos amigos de trabalho do Laboratório de genética de populações e silvicultura pela amizade, conhecimentos partilhados, pela convivência no campo e no laboratório, em especial: Maiara, Thaísa, Cecília, Marcela, Patrícia, Ricardo, Daniele, Bárbara Moreira, Bárbara V., Diana, Danilla, Kelly, Daniela, Diana e José Cambuim.

Ao Maximiliano Kawahata Pagliarini, Wanderley Santos, Maiara Cornacini, pelas contribuições para o presente estudo. Pela disponibilidade em sanar as dúvidas e pelos conhecimentos compartilhados.

Aos amigos, moradoras e ex-moradoras da República Bio-zona, obrigada por todas as experiências trocadas, por cuidarem de mim e sempre me respeitarem, em especial, Mariana, Tainah, Michele, Laíza, Júlia, Miriam.

Aos meus amigos, Maiara, Bianca, Aline, Raíssa, Michele, Diogo, Renan, Patrícia, Juliana, Renato, Nayara, Nohara, Júnior, Leonardo, Thiago, Pablo, Gilberto, que mesmo distante, sempre estiveram presentes tanto na minha jornada acadêmica quanto pessoal. Obrigada pela amizade, incentivo e pelos muitos momentos de descontração!

À empresa de fomento CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, meu muito obrigado.

## RESUMO

Em função da importância ecológica, econômica e do alto grau de degradação das Florestas com araucária, informações sobre genética de populações envolvendo a *Araucaria angustifolia* são essenciais para programas de conservação *ex situ* e o melhoramento genético. A conservação *ex situ* de populações na forma de testes de procedências e progênies permite monitorar os níveis de variabilidade genética e verificar a eficácia de estratégia de amostragem utilizadas nas populações. Dentro deste contexto, o objetivo foi realizar a caracterização genética e estimar o ganho com a seleção em três testes de procedências e progênies de *A. angustifolia* em Colombo-PR visando a produção de madeira e de sementes. Essas áreas experimentais foram estabelecidas sob delineamento experimental em blocos de progênies compactadas. O número de progênies e repetições em cada área variou da seguinte forma: 25, 110 e 50 progênies e 16, 2 e 6 repetições, nas áreas 1, 2 e 3, respectivamente. Os caracteres avaliados foram: o diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (ALT), volume total (VOL), diâmetro médio de copa (DMC) e espessura da casca (ESP) aos 30, 32 e 33 anos de idade e os caracteres de produção de pinhão. Os parâmetros genéticos e componentes de variância foram obtidos pelo procedimento REML/BLUP. Os resultados deste trabalho permitiram concluir que há variação genética significativa entre procedências e progênies para a maioria dos caracteres avaliados. Verificou-se que a maior parte da variação genética encontra-se entre progênies para 67% dos caracteres avaliados e 33% entre procedências. O diâmetro a altura do peito aos 32 anos foi o mais indicado para a seleção dos indivíduos nas áreas experimentais. As correlações fenotípicas e genéticas entre os caracteres silviculturais foram moderadas a altas, positivas e significativas, variou de 0,95 a 0,98. As procedências Telêmaco Borba-PR e Irati- PR apresentam melhor desempenho em DAP 32. A correlação entre as distâncias genotípicas e geográficas foram positivas em todas as áreas experimentais, confirmando que a variabilidade genética está estruturada no espaço. Com base na distância de Mahalanobis, os acessos de araucária foram separados em grupos distintos. Esses foram formados, principalmente, pelas procedências geograficamente mais próximas. Com a análise descritiva das pinhas e pinhões obteve-se ligeira superioridade na capacidade produtiva das árvores matrizes da área 1 comparada as árvores matrizes da área 2. Correlações fenotípicas moderadas negativa a moderadas positiva foram observadas para os caracteres de crescimento associados aos da produção de pinhão. Com base no diâmetro à altura do peito aos 32 anos foram simuladas duas intensidades de seleção em nível individual. A intensidade de seleção de 41%, 38% e 27% foi



a mais adequada visto que proporcionaram ganhos por seleção de 8,27% 7,63% e 7,59% nas áreas 1, 2 e 3, respectivamente. Esta estratégia evitará a perda excessiva de variabilidade genética e ganhos genéticos modestos.

**Palavras-chave:** Conífera. Caracteres quantitativos. Melhoramento genético. Ganho genético por seleção.

## ABSTRACT

Due to both ecological and economic importance, as well as the high degree of degradation of Araucarian Forests, it can be important to obtain genetic information about genetic of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia*) population is essential to *ex situ* conservation programs and genetic improvement. The *ex situ* population conservation, in the configuration of provenance and progeny tests allow monitoring the genetic variability levels and checking the efficiency of sampling strategies used in population. In this context, the aim of this work was to perform the genetic characterization and estimate gain with selection in three provenance and progeny tests of *A. angustifolia* in Colombo-PR, Brazil, more specifically, and analysis will focus on its wood and seed production. Those trial areas were established by experimental design in compacted blocks of progeny. The number of replicates and progenies in each area varied as follows: 25, 110 and 50 progenies and 16, 2 and 6 replicates, respectively, in the areas 1, 2 and 3. The evaluated traits were: diameter at breast height (DBH), total height (ALT), total volume (VOL), average crown diameter (DMC) and bark thickness (ESP) at 30, 32 and 33 years old beyond the traits related to pine nut production. Genetic parameters and variance components were obtained by REML/BLUP procedure. The results of this study indicated a significant genetic variation among provenances and progenies for the majority of evaluated traits. It was determined that most of the genetic variation was found among progenies up to 67% of the analysed traits and 33% among of provenances. The DBH at age 32 was the most suitable for the selection of individuals in the experimental areas. Phenotypic and genetic correlations between growth traits were observed from moderate to high, positive and significant, varying from 0,95 to 0,98. Provenances Telêmaco Borba-PR and Irati-PR presented best performances for the trait for DBH 32. The correlation between genotypic and geographical distances were positive in all experimental areas, confirming that genetic variability is structured in space. Based on the Mahalanobis distances, the araucaria accesses were separated into different groups. These were clustered, especially by the geographically closest provenances. With the descriptive analysis of pine cones and pine nuts, it gave a slight superiority in the productive capacity of trees in the Area 1 compared to trees of Area 2. Moderate negative to moderate positive phenotypic correlation were observed for growth traits associated to variables of pine nut production. Based on DBH trait at 32 years old were simulated two selection intensities at individual level. The selection intensity of 41%, 38% and 27%, leads genetic gains 8.27%, 7.63% and 7.59% in areas 1, 2 and 3, respectively. This strategy will avoid an excessive loss of genetic variability and modest genetic gains.

**Keywords-** Conifers. Quantitative trait. Genetic improvement. Genetic gain by selection.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	- Estróbilo masculino de <i>A. angustifolia</i>	19
<b>Figura 2</b>	- Estróbilo feminino desenvolvido	19
<b>Figura 3</b>	- Estróbilo feminino maduro e sementes de araucária	20
<b>Figura 4</b>	- Regiões de coletas de sementes de <i>A. angustifolia</i> para a instalação das áreas experimentais 1, 2 e 3 em Colombo-PR	30
<b>Figura 5</b>	- Estimativas das correlações genéticas (acima da diagonal) e fenotípicas (abaixo da diagonal) entre os caracteres de crescimento em progênies de <i>A. angustifolia</i> avaliados nas áreas experimentais aos 30, 32 e 33 anos de idade em Colombo-PR	52
<b>Figura 6</b>	- Relação entre a distâncias geográficas e as distâncias de Mahalanobis entre as matrizes de <i>A. angustifolia</i> proveniente de cinco procedências ( $r = 0,889$ ; $p = 0,47$ ; $n=10$ )	59
<b>Figura 7</b>	- Relação entre a distâncias geográficas e as distâncias de Mahalanobis entre as matrizes de <i>A. angustifolia</i> proveniente de doze procedências ( $r = 0,752$ ; $p = 0,11$ ; $n=66$ )	60
<b>Figura 8</b>	- Relação entre a distâncias geográficas e as distâncias de Mahalanobis entre as matrizes de <i>A. angustifolia</i> proveniente de sete procedências ( $r = 0,768$ ; $p = 0,33$ ; $n=21$ )	60
<b>Figura 9</b>	- Dendrograma resultante da análise de 5 procedências de <i>A. angustifolia</i> em Colombo-PR, obtido pelo método de agrupamento UPGMA baseado na distância de Mahalanobis. O valor do coeficiente de correlação cofenética foi de 0,99	62
<b>Figura 10</b>	- Dendrograma resultante da análise de 12 procedências de <i>A. angustifolia</i> em Colombo-PR, obtido pelo método de agrupamento UPGMA baseado na distância de Mahalanobis. O valor do coeficiente de correlação cofenética foi de 0,79	63
<b>Figura 11</b>	- Dendrograma resultante da análise de 7 procedências de <i>A. angustifolia</i> em Colombo-PR, obtido pelo método de agrupamento UPGMA baseado na distância de Mahalanobis. O valor do coeficiente de correlação cofenética foi de 0,93	64
<b>Figura 12</b>	- Estimativas das correlações fenotípicas dos caracteres de produção de pinhão nas áreas experimentais 1 e 2 de <i>A. angustifolia</i> em Colombo PR, no ano de 2013.	68
<b>Figura 13</b>	- Correlações fenotípicas entre os caracteres de produção de pinhão e os de crescimento avaliados nas áreas experimentais em Colombo- PR	70

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	- Número de progênies, coordenadas geográficas, altitude e características dos locais de origem das procedências de <i>A. angustifolia</i> nas áreas experimentais em Colombo-PR	29
<b>Tabela 2</b>	- Teste da razão de verossimilhança (LRT) entre procedências e progênies de <i>A. angustifolia</i> para caracteres de crescimento avaliados aos 30, 32 e 33 anos de idade nas áreas experimentais em Colombo-PR	43
<b>Tabela 3</b>	- Componentes de variância para os caracteres de crescimento de <i>A. angustifolia</i> nas áreas experimentais em Colombo-PR	46
<b>Tabela 4</b>	- Estimativas de parâmetros genéticos para os caracteres silviculturais nas áreas experimentais de <i>A. angustifolia</i> avaliados aos 30, 32 e 33 anos de idade, em Colombo-PR.	50
<b>Tabela 5</b>	- Progresso esperado mediante a seleção individual ( $\hat{G}_s$ %) de 50 e 80 indivíduos, tamanho efetivo populacional ( $N_e$ ) e a diversidade genética ( $D$ ), considerando a razão sexual de descendentes de 0,5 nas áreas experimentais de <i>A. angustifolia</i> em Colombo-PR.	56
<b>Tabela 6</b>	- Seleção das melhores procedências nas áreas de <i>A. angustifolia</i> nas áreas experimentais em Colombo-PR, considerando o DAP aos 32 anos.	58
<b>Tabela 7</b>	- Estatística descritiva dos caracteres de produção de pinhão nas áreas experimentais de <i>A. angustifolia</i> em Colombo PR, no ano de 2013.	66

## ANEXOS

<b>Tabela 1A</b>	- Estimativas das correlações genéticas (acima da diagonal) e correlações fenotípicas (abaixo da diagonal) entre os caracteres de crescimento em progênies de <i>A. angustifolia</i> avaliados nas áreas experimentais aos 30, 32 e 33 anos de idade em Colombo-PR.	82
<b>Tabela 2A</b>	- Estimativas das correlações fenotípicas dos caracteres de produção de pinhão nas áreas experimentais 1 e 2 de <i>A. angustifolia</i> em Colombo PR, no ano de 2013.	82
<b>Tabela 3A</b>	- Estimativas de correlações fenotípicas entre os caracteres de produção de pinhão e os de crescimento avaliados nas áreas experimentais de <i>A. angustifolia</i> em Colombo-PR.	83
<b>Tabela 4A</b>	- Proporção sexual em progênies nas áreas experimentais de <i>A. angustifolia</i> em Colombo-PR.	83
<b>Tabela 5A</b>	- Matrizes produtoras de pinhão nas áreas experimentais de <i>A. angustifolia</i> , em Colombo-PR, no ano de 2013.	84
<b>Tabela 6A</b>	- Matriz de distância genotípica (Mahalanobis) referentes as plantas da área experimental 1 composta por cinco procedências de <i>A. angustifolia</i> em Colombo-PR.	84
<b>Tabela 7A</b>	- Matriz de distância geográfica em km obtidas com base nos dados de latitude e longitude referente as cinco procedências de <i>A. angustifolia</i> da área experimental 1 em Colombo-PR.	84
<b>Tabela 8A</b>	- Matriz de distância genotípica (Mahalanobis) referentes as plantas da área experimental 2 composta por doze procedências de <i>A. angustifolia</i> , em Colombo-PR.	85
<b>Tabela 9A</b>	- Matriz de distância geográfica em km obtidas com base nos dados de latitude e longitude referente as doze procedências de <i>A. angustifolia</i> da área experimental 2 em Colombo-PR	86
<b>Tabela 10A</b>	- Matriz de distância genotípica (Mahalanobis) referentes as plantas da área experimental 3 composta por sete procedências de <i>A. angustifolia</i> em Colombo-PR.	86
<b>Tabela 11A</b>	- Matriz de distância geográfica em km obtidas com base nos dados de latitude e longitude referente as sete procedências de <i>A. angustifolia</i> da área experimental 3 em Colombo-PR	87
<b>Tabela 12A</b>	- Ganho na seleção de 50 indivíduos baseado no caráter DAP 32 em progênies de <i>A. angustifolia</i> , seguindo o ordenamento do Selegen, considerando a proporção sexual de 0,5 nas três áreas experimentais, aos 32 anos de idade em Colombo-PR.	88
<b>Tabela 13A</b>	- Ganho na seleção de 80 indivíduos baseado no caráter DAP 32 em progênies de <i>A. angustifolia</i> , seguindo o ordenamento do Selegen, considerando a proporção sexual de 0,5 nas três áreas experimentais, aos 32 anos de idade em Colombo-PR.	89

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>18</b>
2.1	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ESPÉCIE <i>Araucaria angustifolia</i> (BERT.) O. KUNTZE	18
2.2	PRODUTOS DA ARAUCÁRIA: MADEIRA E PINHÃO	21
2.3	MELHORAMENTO GENÉTICO EM <i>Araucaria angustifolia</i>	22
2.4	CONSERVAÇÃO GENÉTICA	24
2.5	TAMANHO EFETIVO POPULACIONAL	26
2.6	PROPORÇÃO SEXUAL EM ESPÉCIES DIOICAS	27
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>28</b>
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS	28
3.2	MÉTODOS	31
3.2.1	Coleta de dados e avaliações dos caracteres de crescimento	31
3.2.2	Coleta de dados e avaliações das pinhas e pinhões	32
3.2.3	Estimativas dos parâmetros genéticos e análise de <i>deviance</i>	32
3.2.4	Estimativas de ganhos genéticos, tamanho efetivo populacional e variação genética ( $Q_{ST}$ )	36
3.2.5	Estatística descritiva	38
3.2.6	Correlação fenotípica e genética	39
3.2.7	Análise de distâncias entre procedências	39
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>41</b>
4.1	ANÁLISE DOS CARACTERES DE CRESCIMENTO	41
4.1.1	Análise de <i>deviance</i>	41
4.1.2	Estimativas de parâmetros genéticos	44
4.1.3	Variação genética entre procedências e progênies	46
4.1.4	Correlações fenotípicas e genéticas	51
4.1.5	Ganho genético esperado com a seleção	54
4.1.6	Distâncias genotípicas e estrutura espacial	59
4.2	ANÁLISE DOS CARACTERES DE PRODUÇÃO DE PINHÃO	65
4.2.1	Estatística descritiva	65
4.2.2	Correlação fenotípica entre os caracteres de produção de pinhão	67
4.2.3	Correlação fenotípica entre caracteres de produção de pinhão e de crescimento e copa	69
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>72</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>73</b>
	<b>ANEXOS</b>	

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado o país com maior área de florestas nativas e maior número de produtos certificados pelo Conselho de Manejo Florestal (FCS). Dentre a sua grande cobertura vegetal destaca-se a Floresta Ombrófila Mista (FOM) considerada uma unidade fitogeográfica do bioma Mata Atlântica (PATREZE; TSAI, 2010; KUHN; ERNESTO; MARIATH, 2014). Essa formação florestal apresentava vasta extensão com grande diversidade de espécies, que por sua vez foram alvos de intensa exploração no passado, devido ao grande potencial madeireiro. Em consequência, a FOM, na região Sul do Brasil encontra-se no presente, praticamente no limiar do seu desaparecimento (SONEGO; BACKES; SOUZA, 2007), compreendendo entre 1 e 2% da sua área original (KOCH; CORRÊA, 2002; GUERRA, 2002). Dentre as espécies que compõem essa formação a *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze foi uma das mais exploradas. Considerada pelo grande valor econômico, social e ambiental nas regiões de ocorrência natural. *Araucaria angustifolia* está incluída na “Red List” da IUCN (The World Conservation Union) de espécies ameaçadas de extinção. A exploração excessiva sem a devida reposição, tem sido apontada como a principal razão dessa ameaça. Entretanto, outra causa da provável extinção é geralmente ignorada: a falta de conhecimento do manejo e requisitos silviculturais da espécie (SCHEEREN, 1999).

Da araucária são obtidos produtos madeireiros e não-madeireiros, dentre os quais destacam a madeira e o pinhão (semente). O consumo de seus produtos ocorre mais em nível regional devido às leis ambientais. Atualmente, o uso da araucária é restrito, devido ao risco de extinção resultado da intensa exploração. Com o intuito de alterar esse cenário, com o estabelecimento de programas de melhoramento, a Embrapa Florestas implantou juntamente com seus parceiros, vários testes de procedências e progênies desde a década de 1980. Estes testes foram instalados principalmente nos estados de São Paulo e Paraná. Com base nos resultados da avaliação de caracteres de crescimento (altura e diâmetro à altura do peito) e forma do fuste, procedeu-se a seleção de genótipos superiores. Após a seleção das matrizes, os testes foram transformados em áreas de produção de sementes (APS), em que a recombinação e produção de sementes ocorreram no próprio experimento, após desbaste seletivo (em torno de 50%) (SOUSA; AGUIAR, 2012). Para as etapas subsequentes, o objetivo é avançar novas gerações de melhoramento genético com base nessas populações e coletar sementes de árvores matrizes de outras regiões (plantios comerciais e populações naturais) visando a introdução de



novos genótipos. Esses novos materiais podem ser destinados a melhorar uma característica específica ou a diversidade genética existente na população de melhoramento.

A partir da caracterização genética das populações de *A. angustifolia* instaladas em Colombo-PR, será possível ampliar o conhecimento sobre a capacidade produtiva de algumas procedências e progênies da espécie. Além de viabilizar a seleção das matrizes de alto valor genético, com o propósito de formar pomares de sementes clonais e estabelecer testes de progênies de segunda geração, também possibilitará plantios em larga com maior capacidade de produção. Os resultados desse processo contribuirão para diminuir a pressão sobre os remanescentes nativos e utilização de maneira sustentável desse recurso madeireiro. Portanto, o objetivo desse trabalho foi realizar a caracterização genética e estimar o ganho com a seleção em três testes de procedências e progênies sementes de *A. angustifolia* com base nas estimativas dos parâmetros genéticos e divergência genética de caracteres quantitativos, viabilizando a identificação e a seleção de genótipos mais produtivos para a produção de madeira e pinhão. Os conhecimentos gerados sobre a produção de madeira e pinhão de araucária atenderão às necessidades dos produtores locais e contribuirão para a conservação e uso da espécie

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ESPÉCIE *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KUNTZE

A Floresta Ombrófila Mista (FOM), também conhecida como Floresta com Araucária faz parte do bioma da Mata Atlântica brasileiro, considerado como detentor de altíssimos níveis de diversidade, apesar da exploração (LIMA; CAPOBIANCO, 1997). A espécie *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze é o principal componente dessa formação florestal. Pertence à família Araucariaceae, sendo conhecida popularmente como araucária ou Pinheiro-do-Paraná. O gênero *Araucaria* é o mais diversificado da família e apresenta uma ampla distribuição no Hemisfério Sul, ocorrendo em países como na Nova Caledônia, Nova Guiné, Austrália, Nova Zelândia e América do Sul (SETOGUCHI et al., 1998). É considerada a única espécie de seu gênero de ocorrência natural no Brasil, com distribuição nos estados do Paraná, Santa Catarina, Rio grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais, de ocorrência restrita em regiões altas do Rio de Janeiro, Espírito Santo e na Província de Misiones, na Argentina (MATTOS, 1994).

É classificada por Reitz e Klein (1966) como uma espécie heliófita e pioneira, que avança sobre campos formando novos agrupamentos. *Araucaria angustifolia* apresenta árvores com 10 a 35 m de altura e 50 a 120 cm de diâmetro à altura do peito, atingindo excepcionalmente 50 m de altura e 250 cm ou mais de DAP, na idade adulta, com tronco reto e quase cilíndrico (CARVALHO, 2002). Embora seu crescimento inicial seja lento, a partir do terceiro ano, em sítios adequados apresenta incremento médio anual em altura de 1 m, e a partir do quinto ano, incremento médio em DAP de 1,5 a 2,0 cm (SEBBENN et al., 2004).

É uma planta dioica, com árvores femininas e masculinas. A dioicia tem sido estudada por muitos autores, que a consideram um fator seletivo, com a função de evitar a endogamia (BAKER, 1984). Ocasionalmente ocorrem árvores monoicas, devido a doenças e traumas (SHIMIZU; OLIVEIRA, 1981).

Os estróbilos masculinos (Figura 1) são cilíndricos e alongados, medindo de 10 cm a 22 cm de comprimento, por 2 cm a 5 cm de diâmetro, sendo compostos por escamas. Os estróbilos femininos (Figura 2), chamado de pinha, com cone subarredondado, protegidas no ápice de um ramo por numerosas acículas muito próximas umas das outras (REITZ; KLEIN, 1966), com várias brácteas escamiformes, coriáceas, sem asas e com espinho no ápice, inseridas sobre um eixo central e cônico, com base mais ou menos cilíndrica.

**Figura 1** – Estróbilo masculino de *A. angustifolia*.



Fonte: Sousa (2010).

**Figura 2** – Estróbilo feminino desenvolvido.



Fonte: Sousa (2010)

As pinhas, são botanicamente classificadas como pseudofrutos, reunidos em estróbilo feminino (ovário) (Figura 3), com 10 cm a 25 cm de diâmetro, composto de 700 a 1.200 escamas, com número variável de sementes (5 a 150), pesando de 0,61 kg a 4,1 kg, podendo chegar até 4,7 kg (MATTOS, 1994).

O principal método utilizado para propagação da araucária é pelas sementes (MEDINA-MACEDO et al., 2014). Possui um longo ciclo reprodutivo, sendo que o seu início pode ocorrer antes dos 15 anos de idade em planta cultivada isoladamente e antes dos 20 anos de idade nas populações naturais. A competição tem influência na produção de sementes. O maior espaçamento permite que as árvores tenham uma maior proporção de sua copa livre, mais exposição à luz, portanto, uma situação mais favorável para a produção das estruturas reprodutivas. Assim, as árvores dominantes que têm copas mais vigorosas e desenvolvidas são notáveis produtoras de sementes (DANIEL; BURKHART; CLASON, 1986). As folhas (acículas) são simples, alternas, espiraladas, coriáceas, de coloração verde-escura e persistem durante o inverno.

A polinização ocorre nos meses de outubro a dezembro, a qual é realizada predominantemente pelo vento, dois anos após esse evento, as pinhas amadurecem (MATTOS, 1994). A geração de novas plantas de araucária naturalmente ocorre pela dispersão das sementes por autocoria, limitada à vizinhança da árvore-mãe (60 a 80 m), devido ao peso das sementes (CARVALHO, 2002). Também é realizada por animais, principalmente aves e roedores (IOB; VIEIRA, 2008). A gralha-azul (*Cyanocorax caeruleus*) e a cutia (*Dasyprocta azarae*) são animais que desempenham excelente trabalho na dispersão das sementes, como grandes apreciadoras do pinhão e pelo costume, principalmente da cutia, de enterrar as sementes para consumo posterior (CARVALHO, 2002).

**Figura 3** – Estróbilo feminino maduro (pinha) e sementes de araucária.



Fonte: Alves (2016).

Quando adulta, a araucária ocupa o estrato superior da floresta, caracterizando a necessidade de luz. Em plantios, o Pinheiro-do-Paraná tolera sombra no período juvenil, porém não tolera sombreamento lateral quando plantado em faixa, em capoeira alta (SOUSA et al., 2010). Segundo Basso (2010), a espécie prefere solos argilosos, ricos em matéria orgânica e bem drenados desenvolvendo-se bem em regiões com verões brandos e invernos frios e com precipitação de 1.300 mm até 2.700 mm. Esta espécie necessita de uma grande demanda de nutrientes durante o seu desenvolvimento, precisando de solos mais férteis que as demais coníferas (HANDRO; FERREIRA, 1986).

## 2.2 PRODUTOS DA ARAUCÁRIA: MADEIRA E PINHÃO

Dentre as espécies nativas mais plantadas no Brasil encontra-se a araucária, com uma área de 11.122 hectares (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2015). Segundo Santos et al. (2002), a floresta com araucárias é fonte de inúmeros subprodutos florestais, tanto madeiráveis como não madeiráveis. Além da utilização dos pinhões e da madeira, acrescenta-se o uso da resina, utilizada para a fabricação de vernizes e terebentina (REITZ; KLEIN, 1966). Os galhos são considerados excelente fonte de lenha, utilizados como combustível de caldeiras e também possuem alta resistência, flexibilidade e durabilidade podendo ser utilizados em estruturas de construções rústicas e móveis artesanais, protegidos das intempéries (SOUSA; AGUIAR, 2012). As acículas, juntamente com os restos de ramos, cascas, estruturas reprodutivas e pedaços do caule, formam uma espessa camada de material orgânico rica em nutrientes, reciclados até camadas profundas do solo. A matéria decomposta de excelente qualidade pode ser elaborada com baixo custo, em propriedades que possuem pinheiros próximos das unidades familiares (SOUSA; AGUIAR, 2012). Essa matéria orgânica (húmus) produzida pode ser aplicada pelos agricultores diretamente em hortas e pomares.

A madeira da araucária é de alta qualidade (CARVALHO, 1994) e pode ser utilizada para diversos usos, principalmente para móveis, artigos de esportes, compensados, construções internas (painéis e pisos) (SOUSA; AGUIAR, 2012). É uma madeira de grande valor comercial, sendo umas das preferidas pela indústria de móveis por ser de fácil processamento, apresentando boas características físicas e mecânicas. A densidade básica da madeira é em média  $0,55 \text{ g/cm}^3$ , sendo pouco durável quando exposta ao tempo (LORENZI, 1992). Apesar da madeira dessa espécie ser considerada superior à do gênero *Pinus*, a última tem sido preferida pelos mercados internos e externo por não representar riscos de conflitos com a lei de Crimes Ambientais (AQUINO, 2005). Atualmente a exploração da madeira de araucária é restrita,

sendo permitido somente o corte das árvores com DAP igual ou superior a 40 cm, mediante a aprovação de um plano de manejo (ANJOS et al., 2004). A principal fonte de madeira de *A. angustifolia* disponível no mercado provem de plantações (FIGUEIREDO FILHO et al., 2015).

A semente de araucária, conhecida como pinhão, é considerada um alimento nutritivo, rico em reservas energéticas, podendo ser considerada como uma fonte de amido, fibra dietética, magnésio e cobre (OLIVEIRA, et al., 2005) tanto para o homem quanto para os animais silvestres. Suas sementes são carnosas, com 3 a 8 cm de comprimento, por 1 a 2,5 cm de largura e peso médio de 8,7 g (CARVALHO, 2002). A sua comercialização praticamente se restringe aos meses de produção (abril a junho) (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB, 2014). A coleta do pinhão serve como um importante recurso econômico para as comunidades coletoras e para as famílias de baixa renda (BALBINOT et al., 2008). Segundo Mattos (1994), as safras de produção de pinhão são cíclicas, durante 2 ou 3 anos produz abundantemente, reduzindo a produção posterior, gradativamente, nos 2 ou 3 anos seguintes. As normas e as instruções para a colheita, transporte e comercialização do pinhão são estabelecidas por leis específicas para cada estado produtor, com objetivo de garantir o consumo sustentável e a reprodução da araucária (MATTOS, 1994).

A produção de madeira e de pinhão tem sofrido oscilações ao longo dos anos, principalmente em questão das políticas de proteção da espécie, à sazonalidade da produção de pinhão e as alterações climáticas. A produção total de madeira de araucária em tora no ano de 2013, foi de 207.225 m<sup>3</sup>. Já a produção de pinhão, no mesmo ano, foi de 8.889 toneladas (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2013).

### 2.3 MELHORAMENTO GENÉTICO EM *Araucaria angustifolia*

O melhoramento genético é uma das mais valiosas estratégias para o aumento da qualidade e produtividade de espécies cultivadas pelo homem, de forma sustentável e ecologicamente equilibrada (BORÉM, 1997). Tendo em vista a importância econômica das espécies florestais, árvores com características fenotípicas desejáveis vêm sendo selecionadas ao longo do tempo e incorporadas em programas de melhoramento, visando à obtenção de genótipos mais produtivos (GARTLAND et al., 2003). Dentre as espécies nativas mais estudada quanto ao melhoramento e a conservação dos recursos genéticos, a partir da formação de bancos de germoplasma *in situ* e *ex situ* destaca-se a *A. angustifolia* (CARVALHO, 2002). Esses estudos foram realizados com objetivo nortear a regeneração da Floresta com araucária a

conservação e melhoramento genético da espécie e disciplinar os plantios comerciais, seja pela exploração da madeira ou pela venda das sementes comestíveis e de outros subprodutos (STEFENON; NODARI; REIS; 2003). Empresas florestais e instituições públicas investiram em plantios com essa espécie, porém ainda não obtiveram conclusões definitivas sobre o melhoramento (AQUINO, 2005). Isso deve-se ao fato de que até 2009, nenhuma proposta de melhoramento genético para espécie foi colocada em prática e, conseqüentemente, material com qualidade genética para plantios comerciais ainda não se encontravam disponíveis.

No programa de melhoramento genético da araucária, deve-se considerar a ampla área de ocorrência que contribui para a sua diferenciação em raças geográficas e ecótipos (GURGEL FILHO, 1980). Em razão da espécie ocorrer em uma ampla região geográfica no Sul e Sudeste do Brasil, diferenças na fenologia reprodutiva entre as populações são esperadas (ZANON; FINGER; SCHNEIDER, 2009). Diferenças genéticas entre as populações das regiões norte e sul têm sido observadas por vários autores, obtidas por métodos isoenzimáticos (SOUSA; ROBINSON; HATTEMER, 2004) e por marcadores moleculares (STEFENON; GAILING; FINKELDEY, 2007; SOUZA et al., 2009; SOUSA; RICHARDS, 2012).

A principal dificuldade na promoção do melhoramento genético desta espécie surge quando se considera a sua reprodução controlada (SHIMIZU; OLIVEIRA, 1981). As árvores dessa espécie normalmente produzem sementes após 15 a 20 anos de idade e apresenta um longo ciclo reprodutivo. Apesar das dificuldades é imprescindível o conhecimento da biologia reprodutiva, para garantir a produção de sementes melhoradas nos pomares de sementes.

Dentre as diferentes abordagens do melhoramento de plantas destaca-se o processo de melhoramento genético participativo. Essa prática tem por objetivo realizar um processo coletivo onde se valoriza o conhecimento do agricultor no manejo e qualidade do produto, aliado ao conhecimento do melhorista nas técnicas de seleção. Tem por metas o ganho de produtividade, comum ao melhoramento convencional, a conservação e promoção do aumento da biodiversidade, obtenção, desenvolvimento e uso de germoplasma adaptado considerando variedades modernas ou locais dependendo dos objetivos, para grupos de usuários menos favorecidos (agricultores) e produção de sementes (HARDON, 1995). Essa abordagem é muito indicada para espécies nativas como a araucária, que tem grande valor social, ambiental e econômico por décadas, principalmente nas regiões onde ocorre naturalmente.

## 2.4 CONSERVAÇÃO GENÉTICA

Grande parte dos povoamentos naturais de araucária já foram devastados para a exploração da madeira bem como para a expansão da agropecuária e reflorestamentos com espécies exóticas de rápido crescimento (GUBERT FILHO, 1989). Assim, a maioria dos remanescentes encontra-se em forma de fragmentos de variados tamanhos, quase sempre em formações mistas, com espécies folhosas, com densos sub-bosques que dificultam a regeneração natural da araucária (SHIMIZU; JAEGER; SOPCHAKI, 2000).

A fragmentação florestal contribui para a redução do tamanho efetivo populacional ( $N_e$ ) resultando na perda de diversidade genética, aumento do risco de extinção da espécie e endogamia, favorecendo a perda da variabilidade genética. Os efeitos da fragmentação em populações naturais podem comprometer principalmente o potencial evolutivo e a sobrevivência e adaptação das espécies em função mudanças ambientais. Além da variabilidade genética, é imprescindível o conhecimento de sua distribuição entre e dentro de progênes e a proporção da variação fenotípica devido aos efeitos genéticos e ambientais (GUERRA et al., 2009). Essas informações são de fundamental importância para definir estratégias efetivas de conservação e manejo de florestas para o uso sustentável dos seus recursos, e são obtidas a partir das estimativas dos parâmetros genéticos.

Os parâmetros genéticos populacionais podem ser estimados a partir de diferentes caracteres quantitativos e também com o uso de marcadores moleculares. O grau de associação entre os padrões de divergência genética em uma espécie, encontrado com diferentes metodologias, ainda é pouco explorado, apesar de extremamente importante no entendimento sobre os fatores ambientais e evolutivos que atuam em uma população local levando a sua diferenciação genética e fenotípica (AGUIAR, 2004). Além do fluxo de alelos, o tamanho efetivo populacional e o ciclo de vida das espécies também influenciam diretamente na diversidade e estrutura genética das populações (JEONG et al., 2010), e, conseqüentemente na definição da estratégia de conservação.

A estratégia de conservação depende da natureza do material, do objetivo e do alcance da conservação. Deve-se sempre preocupar em avaliar o tamanho adequado das áreas a serem preservadas, bem como o tamanho mínimo viável das populações a serem mantidas (SCHAFFER, 1993). O número de indivíduos necessário para uma população ser considerada viável depende principalmente do número de indivíduos que estão contribuindo com gametas para a próxima geração. O tamanho efetivo populacional geralmente é menor que o tamanho populacional devido a fatores, como variações no número de descendentes por indivíduos,



alterações na razão sexual de 1:1 ou flutuações do tamanho populacional ao longo do tempo (AVISE, 1994).

Além dessas informações, a compreensão dos fatores que afetam a distribuição de uma espécie é muito importante em um programa de conservação. As respostas de espécies arbóreas frente a mudanças ambientais são complexas, sendo que a vulnerabilidade pode ser manifestada em mudanças na floração e germinação das sementes, reduzida regeneração e baixas taxas de crescimento (WREGGE et al., 2009). O reconhecimento das características do ambiente onde uma espécie ocorre pode colaborar na compreensão da sua auto-ecologia, uma vez que os fatores ambientais tais como as condições do clima e do solo, influenciam o desenvolvimento das espécies (PUCHALSKI et al., 2006). Para a araucária, os principais fatores de estresse são o déficit hídrico e temperaturas elevadas (WREGGE et al., 2009). Assim, a variabilidade genética é essencial em características adaptativas para uma população, mantendo a diversidade genética e a adaptações as condições ambientais adversas.

A caracterização dos níveis de variabilidade e estruturação genética são fundamentais para subsidiar as diferentes estratégias de conservação, seja ela *in situ* ou *ex situ*. A conservação *in situ* visa manter parte da variabilidade genética de uma espécie no seu ambiente natural e a *ex situ* fora deste (SEBBENN, 2003a). No caso da *A. angustifolia*, que apresenta restrição ao uso da espécie e baixa regeneração natural, a forma de conservação que mais tem funcionado é conservação “*on farm*” ou conservação pelo uso. Porém, somente essas áreas não garantirão a conservação de todo o recurso necessário para os futuros programas (SOUSA; AGUIAR, 2012). Uma forma segura de conservar esse material é a partir do estabelecimento de novas populações, sob regimes de manejo, em sistemas de produção florestal ou, sob forma de bancos ativos de germoplasma, em locais protegidos, para servirem de reserva de material genético para futuras plantações ou regenerações naturais (SHIMIZU; JAEGER; SOPCHAKI, 2000). O incentivo ao plantio, baseado em estudos de manejo e melhoramento florestal e outras áreas importantes, deverá reduzir a pressão sobre os remanescentes naturais. Um outro desafio é a busca por um programa de gestão florestal, que vislumbre a conservação e a recuperação dos remanescentes florestais de araucária, sem onerar de forma excessiva a região de influência, nem refrear o crescimento econômico do setor agroflorestal (PIRES; ZENI JUNIOR; GAULKE, 2012).

## 2.5 TAMANHO EFETIVO POPULACIONAL

Em termos genéricos pode-se dizer que o tamanho efetivo populacional refere-se ao tamanho genético de uma população reprodutiva e não ao número de indivíduos que a compõe (RESENDE; SIMEÃO; STURION, 1997). Esse parâmetro é considerado em genética evolutiva e quantitativa uma medida fundamental na representatividade de uma amostra de indivíduos, pois revela os efeitos da endogamia e deriva genética nas frequências dos alelos que ocorrem na população senso (WANG, 1997; VENCOVSKY; CHAVES; CROSSA, 2012).

O tamanho efetivo populacional é dependente dos níveis de endogamia e parentesco nas amostras, sendo que quanto maiores estes níveis, menor é a representatividade genética da mesma (VENCOVSKY, 1997). Isso influencia diretamente na manutenção da estrutura genética de uma população ao longo de gerações. Nesse sentido, a delimitação correta da população de referência, ou seja, do grupo de indivíduos que se pretende representar, é essencial para obtenção de valores adequados para o tamanho efetivo populacional (AGUIAR, 2004). Além disso, os valores adequados de tamanho efetivo populacional, depende dos objetivos adotados na pesquisa, pois a representatividade de indivíduos a ser considerado visando a conservação genética não é a mesma para o melhoramento genético. O tamanho da população e as suas flutuações, proporção desigual entre os sexos, número de descendentes amostrado, a média e a variação no número de gametas contribuídos por genitor, e desvios das proporções Hardy-Weinberg estão entre os principais fatores que alteram o tamanho efetivo populacional (VENCOVSKY; CHAVES; CROSSA, 2012).

Os valores adequados do tamanho efetivo populacional a serem adotados tanto para conservação quanto para o melhoramento genético são determinados em função, da prevenção da depressão endogâmica e da manutenção do potencial evolutivo. Segundo Nunney e Campbell (1993), o tamanho da população deve ser na ordem de 150, visando a conservação a curto prazo. Para a retenção de alelos com frequência 1% esse tamanho efetivo populacional deve ser utilizado (VENCOVSKY, 1987). Entretanto, para a prevenção de depressão endogâmica um tamanho efetivo populacional de 50 é suficiente a uma taxa de 1% por geração, considerando 10 gerações (FRANKEL; SOULÉ, 1981). Esse tamanho efetivo populacional conserva muitos dos genes de uma população e pode ser suficiente para evitar os danos da depressão endogâmica em curto prazo, mas não é suficiente para manter por longo tempo grande proporção da variação genética (SEBBENN, 2003a).

## 2.6 PROPORÇÃO SEXUAL EM ESPÉCIES DIOICAS

A interpretação da estrutura populacional em espécies dioicas requer informações sobre proporção sexual (SOUSA; ROBINSON, HATTEMER, 2004). A proporção sexual é muito importante para a genética de populações de plantas (SINCLAIR; EMLLEN; FREEMAN, 2012), tanto para a conservação da variabilidade quanto para a genética da espécie, pois está diretamente relacionada com o tamanho efetivo da população ( $N_e$ ), que representa seu tamanho genético (MURAKAMI, 2002). Assim, a razão sexual enviesada serve para reduzir o tamanho efetivo populacional, o que pode levar a gargalos genéticos (SINCLAIR; EMLLEN; FREEMAN, 2012). Finkeldey (1999) sugere que as possíveis causas para ocorrência de diferentes proporções de sexos em populações dioicas podem ser causadas pelas diferenças no crescimento, idade de maturação ou longevidade entre os dois sexos. Uma proporção desbalanceada de sexos implica na contribuição desigual do número de gametas favorecendo o sexo mais abundante (ZANON, 2007). A diferença no crescimento, e particularmente, a diferença entre o tamanho dos indivíduos adultos em função do sexo, podem resultar no corte de árvores de um dos sexos que cresceu mais, alterando a proporção natural do sexo (MURAKAMI, 2002).

Com o objetivo de determinar a proporção sexual em espécies dioicas, estudos têm sido realizados com araucária (SOUSA; ROBINSON; HATTEMER, 2004; ZANON; FINGER; SCHNEIDER, 2009; FIGUEIREDO FILHO et al., 2015), erva-mate (STURION; RESENDE; MENDES; 1995) e aroeira (BERTONHA et al., 2016). A proporção de indivíduos masculinos e femininos de araucária tem-se mostrado significativamente equilibrada de 1:1 em distintos povoamentos naturais e plantados (SOUSA, 2001; PALUDO et al., 2009). Para programas de melhoramento genético da espécie é importante manter essa proporção, visando a manutenção do equilíbrio gamético da população (SOUSA; AGUIAR, 2012). Assim, o conhecimento da proporção de sexual de espécies dioicas constitui-se numa importante ferramenta para estabelecer um plano de manejo, de forma a garantir a variabilidade genética e para programas de melhoramento genético e conservação de germoplasma.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

Foram avaliadas três áreas experimentais de *A. angustifolia*. Estas áreas experimentais foram implantadas pela Embrapa Florestas juntamente com seus parceiros, no ano de 1980, no município de Colombo, PR. As áreas experimentais são compostas por diferentes números de procedências e progênies (Tabela 1) representantes das regiões Sul e Sudeste do Brasil. O município de Colombo-PR está localizado nas coordenadas 25° 19" S e 49° 09" W a 950 m de altitude. O solo desta região é classificado como cambissolo distrófico saprolito, de textura média, com baixa fertilidade (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA, 2013). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfb, caracterizado como temperado, fresco no verão, com temperatura média inferior a 22° C. O índice pluviométrico anual varia entre 1.400 mm e 1.600 mm.

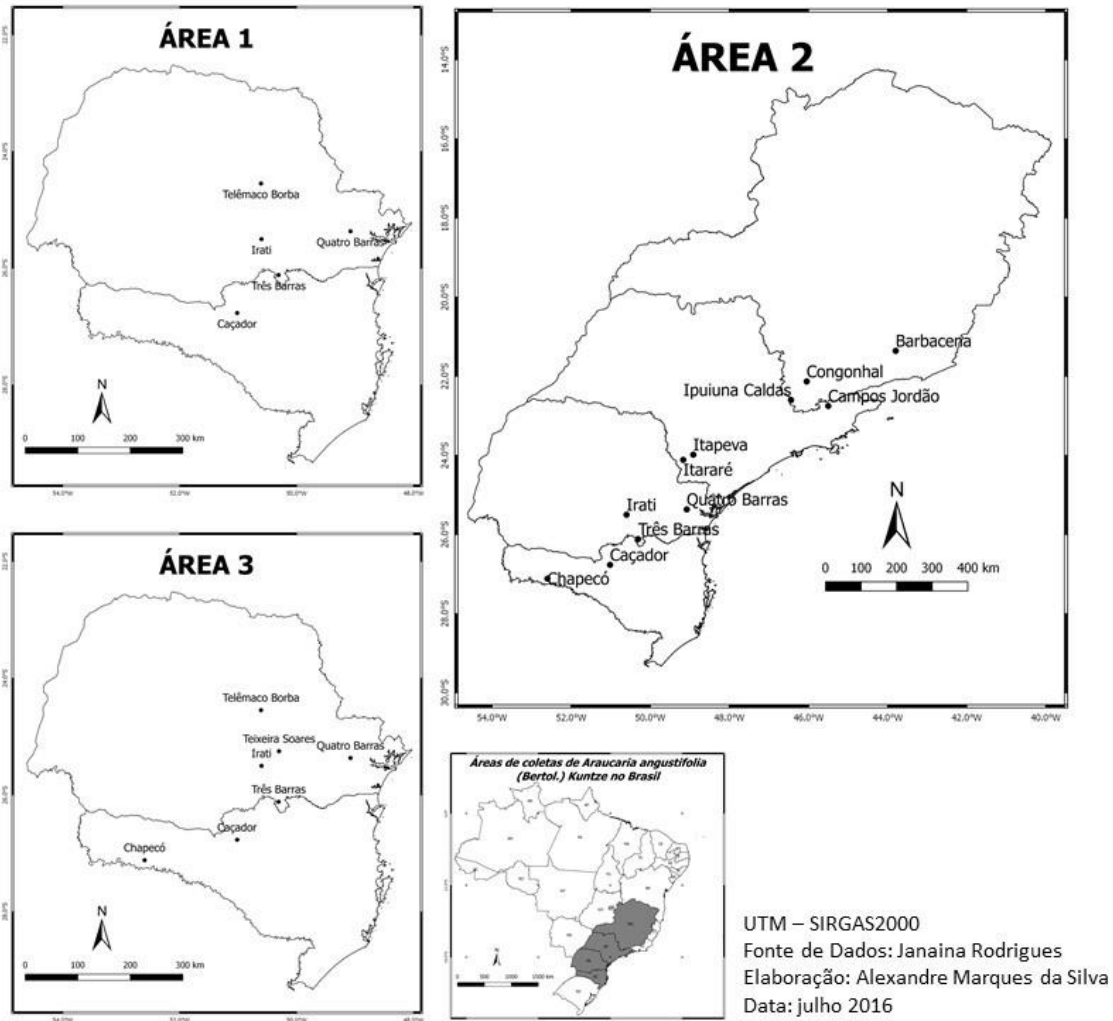
Para a implantação das áreas experimentais foi utilizado o delineamento em blocos de progênies compactadas (DBFC), com parcelas subdividas. A área 1 é composta por 25 progênies, 16 repetições, com parcelas de uma planta, no espaçamento 3 m x 2 m. A área 2, composta por, 110 progênies, 2 repetições e 10 plantas por parcela, no espaçamento 3 m x 2 m e a área 3, composta por, 50 progênies, 6 repetições, 3 plantas por parcela e espaçamento de 3 m x 1,5 m. Após o desbaste seletivo (em torno de 50%) em 2001, permaneceu em cada área experimental em torno de uma planta de cada progênie por bloco.

**Tabela 1**– Número de progênies, coordenadas geográficas, altitude e características dos locais de origem das procedências de *A. angustifolia* nas áreas experimentais em Colombo-PR, em 1980.

Áreas	Procedências	Número progênies	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Precipitação (mm)	Temperatura Média (°C)
<b>Área 1</b>	Caçador, SC	5	26° 46' 00"	51° 01' 00"	1100	1707	16,3°
	Irati, PR	5	25° 30' 00"	50° 36' 00"	790	1476	17,5°
	Quatro Barras, PR	5	25° 21' 56"	49° 04' 37"	915	1602	17,0°
	Telêmaco Borba, PR	5	24° 32' 44"	50° 61' 64"	780	1378	18,4°
	Três Barras, SC	5	26° 06' 57"	50° 18' 29"	560	1440	17,1°
<b>Área 2</b>	Barbacena, MG	7	21° 22' 64"	43° 77' 42"	1205	1482	18,8°
	Caçador, SC	9	26° 46' 00"	51° 01' 00"	960	1707	16,3°
	Campos do Jordão, SP	10	22° 45' 00"	45° 30' 00"	1800	1797	13,6°
	Chapecó, SC	7	27° 07' 00"	52° 36' 00"	675	1997	18,9°
	Congonhal, MG	6	22° 07' 52"	46° 02' 37"	854	1443	19,9°
	Ipuiúna de Caldas, MG	14	22° 09' 91"	46° 17' 69"	1300	1605	18,3°
	Irati, PR	8	25° 30' 00"	50° 36' 00"	880	1476	17,5°
	Irati (tardio), PR*	10	25° 30' 00"	50° 36' 00"	880	1476	17,5°
	Itapeva, SP	10	23° 58' 56"	48° 54' 45"	930	1254	18,9°
	Itararé, SP	10	24° 06' 45"	49° 10' 00"	930	1306	19,0°
	Quatro Barras, PR	10	25° 21' 56"	49° 04' 37"	915	1602	17,0°
Três Barras, SC	9	26° 06' 57"	50° 18' 29"	760	1440	17,1°	
<b>Área 3</b>	Caçador, SC	9	26° 46' 00"	51° 01' 00"	1100	1707	16,3°
	Chapecó, SC	2	27° 07' 00"	52° 36' 00"	675	1997	18,9°
	Irati, PR	9	25° 30' 00"	50° 36' 00"	880	1476	17,5°
	Quatro Barras, PR	10	25° 21' 56"	49° 04' 37"	915	1602	17,0°
	Teixeira Soares, PR	6	25° 15' 00"	50° 18' 00"	916	1479	17,4°
	Telêmaco Borba, PR	8	24° 32' 44"	50° 61' 64"	780	1378	18,4°
	Três Barras, SC	6	26° 06' 57"	50° 18' 29"	760	1440	17,1°

\* Sementes coletadas em árvores que produziram tardiamente. Fonte: o próprio autor

**Figura 4** – Regiões de coletas de sementes de *A. angustifolia* para a instalação das áreas experimentais 1, 2 e 3 em Colombo-PR.



Fonte: o próprio autor.

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Coleta de dados e avaliações dos caracteres de crescimento

Aos 30, 32 e 33 anos de idade as árvores remanescentes de cada área experimental foram avaliadas com relação aos seguintes caracteres: circunferência à altura do peito (CAP- cm), altura total de plantas (ALT- m), diâmetro médio de copa (DMC- m) e espessura da casca (ESP- cm). Com base na altura total e a circunferência à altura do peito foi calculado o volume cilíndrico ( $m^3 \cdot \text{árv}^{-1}$ ), conforme as expressões abaixo:

a) Diâmetro à altura do peito (DAP):

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

DAP = diâmetro à altura do peito;

CAP = circunferência à altura do peito.

b) Volume (VOL):

$$VOL = \frac{\pi(DAP)^2 \cdot FF}{40000} ALT$$

ALT = altura total;

DAP = diâmetro à altura do peito;

FF = fator de forma do fuste (0,6) (SANQUETTA, 2016).

c) Diâmetro médio de copa (DMC):

$$DMC = \frac{L1 + L2}{2}$$

L1: leitura na linha;

L2: leitura na entrelinha.

Para a avaliação dos caracteres de crescimento foram utilizados os seguintes instrumentos: *i*) fita métrica graduada em 0,1 cm para a circunferência à altura do peito; *ii*) hipsômetro *Forestor Vertex* composto por um emissor (vertex propriamente dito) e um

transponder (mantido a altura de 1,30 m do solo e que funciona como emissor/receptor de ultrasons), para a altura total; *iii*) trena para o diâmetro médio de copa; *iv*) trado de incremento e um paquímetro para avaliar a espessura da casca das árvores.

### 3.2.2 Coleta de dados e avaliações das pinhas e pinhões

No ano de 2013, foram coletadas oito pinhas maduras e inteiras de todas as árvores matrizes das áreas experimentais 1 e 2. O caráter avaliado das pinhas foi o peso médio (PMP – kg). Além disso, para cada pinha avaliou-se o número de pinhões (NPP); peso unitário pinhão (PP- g), peso médio de pinhões por pinhas (PMPP- kg) e o peso das sementes vazias (PC).

### 3.2.3 Estimativas dos parâmetros genéticos e análise de *deviance*

As estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos dos caracteres de crescimento foram obtidas pelo método REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viciada), aplicando-se o *software* genético-estatístico SELEGEN-REML/BLUP (RESENDE, 2007). Foi empregado o modelo 5 (modificado para uma planta por parcela), considerando o delineamento em blocos completos ao acaso, várias populações, várias progênes, uma planta por parcela e um só local. Foram realizadas análises de *deviance* para determinar o padrão de variância entre procedências e progênes para todos os caracteres avaliados, para cada área experimental conforme o modelo proposto por Resende (2007):  $y = Xr + Za + Wp + Ts + e$ ; em que:  $y$  é o vetor de dados;  $r$  é o vetor dos efeitos de repetição (fixos) somados à média geral;  $a$  é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (aleatórios);  $p$  é o vetor dos efeitos de parcelas (fixos);  $s$  é vetor dos efeitos de populações ou procedências (aleatórios);  $e$  é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Com a proposta de verificar os efeitos da variação considerando somente as procedências foi empregado o delineamento em blocos completos, várias populações, sem estrutura de progênes, um só local (modelo 24) (RESENDE, 2007):  $y = Xr + Zg + Wp + e$ ; em que:  $y$  é o vetor de dados,  $r$  é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados a média geral,  $g$  é o vetor dos efeitos genotípicos de populações (assumidos como aleatórios),  $p$  é o vetor dos efeitos de parcela,  $e$  é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. A partir do modelo 5 foi realizada a análise de deviance (ANADEV) para os efeitos aleatórios bem como



um teste F para os efeitos fixos do modelo. Os efeitos aleatórios do modelo misto com dados aleatórios bem como um teste F para os efeitos fixos do modelo. Os efeitos aleatórios do modelo misto com dados desbalanceados foram testados via teste da razão de verossimilhança (LTR).

As equações do modelo 5 para as distribuições e estruturas de médias e variâncias são:

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

$$a|A, \hat{\sigma}_a^2 \sim N(0, A \hat{\sigma}_a^2)$$

$$r|\hat{\sigma}_r^2 \sim N(0, I \hat{\sigma}_r^2)$$

$$e|\hat{\sigma}_e^2 \sim N(0, I \hat{\sigma}_e^2)$$

Cov(a, r') = 0; Cov(a, e') = 0; Cov(r, e') = 0, ou seja:

$$E \begin{bmatrix} y \\ a \\ r \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} e \quad \text{Var} \begin{bmatrix} a \\ r \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\hat{\sigma}_a^2 & 0 & 0 \\ 0 & I\hat{\sigma}_r^2 & 0 \\ 0 & 0 & I\hat{\sigma}_e^2 \end{bmatrix}$$

$$\text{Var}(y) = ZA\hat{\sigma}_a^2Z' + QI\hat{\sigma}_r^2Q' + I\hat{\sigma}_e^2$$

As equações do modelo misto são:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'Q \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}\lambda_1 & Z'Q \\ Q'X & Q'Z & Q'Q + 1\lambda_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{a} \\ \hat{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ Q'y \end{bmatrix} \text{ em que:}$$

$$\lambda_1 = \frac{\hat{\sigma}_c^2}{\hat{\sigma}_a^2} = \frac{1-h^2-r^2}{h^2};$$

$$\lambda_3 = \frac{\hat{\sigma}_c^2}{\hat{\sigma}_r^2} = \frac{1-h^2-r^2}{r^2};$$

$$h^2 = \frac{\hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_r^2 + \hat{\sigma}_e^2}; \text{ Herdabilidade individual no sentido restrito.}$$

$$r^2 = \frac{\hat{\sigma}_r^2}{\hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_r^2 + \hat{\sigma}_e^2}; \text{ Correlação fenotípica intraclasses entre indivíduos de uma mesma procedência, em diferentes blocos.}$$

$y$ : vetor de dados;

$b$ : vetor de dados dos efeitos fixos (blocos);

$a$ : vetor de dados dos efeitos aleatórios genéticos aditivos;

$r$ : vetor de populações;

$X, Z$  e  $Q$ : matrizes de incidência dos respectivos efeitos.

As equações do modelo 24 para as distribuições e estruturas de médias e variâncias são:

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

$$a|A, \hat{\sigma}_a^2 \sim N(0, \hat{\sigma}_a^2)$$

$$r|\hat{\sigma}_r^2 \sim N(0, I \hat{\sigma}_r^2)$$

$$e|\hat{\sigma}_e^2 \sim N(0, I \hat{\sigma}_e^2)$$

Cov (a, r') = 0; Cov (a, e') = 0; Cov (r, e') = 0, ou seja:

$$E \begin{bmatrix} y \\ a \\ r \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} e \quad \text{Var} \begin{bmatrix} y \\ a \\ r \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V & ZG & Q\mathfrak{R} & R \\ GZ' & G & 0 & 0 \\ \mathfrak{R}Q' & 0 & \mathfrak{R} & 0 \\ R & 0 & 0 & R \end{bmatrix}$$

$$G = A \hat{\sigma}_a^2$$

$$R = I \hat{\sigma}_e^2$$

$$\mathfrak{R} = I \hat{\sigma}_r^2$$

$$\text{Var} (y) = ZA \hat{\sigma}_a^2 Z' + QI \hat{\sigma}_p^2 Q' + I \hat{\sigma}_e^2.$$

As equações do modelo misto são:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'Q \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}\lambda_1 & Z'Q \\ Q'X & Q'Z & Q'Q + 1 \lambda_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{a} \\ \hat{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ Q'y \end{bmatrix} \text{ em que:}$$

$$\lambda_1 = \frac{\hat{\sigma}_e^2}{\hat{\sigma}_a^2} = \frac{1-h^2-r^2}{h^2}; \quad \lambda_3 = \frac{\hat{\sigma}_e^2}{\hat{\sigma}_r^2} = \frac{1-h^2-r^2}{r^2};$$

$$h^2 = \frac{\hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_r^2 + \hat{\sigma}_e^2}; \text{ Herdabilidade individual no sentido restrito no bloco, em uma dada medição}$$

$$r^2 = \frac{\hat{\sigma}_r^2}{\hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_r^2 + \hat{\sigma}_e^2}; \text{ Coeficiente de determinação dos efeitos de procedência.}$$

Estimadores dos componentes de variância REML via algoritmo EM

$$\hat{\sigma}_e^2 = [y'y - \hat{b}' X'y - \hat{a}' Z'y - \hat{r}' Q'y] / [N - r(x)]$$

$$\hat{\sigma}_a^2 = [\hat{a}' A^{-1} + \hat{\sigma}_e^2 \hat{a}' \text{tr} (A^{-1} C^{22})] / q$$

$$\hat{\sigma}_r^2 = [\hat{r}' r + \hat{\sigma}_e^2 + \text{tr} C^{33}] / t, \text{ em que: } C^{22} \text{ e } C^{33} \text{ advém de:}$$

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

em que:  $C^{22}$  vem da inversa de C; C: matriz dos coeficientes das equações de modelo misto;  $tr$ : operador traço matricial;  $r(x)$ : posto da matriz X; N e q: números de dados e de indivíduos, respectivamente.

Os demais parâmetros genéticos processados pelo programa a partir do modelo 5 foram:

a) Herdabilidade individual no sentido restrito, ou seja, dos efeitos aditivos;

$$\hat{h}_a^2 = \frac{\hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_f^2};$$

b) Coeficiente de variação genética aditiva individual;

$$CV_{gi}(\%) = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_a^2}}{\hat{m}} \cdot 100$$

$\hat{m}$  é a média geral do caráter.

c) Coeficiente de variação genotípica entre progênies;

$$CV_{gp}(\%) = \frac{\sqrt{0,25 \cdot \hat{\sigma}_a^2}}{\hat{m}} \cdot 100;$$

d) Coeficiente de variação experimental;

$$CV_e(\%) = \frac{\sqrt{[(0,75 \cdot \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2) / n] + \hat{\sigma}_c^2}}{\hat{m}} \cdot 100;$$

Os demais parâmetros genéticos processados pelo programa a partir do modelo 24 foram:

a) Herdabilidade individual dos efeitos genotípicos totais;

$$\hat{h}_g^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_p^2};$$

b) Acurácia da seleção de progênies, assumindo sobrevivência completa:

$$r_{\hat{a}a} = \sqrt{\frac{n}{n + \left(\frac{4 - h_a^2}{h_a^2}\right)}};$$

Onde  $n$  é o número de indivíduos por progênie e  $\hat{h}_a^2$  herdabilidade individual no sentido restrito.

### 3.2.4 Estimativas de ganhos genéticos, tamanho efetivo populacional e variação genética

( $Q_{ST}$ )

Para selecionar genótipos superiores visando à formação pomares de sementes por muda foram simuladas duas diferentes intensidades de seleção pela classificação BLUP de cada uma das áreas experimentais. As estimativas de ganhos na seleção foram realizadas objetivando a seleção dos indivíduos com base no diâmetro à altura do peito (DAP 32). O ganho genético por seleção foi estimado pela seguinte expressão:

$$\hat{G}_s \% = \left( \frac{\sum \hat{a}}{\sum kf} \right) \div \hat{m}$$

em que  $\hat{a}$  corresponde os valores genéticos preditos individuais (BLUP) e  $\hat{m}$  é a média geral do caráter.

As estratégias de seleção utilizadas para a formação de pomares de sementes por mudas foram: *i*) a seleção individual dos 50 melhores indivíduos de cada área experimental que apresentaram as maiores estimativas de valores genéticos aditivos preditos, assim foram selecionados aproximadamente 26%, 24% e 17% dos indivíduos das áreas 1, 2 e 3, respectivamente e *ii*) a seleção dos 80 melhores indivíduos que apresentaram as maiores estimativas de valores genéticos aditivos preditos, correspondendo a seleção de 41%, 38% e 27% dos indivíduos, nas áreas 1, 2 e 3, respectivamente. Para ambas as estratégias, durante o processo de seleção não foi considerado o mesmo número de indivíduos por progênie e a proporção sexual utilizada foi de 1:1, que foi proporção encontrada por autores como Bandel e Gurgel (1967) e Paludo et al. (2009) para populações naturais de araucária.

Para monitorar a variabilidade genética após os ciclos de seleção e com isso evitar a perda da variabilidade genética excessiva, após a aplicação das duas estratégias de seleção foram estimados o tamanho efetivo populacional ( $N_e$ ) e a diversidade genética ( $D$ ).

A expressão para estimar o tamanho efetivo populacional foi descrita por Vencovsky et al. (2012) para espécies dioicas:

$$N_e = \frac{4t}{D4}$$

sendo:

$$D4 = \frac{1}{r(1-r)} \frac{Nf}{2Nf-1} + \left( \frac{Nf}{r(1-r)} \frac{Nm}{2Nm-1} \right) + \frac{Nf}{2Nf-1} \frac{2}{F} [(1-u)t-1] + \frac{Nm}{2Nm-1} \frac{2}{M} [(1-v)t-1]$$

$f$ : número de árvores do sexo feminino selecionadas;

$m$ : número de árvores do sexo masculino selecionadas;

$t$ : número de indivíduos selecionados, sendo obtido:  $t = f + m$ ;

$r$ : razão sexual dos indivíduos, considerado  $r = 0,5$ ;

$Nf$  : número de pais funcionais do sexo feminino da população de referência (75% da população de referência);

$Nm$ : número de pais funcionais do sexo masculino da população de referência (75% da população de referência);

$M$ : número pais funcionais do sexo masculino;

$F$ : número pais funcionais do sexo feminino;

$u$  e  $v$ : fração de pais funcionais do sexo feminino e masculino, respectivamente, da população de referência, de tal modo que a fração, sendo:

$$u = \frac{F}{Nf} \text{ em que: } (0 < u \leq 1)$$

$$v = \frac{M}{Nm} \text{ em que: } (0 < v \leq 1)$$

A diversidade genética, após a seleção, foi quantificada conforme Wei e Lindgren (1996), citados por Resende (2002):

$$D = \frac{N_{ef}}{N_{fo}} \text{ em que: } (0 < D \leq 1)$$

$N_{fo}$  = número original de progênies;

$N_{ef}$  = número efetivo de progênies selecionadas, sendo dado por:

$$N_{ef} = \frac{(\sum k_f)^2}{\sum k_f^2}$$

$k_f$ : o número médio de indivíduos selecionados por progênie.

Utilizando os componentes de variância obtidos no modelo 5 também foi estimado o parâmetro diferenciação populacional  $Q_{ST}$  proposto por (SPITZE, 1993), que mede a diferenciação genética quantitativa entre procedências e progênies, para cada caráter avaliado, sendo:

$$\hat{Q}_{ST_{prog}} = \frac{\hat{\sigma}_{prog}^2}{\hat{\sigma}_{proc}^2 + \hat{\sigma}_{prog}^2} \quad \text{e} \quad \hat{Q}_{ST_{proc}} = \frac{\hat{\sigma}_{proc}^2}{\hat{\sigma}_{proc}^2 + \hat{\sigma}_{prog}^2}$$

sendo:

$$\hat{\sigma}_{prog}^2 = \frac{\hat{\sigma}_a^2}{4}$$

$\hat{Q}_{ST_{proc}}$ : proporção da variância genética entre as procedências;

$\hat{Q}_{ST_{prog}}$ : proporção da variação genética entre as progênies;

$\hat{\sigma}_{proc}^2$ : componente de variância genética entre as procedências;

$\hat{\sigma}_{prog}^2$ : componente de variância genética entre as progênies dentro de populações;

$\hat{\sigma}_a^2$ : variância genética aditiva.

### 3.2.5 Estatística descritiva

A produção de pinhão nas áreas experimentais 1 e 2 ainda é muito baixa. No ano de 2013 foram coletadas sementes de apenas 8 matrizes (área 1) e 19 matrizes (área 2) visto que a produção foi baixa comparada a outros anos. Os dados coletados dessas populações

possibilitaram apenas uma análise descritiva. Assim, foram calculados as médias, valores máximos e mínimos e desvios padrões de cada caráter.

### 3.2.6 Correlação fenotípica e genética

Foram estimadas as correlações genotípicas e fenotípicas entre os caracteres de crescimento, diâmetro da copa e espessura da casca. Somente a correlação fenotípica foi estimada entre esses e os de produção de pinhão. Para estas estimativas de desses parâmetros foram utilizados os modelos 105 e 102 para correlação fenotípica e genética, respectivamente, conforme Software Selegen (RESENDE, 2007) e as fórmulas a seguir:

$$\hat{r}_{g_{xy}} = \frac{COV_{g_{xy}}}{\sqrt{\sigma^2 g_x \sigma^2 g_y}} \quad \text{e} \quad \hat{r}_{f_{xy}} = \frac{COV_{f_{xy}}}{\sqrt{\sigma^2 f_x \sigma^2 f_y}} \quad \text{onde:}$$

$\hat{r}_{g_{xy}}$  e  $\hat{r}_{f_{xy}}$ : coeficiente de correlação genética e fenotípica entre os caracteres x e y;  
 $\sigma^2 g_x, \sigma^2 g_y, \sigma^2 f_x, \sigma^2 f_y$ : variâncias genéticas e fenotípicas dos caracteres x e y;  
 $COV_{g_{xy}}$  e  $COV_{f_{xy}}$ : covariância genética e fenotípica entre os caracteres x e y.

A significância das correlações fenotípicas e genéticas foram verificadas pelo teste *t* baseado no intervalo de confiança de 99%. Para tanto foi utilizado o software estatístico R version 3.2.0.

### 3.2.7 Análise de distâncias entre procedências

Para investigar os padrões de variação espacial foi estimado o coeficiente de Pearson (*r*) entre as matrizes de Mahalanobis e de distâncias geográficas entre as procedências. A matriz de distância generalizada de Mahalanobis ( $D^2$ ), foi obtida a partir dos dados de todos os caracteres de crescimento, diâmetro de copa e espessura da casca. Segundo Cruz, Regazzi e Carneiro (2004)  $D^2$  é dada pela expressão:

$$D^2 = \delta' \psi \delta$$

Em que:  $D_{ii}^2$  = distância de Mahalanobis entre os genótipos  $i$  e  $i'$ ;  $\delta' = [d_1, d_2, \dots, d_v]$ , sendo  $d_j = Y_{ij} - Y_{i'j}$ ;  $\psi$  = matriz de variâncias e covariâncias residuais;  $Y_{ij}$  = média do  $i$ -ésimo genótipo em relação à  $i$ -ésima variável.

A significância dessa correlação foi verificada pela estatística  $Z$  de Mantel, com 999 permutações aleatórias. Para essa análise foi utilizado o software estatístico R version 3.2.0, o teste foi baseado no intervalo de confiança de 99%, de tal modo que os valores de  $p \leq 0,01$  foram considerados estatisticamente significativos.

A divergência genética entre os acessos foi avaliada por análises de agrupamento aplicadas às médias dos acessos. Com a matriz de distância de Mahalanobis estimada pelo software genético estatístico SELEGEN REML/BLUP (RESENDE, 2007). A estrutura espacial da variação fenotípica foi verificada usando o método de agrupamento UPGMA (Unweighted Pair-Group Method using Arithmetic Averages) a qual utiliza as médias aritméticas (não ponderadas). Para realizar esta análise foi utilizado o software estatístico R version 3.2.0.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE DOS CARACTERES DE CRESCIMENTO

#### 4.1.1 Análise de deviance

Após o desbaste seletivo realizado em 2001 permaneceram nas áreas 1, 2 e 3 um total de 195, 210 e 290 indivíduos, respectivamente. Cada progênie continha em torno de uma árvore por bloco. Na análise de deviance foram considerados o total de indivíduos de cada área. Diferenças significativas para o efeito de progênies foi encontrada para todos os caracteres avaliados nas áreas 1 e 2, com exceção para o DMC 33 (área 1) e ALT 32, DMC 33 e ESP 33 (área 2). Esta diferença observada entre progênies significa que o desbaste seletivo não restringiu a variabilidade genética dessas populações, existindo progênies com desenvolvimento superior. Assim, indivíduos das procedências e/ou progênies de maiores valores genéticos poderão ser selecionados para inclusão em ciclos subsequentes de melhoramento genético, bem como para comporem pomares de sementes. Por outro lado, diferenças entre progênies para os caracteres de crescimento não foram observadas na área 3. Porém, para fins de conservação do germoplasma e próximos ciclos de melhoramento, com base nesses resultados, pode-se sugerir a coleta de sementes nessa área para compor povoamentos. Pressupondo-se que nessa área experimental exista variação genética para outros caracteres a ser explorada, a qual permitirá avanços significativos com a seleção de materiais selecionados adequadamente.

Diferenças significativas foram observadas para os efeitos de procedências para os caracteres DMC 33 (área 1); ALT 32, VOL 32, DMC 33 e ESP 33 (área 2) e ALT 32 (área 3). Essas diferenças para alguns dos caracteres avaliados, sugerem a existência de raças geográficas na espécie, visto que, para a instalação das áreas experimentais foram utilizadas sementes de 14 origens, abrangendo grande parte da área de ocorrência natural da espécie.

Considerando as diferentes condições edafoclimáticas dos locais de coleta de sementes de *A. angustifolia* para a instalação das áreas experimentais, é esperado que ocorram diferenças genéticas significativas entre as procedências. As diferenças entre latitudes, clima, índices pluviométricos entre as localidades de coletas de sementes, podem originar, a partir das forças evolucionárias indivíduos com características de adaptação local. Estudos realizados com características morfométricas de *A. angustifolia*, detectaram diferenças significativas em nível de progênies (KAGEYAMA; JACOB, 1980; DUARTE et al., 2012) e procedências (SHIMIZU,

1999; SEBBENN et al., 2004) de progênies (KAGEYAMA; JACOB, 1980; DUARTE et al., 2012) e procedências (SHIMIZU, 1999; SEBBENN et al., 2004). Em estudos baseados em dados de marcadores genéticos, também foram constatadas diferenças significativas entre procedências da espécie (SOUSA; ROBINSON, HATTEMER, 2004; STEFENON; FINKELDEY, 2007; FERREIRA et al., 2012; SOUSA; RICHARDS, 2012).

**Tabela 2**– Teste da razão de verossimilhança (LRT) entre procedências e progênes de *A. angustifolia* para caracteres de crescimento avaliados aos 30, 32 e 33 anos de idade, nas áreas experimentais em Colombo-PR.

Caracteres	LRT					
	Área 1		Área 2		Área 3	
	Procedências	Progênes	Procedências	Progênes	Procedências	Progênes
<b>DAP 30(cm)</b>	0,52 <sup>ns</sup>	8,91 <sup>**</sup>	1,44 <sup>ns</sup>	2,61 <sup>*</sup>	-	-
<b>DAP 32 (cm)</b>	0,63 <sup>ns</sup>	8,09 <sup>**</sup>	1,28 <sup>ns</sup>	2,59 <sup>*</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	2,09 <sup>ns</sup>
<b>ALT 32 (m)</b>	0,35 <sup>ns</sup>	3,68 <sup>**</sup>	13,46 <sup>**</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	4,16 <sup>*</sup>	1,16 <sup>ns</sup>
<b>VOL 32 (m<sup>3</sup>)</b>	0,60 <sup>ns</sup>	9,96 <sup>**</sup>	2,82 <sup>*</sup>	2,77 <sup>*</sup>	1,95 <sup>ns</sup>	1,37 <sup>ns</sup>
<b>DMC 33 (m)</b>	2,99 <sup>*</sup>	0,92 <sup>ns</sup>	3,69 <sup>*</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	-	-
<b>ESP 33 (cm)</b>	0,01 <sup>ns</sup>	9,39 <sup>**</sup>	3,09 <sup>*</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	-	-

LRT: teste da razão de verossimilhança; valores tabelados de qui-quadrado: \*\* e \* significativo a 1% e 5% com 0,5 grau de liberdade; <sup>ns</sup> não significativo. DAP 30 (cm); DAP 32 (cm): diâmetro a altura do peito aos 30 e 32 anos; ALT 32 (m): altura total aos 32 anos; VOL 32: volume total avaliado aos 32 anos; DMC 33 (m): diâmetro médio da copa aos 33 anos; ESP 33 (cm): espessura da casca aos 33 anos de idade. Fonte: o próprio autor.

#### 4.1.2 Variação genética entre procedências e progênes

Os resultados da distribuição da variação genética entre procedências e progênes demonstraram que a maior parte da variação encontra-se entre progênes nas áreas 1 e 3 (Tabela 3). Na área 2, a maior parte da variação ocorre entre procedências para os caracteres ALT 32 (0,97), DMC 33 (0,88) e ESP 33 (0,74). Embora a maior parte da variação encontra-se dentro de progênes, para aproximadamente 67% dos caracteres avaliados de *A. angustifolia* nas três áreas experimentais, a porcentagem entre procedências (33%) deve ser considerada.

A maior parte da variação genética entre progênes também foi constatada por vários autores (SEBBENN; KAGEYAMA; ZANATTO, 2001; SEBBENN, 2003c). Alberto et al. (2013) ao realizar uma revisão sobre ensaios de coníferas, verificaram que as estimativas de diferenciação genética entre populações pequenas ou de fragmentos de várias espécies foram baixas sobre todas as características. Esse padrão está de acordo com o esperado em espécies polinizadas pelo vento, de vida longa e reprodução predominante por cruzamentos (HAMRICK, 1983), como no caso de *A. angustifolia* (SEBBENN; KAGEYAMA; ZANATTO, 2001). A variação dentro de procedências, a partir de marcadores morfológicos e moleculares, foi constatada por Trindade e Chaves (2005) ao avaliarem 13 procedências de cagaiteira. Moura (2011), detectou maior variação entre procedências para cerca de 75% dos caracteres avaliados dos frutos e progênes de *Caryocar brasiliense*, reforçando a hipótese de que plantas provenientes de regiões distantes geograficamente apresentam grande variabilidade e podem responder diferentemente no ambiente do experimento dependendo do caráter avaliado. De toda a variação detectada para o caráter diâmetro médio de copa (DMC 33), a maior parte da diferença encontra-se entre procedências. Esse resultado indica que grande parte da variação genética quantitativa observada para o caráter entre as procedências é fortemente influenciado pela região geográfica de origem dos indivíduos.

A variação tanto entre procedências quanto entre progênes para os caracteres quantitativos deve ser considerada para efeitos de amostragem a partir dos resultados obtidos. Diferenças genéticas importantes, entre procedências, podem ser exploradas nos programas de melhoramento genético de araucária, as que apresentam as características desejadas. Sugere-se que a variação genética entre procedências deve ser grande, pela ampla distribuição natural da espécie, e uma substancial variação genética entre elas foi detectada mesmo avaliando-se 14 procedências.

De acordo com Solé-Cava (2001), as populações de espécies ameaçadas de extinção encontram-se frequentemente estruturadas. Em geral, a degradação ambiental leva a formação de fragmentos, onde pequenas populações dessas espécies persistem, sem poder trocar genes com outros acessos localizados em áreas não alteradas. Assim, a melhor alternativa, visando o melhoramento de *A. angustifolia*, seria explorar mais a variação existente entre procedências/regiões. Para as próximas coletas de sementes, populações de outros municípios e estados devem ser priorizadas. Os estudos da variação entre e dentro de procedências envolvendo todos os aspectos fenotípicos de uma espécie dentro da sua área de ocorrência natural são importantes para conhecer o padrão de variação para caracteres de importância econômica ou adaptativa, os quais, podem fornecer bases sólidas aos programas de melhoramento e conservação genética da espécie.

**Tabela 3** – Componentes da variância para os caracteres de crescimento de *A. angustifolia* nas áreas experimentais em Colombo-PR.

Parâmetro	Área 1					
	DAP 30	DAP 32	ALT 32	VOL 32	DMC 33	ESP 33
$\hat{\sigma}_{prog}^2$	4,67	5,35	0,27	0,05	0,10	0,07
$\hat{\sigma}_{proc}^2$	1,29	1,66	0,07	0,01	0,25	0,0004
$\hat{Q}_{STprog}$	0,782	0,763	0,786	0,779	0,294	0,994
$\hat{Q}_{STproc}$	0,217	0,236	0,213	0,220	0,705	0,005
Parâmetro	Área 2					
	DAP 30	DAP 32	ALT 32	VOL 32	DMC 33	ESP 33
$\hat{\sigma}_{prog}^2$	3,89	4,32	0,01	0,05	0,01	0,006
$\hat{\sigma}_{proc}^2$	0,98	1,04	0,57	0,01	0,08	0,01
$\hat{Q}_{STprog}$	0,797	0,805	0,02	0,726	0,112	0,255
$\hat{Q}_{STproc}$	0,202	0,194	0,978	0,273	0,880	0,744
Parâmetro	Área 3					
	DAP 32	ALT 32	VOL 32			
$\hat{\sigma}_{prog}^2$	0,30	2,59	0,02			
$\hat{\sigma}_{proc}^2$	0,41	0,58	0,002			
$\hat{Q}_{STprog}$	0,426	0,815	0,929			
$\hat{Q}_{STproc}$	0,573	0,184	0,070			

$\hat{\sigma}_{prog}^2$  : componente de variância genética entre as progênies dentro de populações;  $\hat{\sigma}_{proc}^2$  : componente de variância genética entre as procedências;  $\hat{Q}_{STprog}$  : proporção da variação genética entre as progênies;  $\hat{Q}_{STproc}$  : proporção da variância genética entre as procedências.

DAP 30 (cm); DAP 32 (cm): diâmetro a altura do peito aos 30 e 32 anos; ALT 32 (m): altura total aos 32 anos; VOL 32: volume total avaliado aos 32 anos; DMC 33 (m): diâmetro médio da copa aos 33 anos; ESP 33 (cm): espessura da casca aos 33 anos de idade. Fonte: o próprio autor.

#### 4.1.3 Estimativas de parâmetros genéticos

Em termos de crescimento médio, as progênies da área 3 apresentaram médias inferiores comparadas às das áreas 1 e 2, para os mesmos caracteres avaliados aos 32 anos (Tabela 4). Esse fato pode estar associado ao controle da vegetação invasora adotado em cada área. Na área 3 foi menos eficiente, possivelmente provocando uma competição por recursos (nutrientes e água). Isso confirma que o manejo é imprescindível para os plantios de araucária, principalmente na fase de estabelecimento do teste. O crescimento de espécies arbóreas está diretamente relacionado à área de localização dos sítios de estudo e às condições específicas

para o desenvolvimento encontrado em cada um deles (DUARTE, 2012). Sebbenn et al. (2004) avaliaram aos 30 anos de idade um teste de procedências e progênies de *A. angustifolia* em Itapeva-SP e obtiveram o valor de 20,47 cm e 18,12 m para o DAP a ALT, respectivamente. A área de estudo por Sebbenn et al. (2004) é considerada limítrofe para ocorrência da espécie, onde a qualidade pedoclimática não é tão adequada quanto no município de Colombo-PR, portanto, justifica os valores inferiores encontrados por esses autores se comparados aos obtidos para as áreas 1 e 2.

O caráter VOL 32 apresentou os maiores coeficientes de variação experimental em todas as áreas experimentais avaliadas. Como o volume é uma combinação das características DAP e ALT, acumula os erros de mensuração destes dois caracteres e por isso gera o alto  $CV_e$  (BATISTA et al., 2012). Para os demais caracteres o  $CV_e$  foi baixo evidenciando condições experimentais adequadas de controle ambiental. Valores de coeficiente de variação experimental na ordem de 10% a 20% podem ser considerados baixos para experimentos de campo (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002). Assim, os resultados obtidos indicaram que o controle experimental foi satisfatório e pode-se esperar boa precisão nas estimativas de parâmetros genéticos com exceção do volume total (VOL 32).

O coeficiente de variação genética individual ( $CV_{gi}$ ) foi alto para o caráter VOL, DAP, DMC e ESP, e baixo para a ALT (área 1). Para os mesmos caracteres avaliados, na área 2, obteve  $CV_{gi}$  altos para todos os caracteres, com exceção para a ESP (5,90%), DMC (2,94%) e ALT (0,97%). A área 3, apresentou  $CV_{gi}$  alto para VOL 32 e DAP 32 (34,91% e 16,11%). Os coeficientes de variação genética acima de 7% são considerados altos (SEBBENN et al., 1998). De maneira geral os caracteres volume e diâmetro à altura do peito foram os que apresentaram maior variabilidade genética entre as progênies em todas as áreas. Portanto, durante o processo de seleção, há possibilidade de ganhos genéticos se esses caracteres forem contemplados ou outros relacionados diretamente com a produção de madeira.

A acurácia é um outro parâmetro que indica a precisão de seleção e de ganho genético. Quanto maior o seu valor, maior a precisão da seleção e do ganho genético estimado. As acurácias obtidas foram consideradas de moderada a alta magnitude. Essas variaram de 0,48 a 0,91 para o diâmetro a altura do peito (DAP 32) na área 3 e para o volume total (VOL 32) para área 1. Com exceção do caráter espessura de casca (ESP 33) na área 1 que apresentou acurácia de baixa magnitude (0,09). Segundo Resende (2002), são consideradas baixas as acurácias entre 0 e 0,25; medianas de 0,25 a 0,75; e altas as maiores que 0,75. Esses resultados indicaram alta

precisão no acesso a variação genética verdadeira a partir da variação fenotípica observada principalmente para os caracteres relacionados ao volume de madeira.

De maneira geral, os coeficientes de herdabilidade individual no sentido restrito ( $\hat{h}_a^2$ ) foram altamente variáveis para os caracteres avaliados nas áreas experimentais, apresentando herdabilidades de baixa a alta magnitude. Esse parâmetro foi extremamente baixo para alguns caracteres, tais como: o DMC 33 (0,13) na área 1; DMC 33(0,03), ESP 33 (0,07), ALT 32 (0,10) na área 2. Como esses caracteres não foram significativos para os efeitos de progênies, conseqüente esperava-se baixos e não significativos coeficientes de herdabilidades individual, reforçando as baixas diferenças genéticas existente entre os indivíduos. Porém, valores medianos a altos desse parâmetro foram observados para caracteres como DAP 32 (0,58), VOL 32 (0,60), ESP 33 (0,66) (Tabela 4). Valores de herdabilidades altos a medianos indicam a que o controle genético para os caracteres é expressivo e a possibilidade de ganhos genéticos com a seleção. Kageyama e Jacob (1980) avaliaram três procedências de *A. angustifolia* aos 3,5 anos em Campos do Jordão-SP e observaram coeficientes de herdabilidades individuais no sentido restrito altamente variáveis para os caracteres de crescimento (0 a 0,56 e 0,03 a 0,64 para ALT e DAP). Sebbenn et al. (2003b) observaram coeficientes de herdabilidade individual baixos para os caracteres DAP (0,059), ALT (0,053) e VOL (0,053) ao avaliarem um teste de procedências e progênies de *A. angustifolia* em Itapeva-SP. Esses estudos apresentaram valores menores ao do presente estudo principalmente para o caráter ALT e VOL. É importante compreender que a herdabilidade é uma propriedade não somente de um caráter, mas também da população e circunstâncias de ambiente às quais os indivíduos estão sujeitos. Uma vez que a herdabilidade depende da magnitude de todos os componentes de variância uma alteração em qualquer um deles afetará o seu valor (FALCONER, 1987).

Considerando os parâmetros genéticos estimados para todos os caracteres, o DAP 32, foi o mais indicado para a seleção dos indivíduos nas áreas experimentais, por apresentar medianos a altos coeficientes de herdabilidade em nível individual ( $\hat{h}_a^2$ ), associados aos altos valores de acurácia ( $r_{\hat{a}a}$ ) e baixos coeficientes de variação experimental ( $CV_e$ ). Além disso, é um caráter que apresenta alta correlação com o volume. Segundo Silva et al. (2011), na escolha do caráter objeto de seleção é comum utilizar-se daquela cuja avaliação esteja menos sujeita a erros, como o diâmetro à altura do peito, uma vez que a seleção de indivíduos que reúnam diversas características desejáveis é difícil. Além disso, ao considerar muitos caracteres não correlacionados ao mesmo tempo na seleção de indivíduos, a intensidade de seleção é reduzida, e conseqüentemente, o ganho também diminuiu proporcionalmente em relação quando um



único carácter é priorizado (WHITE et al., 1997). Assim, a seleção realizada com base em um carácter correlacionado com os demais caracteres é mais indicado e aumenta a probabilidade de conseguir genótipos com ideotipos desejados (seleção indireta), principalmente nos primeiros ciclos de melhoramento.

**Tabela 4** - Estimativas de parâmetros genéticos para os caracteres silviculturais nas áreas experimentais de *A. angustifolia* avaliados aos 30, 32 e 33 anos de idade, em Colombo-PR.

Áreas	Caracteres	$\hat{m}$	$CV_{gi}$ (%)	$CV_{gp}$ (%)	$CV_e$ (%)	$r_{\hat{a}a}$	$\hat{h}_a^2$	$\hat{h}_g^2$
Área 1	DAP 30 (cm)	38,24	11,30	5,65	8,74	0,88	0,54±(0,29)	0,06±(0,05)
	DAP 32 (cm)	39,59	11,69	5,84	9,11	0,88	0,53±(0,29)	0,06±(0,05)
	ALT 32 (m)	20,77	5,07	2,53	4,16	0,87	0,34±(0,23)	0,05±(0,04)
	VOL 32 (m <sup>3</sup> )	1,67	27,68	13,84	19,34	0,91	0,60±(0,31)	0,08±(0,05)
	DMC 33 (m)	6,82	9,54	4,77	15,14	0,90	0,13±(0,14)	0,08±(0,06)
	ESP 33 (cm)	3,21	17,01	8,50	12,02	0,09	0,66±(0,33)	0,00±(0,005)
Área 2	DAP 30 (cm)	38,03	10,38	5,19	5,13	0,57	0,59±(0,30)	0,04±(0,04)
	DAP 32 (cm)	40,83	10,18	5,09	5,06	0,57	0,58±(0,29)	0,04±(0,04)
	ALT 32 (m)	23,21	0,97	0,48	3,72	0,76	0,10±(0,04)	0,11±(0,06)
	VOL 32 (m <sup>3</sup> )	1,87	23,99	11,99	11,55	0,65	0,60±(0,30)	0,06±(0,05)
	DMC 33 (m)	7,09	2,94	1,47	6,77	0,64	0,03±(0,06)	0,06±(0,04)
	ESP 33(cm)	2,73	5,90	2,95	8,93	0,61	0,07±(0,10)	0,05±(0,004)
Área 3	DAP 32 (cm)	20,00	16,11	8,05	21,61	0,48	0,21±(0,15)	0,02±(0,02)
	ALT 32 (m)	13,26	8,37	4,18	13,04	0,67	0,15±(0,13)	0,05±(0,03)
	VOL 32 (m <sup>3</sup> )	0,30	34,91	17,45	53,36	0,59	0,16±(0,13)	0,03±(0,03)

DAP 30; DAP 32: diâmetro a altura do peito avaliado aos 30 e 32 anos; ALT 32: altura avaliada 32 anos; VOL 32: volume total avaliado aos 32 anos; DMC 33: diâmetro médio da copa avaliado aos 33 anos; ESP 33: espessura da casca avaliada aos 33 anos de idade,  $\hat{h}_a^2$  herdabilidade individual no sentido restrito ou dos efeitos aditivos;  $\hat{h}_g^2$  herdabilidade individual dos efeitos genotípicos totais;  $r_{\hat{a}a}$  acurácia;  $CV_{gi}$  % coeficiente de variação genética aditiva individual;  $CV_{gp}$  % coeficiente de variação genotípica entre progênies;  $CV_e$  % coeficiente de variação residual;  $\hat{m}$  média geral. Fonte: o próprio autor.

#### 4.1.4 Correlações fenotípicas e genéticas

No presente estudo verificou-se que as correlações fenotípicas e genéticas foram moderadas a altas, positivas e significativas para os caracteres avaliados (Figura 5). A correlação fenotípica apresenta causas de variação genética e ambiental, enquanto a correlação genética envolve uma associação de natureza herdável. Ambas correlações são frequentemente diferentes para um mesmo caráter. Indicando que as causas da variação genética e ambiental afetam os caracteres por meio de mecanismos fisiológicos diferentes (FALCONER; MACKAY, 1996).

A correlação genética entre o DAP 32 e o VOL 32 foi a mais alta para todas as áreas experimentais. Os valores variaram de 0,95 (área 3) a 0,98 (área 1) (Figura 5). Altas correlações genéticas entre caracteres de crescimento também foram obtidas entre DAP e ALT; DAP e VOL, para *Pinus oocarpa*, aos nove anos (SAMPAIO; RESENDE; ARAÚJO, 2002); para *A. angustifolia* para os caracteres DAP e ALT; DAP e VOL; VOL e ALT avaliada aos 9, 11 e 23 anos (SHIMIZU, 1999) e aos 21 anos (SEBBENN et al., 2003b) e para *E. grandis* x *E. urophylla*, aos 13 anos (DAP e ESP) (FRANÇA, 2014). Para espécies florestais a correlação genética entre caracteres de crescimento é alta.

De acordo com Vencovsky (1978) quando ocorrem correlações de alta magnitude entre um par de caracteres, os mesmos podem ser considerados como um único caráter na seleção, sem grande prejuízo para qualquer um desses caracteres. Como o diâmetro é mais fácil de ser medido e gera menos erros de medição do que outros caracteres, sugere-se seu uso como referência nas aplicações dos métodos de seleção e cômputo do ganho genético esperado (MOREIRA, 2014). Além disso, o diâmetro é mais correlacionado com o volume, do que a altura, pois é expresso pelo quadrado do diâmetro, tornando-se o caráter mais relevante para a indicação a seleção (MARTINEZ et al., 2012).

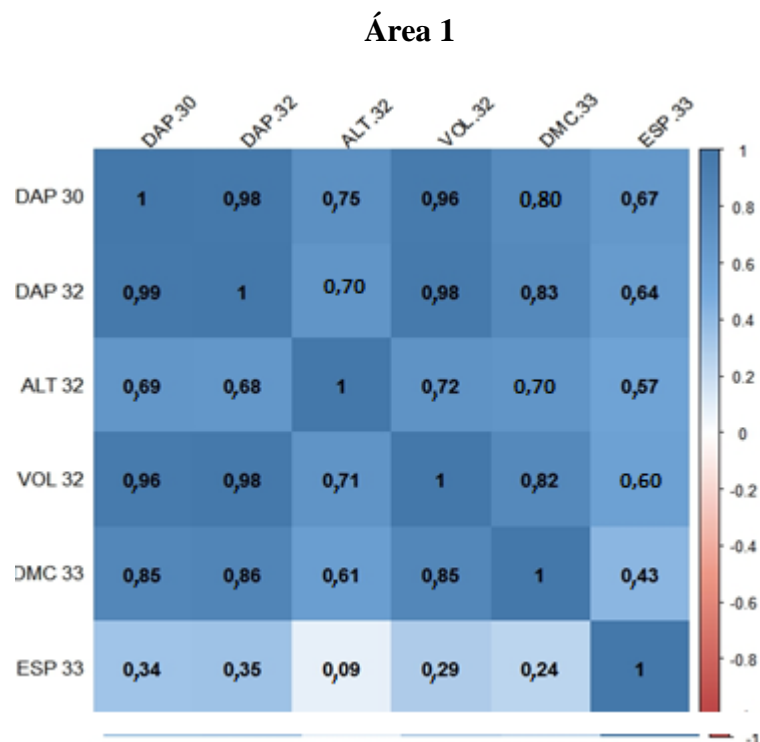
Correlação positiva de 0,64 e 0,51 nas áreas experimentais 1 e 2 também foram encontradas entre a espessura da casca (ESP 33) e o diâmetro a altura do peito (DAP 32) (Figura 5). Porém, essa correlação não é desejável uma vez que quanto maior a espessura da casca maior a quantidade de resíduos que pode gerar durante o processamento mecânico, acarretando menores rendimentos. No melhoramento genético da *A. angustifolia*, o caráter espessura de casca deve ser priorizado, principalmente para produção de madeira para desdobro, pois o rendimento em volume de madeira é negativamente afetado.

Quando a correlação genética é próxima a um, indica que há um elevado grau de pleiotropia. Isso significa que muitos locos gênicos comuns afetam ambos os caracteres

(WHITE et al., 2007). Um exemplo é a relação genética existente entre volume e DAP que para todas as espécies é alta e positiva (WHITE et al., 2007). A causa da correlação genética é principalmente pelo pleiotropismo, embora ligações gênicas sejam uma causa de correlação transitória (FALCONER, 1987).

Quando há correlação significativa entre dois caracteres, é possível obter ganho em um deles por meio da seleção indireta do outro. Isto é vantajoso, principalmente, quando um caráter de elevado valor econômico possui baixa herdabilidade e, ou, difícil avaliação, quando comparado a outro caráter que está associado a ele (NUNES et al., 2008). A seleção indireta mudará as frequências alélicas em todos os locos comuns levando a ganhos em ambos os caracteres. E quando o caráter alvo apresenta herdabilidade mais baixa que o correlacionado, esse último será o mais favorável a seleção para essa condição (WHITE et al., 2007).

**Figura 5**– Estimativas das correlações genéticas (acima da diagonal) e fenotípicas (abaixo da diagonal) entre os caracteres de crescimento em progênies de *A. angustifolia* avaliados nas áreas experimentais aos 30, 32 e 33 anos de idade em Colombo-PR



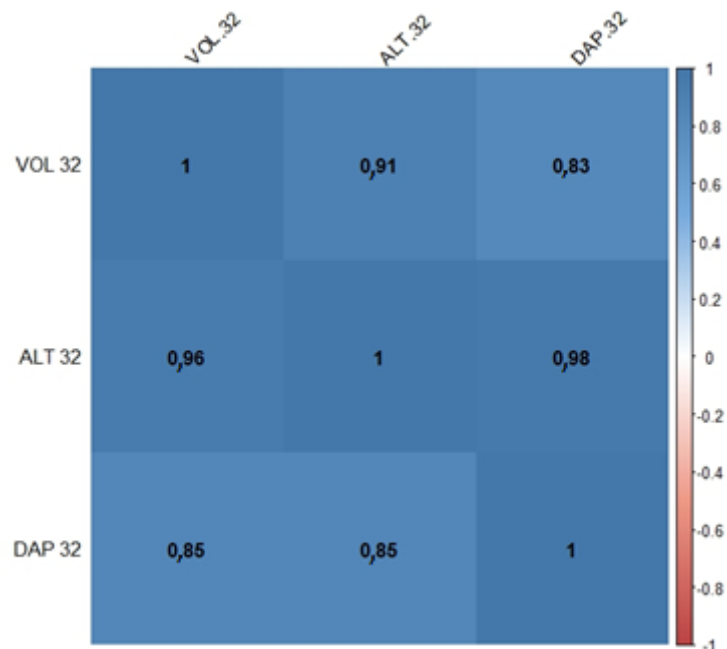
DAP 30; DAP 32: diâmetro a altura do peito avaliado aos 30 e 32 anos; ALT 32: altura avaliada 32 anos; VOL 32: volume total avaliado aos 32 anos; DMC 33: diâmetro médio da copa avaliado aos 33 anos; ESP 33: espessura da casca avaliada aos 33 anos de idade.

### Área 2



DAP 30; DAP 32: diâmetro a altura do peito avaliado aos 30 e 32 anos; ALT 32: altura avaliada 32 anos; VOL 32: volume total avaliado aos 32 anos; DMC 33: diâmetro médio da copa avaliado aos 33 anos; ESP 33: espessura da casca avaliada aos 33 anos de idade.

### Área 3



DAP 32: diâmetro a altura do peito avaliado aos 2 anos; ALT 32: altura avaliada 32 anos; VOL 32: volume total avaliado aos 32 anos. Fonte: o próprio autor.

#### 4.1.5 Ganho genético esperado com a seleção

Apesar da intensidade de seleção ter sido diferente para cada área experimental, os ganhos genéticos esperados com a seleção do mesmo número de indivíduo para o caráter DAP 32 foram muitos similares (Tabela 5). Os valores de  $G_s$  % variaram de 9,48% a 10,80%, com a intensidade de seleção de 26%, 24% e 17% para a área 1, 2 e 3. Uma intensidade de seleção menor (41%, 38% e 27%) também foi aplicada para formação de um pomar de sementes por mudas visando manter maior diversidade genética. Para essa intensidade o ganho genético com a seleção foi menor (7,59% a 8,27%) que a intensidade anterior (Tabela 5). Por outro lado, proporcionou maiores valores de diversidade genética ( $\hat{D}$ ) variando de 0,36 (área 3) a 0,57 (área 1) e o tamanho efetivo populacional aproximadamente de 60 (área 1), 55 (área 2) e 64 (área 3). Já com a intensidade de seleção maior (26%, 24% e 17%), a diversidade genética ( $\hat{D}$ ) apresentou valores mais baixos para três áreas variando de 0,23 (área 3) a 0,40 (área 1). O tamanho efetivo populacional ( $N_e$ ) foi de aproximadamente 42 (área 1), 39 (área 2) e 43 (área 3). Para formação de pomares de sementes por mudas, sugere-se adotar intensidades de seleção menores que não comprometa a diversidade genética dessas áreas, já que o tamanho efetivo populacional está no limite do que se tem recomendado a cada geração de melhoramento ( $N_e = 50$ ). Esse valor é recomendado para evitar a depressão endogâmica ( $N_e = 50$ ) (FRANKEL; SOULÉ, 1981), minimizar a probabilidade de perda de alelos favoráveis ao longo dos ciclos de seleção (RESENDE, 1999), e conseqüentemente, a redução da base genética nas áreas experimentais. Por outro lado, ganhos genéticos maiores que os previstos poderão ser obtidos se a clonagem dos indivíduos mais produtivos for realizada. Protocolo de micropropagação, via embriogênese somática, ainda está sendo desenvolvido para araucária. Até o presente momento, somente a clonagem por enxertia de indivíduos adultos foi validada para espécie.

A manutenção da variabilidade genética em cada ciclo de seleção, principalmente nas primeiras gerações de melhoramento, é importante para que progresso genéticos em ciclos subsequentes não fiquem comprometidos. Desse modo, a seleção individual, com intensidade de 41%, 38% e 27%, respectivamente nas áreas 1, 2 e 3, permitiu a obtenção de ganhos com os níveis de diversidade genética e tamanho efetivo populacional mais elevados. Essa estratégia deve ser considerada para amostragem de sementes ou um desbaste de manejo nas áreas. Assim, a elevação dos níveis de endogamia e, conseqüentemente a depressão endogâmica, além da perda do vigor das plantas serão evitados. Além disso, a contribuição equitativa de indivíduos por genitor é sempre desejável quando se pretende maximizar o tamanho efetivo populacional (RESENDE, 2002). Ademais, outro fator a ser considerado nas seleções é a dificuldade de

polinização, se não existirem árvores de ambos os sexos próximas entre si, a fecundação da espécie, a qual é polinizada principalmente pelo vento, pode não ocorrer (SOUSA, 2010). Assim, recomenda-se deixar o mesmo número de árvores femininas e masculinas com uma adequada disposição espacial, para facilitar os cruzamentos entre as diferentes matrizes do pomar de sementes por mudas.

As três áreas juntas formam uma boa base genética para ciclos subsequentes de melhoramento. Em cada ciclo, deve-se considerar também as infusões de materiais de plantios comerciais e populações naturais, principalmente os procedentes dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina que foram pouco contempladas nos ensaios implantados na década de 1980.

**Tabela 5-** Progresso esperado mediante a seleção individual ( $\hat{G}_s$  %) de 50 e 80 indivíduos, tamanho efetivo populacional ( $N_e$ ) e a diversidade genética ( $D$ ), considerando a razão sexual de descendentes de 0,5 nas áreas experimentais de *A. angustifolia* em Colombo-PR.

Áreas	$F$	$M$	$U$	$V$	$f + m$	$N_e$	$\hat{a}$ (cm)	$\mu$ (cm)	$\hat{G}_s$ (%)	$D$	Intensidade de seleção (%)
<b>Área 1</b>	53	86	0,37	0,55	50	41,42	4,91	45,53	10,80	0,40	26
	53	86	0,37	0,55	80	60,07	3,62	43,79	8,27	0,57	41
<b>Área 2</b>	77	77	0,09	0,09	50	38,78	4,48	47,31	9,48	0,31	24
	77	77	0,09	0,09	80	54,57	3,50	45,94	7,63	0,49	38
<b>Área 3</b>	108	108	0,42	0,42	50	43,30	2,98	29,78	10,00	0,23	17
	108	108	0,42	0,42	80	64,09	2,09	27,64	7,59	0,36	27

$F$  e  $M$ = número de indivíduos femininos e masculinos potencialmente funcionais nas populações, respectivamente;  $u$  e  $v$  é a fração de genitores femininos e masculinos funcionais em relação ao número de indivíduos também femininos e masculinos nas populações de referência, respectivamente, sendo  $0 < u \leq 1$  e  $0 < v \leq 1$ ;  $f + m$  = número de indivíduos femininos e masculinos descendentes;  $\mu$ : média geral fenotípica ;  $\hat{a}$ : efeito genético aditivo. Fonte: o próprio autor.



Com base no valor genotípico do caráter DAP 32, foi realizada o ranqueamento das melhores procedências em cada área experimental. As procedências de origem geográfica mais próximas Telêmaco Borba-PR e Irati-PR, ao local dos experimentos (Colombo-PR), apresentaram de maneira geral, melhor desempenho para o caráter avaliado aos 32 anos, em comparação as demais procedências. As procedências de Telêmaco Borba- PR (área 1) e Irati-PR (área 2 e 3) apresentaram os maiores valores e ganhos genotípicos preditos (Tabela 6). Esse resultado demonstra o forte efeito das procedências em relação ao crescimento das árvores. A escolha da procedência pode ter grande influência no aumento da produtividade no presente local de experimentação. Para os próximos ciclos de melhoramento de araucária para produção de madeira, os indivíduos mais produtivos dessas procedências deverão ser priorizados tanto para esse fim quanto para a conservação nas condições ambientais de Colombo-PR.

As procedências de Caçador-SC (área 1); Campos do Jordão-SP (área 2) e Quatro Barras-PR (área 3) apresentaram os menores valores genotípicos para o caráter. Esse fato pode estar associado a adaptação às condições ambientais no local dos plantios, comprometendo assim, o seu desempenho e a expressão do potencial genético desses materiais. A avaliação de outras variáveis, principalmente, relacionadas a produção de estruturas reprodutivas deverão ser contempladas nos próximos trabalhos para validar a adaptação dos materiais procedentes de outras regiões. Além disso, o efeito da interação genótipo x ambiente serão contemplados nas próximas etapas do melhoramento por ser a maneira mais eficiente para definir as progênes e indivíduos mais adaptados e produtivos que deverão ser utilizados para estabelecer plantios comerciais em cada região. Para a formação de população de melhoramento, deve-se atentar a mistura sementes de várias procedências, visando estimular o cruzamento entre indivíduos não aparentados, afim de promover recombinações entre possíveis raças geográficas e aumentar a variabilidade genética.

**Tabela 6-** Seleção das melhores procedências nas áreas experimentais de *A. angustifolia* em Colombo-PR, considerando o DAP aos 32 anos.

Áreas	Ordem	Procedências	<i>u+g</i>	Ganho	Nova média
<b>Área 1</b>	1	Telêmaco Borba, PR	40,9279	1,3338	40,9279
	2	Irati, PR	39,5985	0,6691	40,2632
	3	Três Barras, SC	39,4601	0,4014	39,9955
	4	Quatro Barras, PR	39,3867	0,2492	39,8433
	5	Caçador, SC	38,5975	0,0000	39,5941
<b>Área 2</b>	1	Irati, PR (tardio)	42,2929	1,4622	42,2929
	2	Itapeva, SP	41,3955	1,0135	41,8442
	3	Itararé, SP	41,1670	0,7878	41,6185
	4	Chapecó, SC	40,8543	0,5967	41,4275
	5	Três Barras, SC	40,8313	0,4775	41,3082
	6	Irati, PR	40,8282	0,3975	41,2282
	7	Congonhal, MG	40,7114	0,3237	41,1544
	8	Quatro Barras, PR	40,6686	0,2629	41,0937
	9	Barbacena, MG	40,5789	0,2057	41,0365
	10	Ipuiúna de Caldas, MG	40,5148	0,1536	40,9843
	11	Caçador, SC	40,4789	0,1076	40,9384
	12	Campos do Jordão, SP	39,6468	0,0000	40,8307
<b>Área 3</b>	1	Irati, PR	20,8096	0,8056	20,8096
	2	Telêmaco Borba, PR	20,1870	0,4953	20,4983
	3	Caçador, SC	20,0104	0,3317	20,3357
	4	Três Barras, SC	19,9077	0,2246	20,2287
	5	Chapecó, SC	19,8830	0,1555	20,1596
	6	Teixeira Soares, PR	19,6686	0,0737	20,0777
	7	Quatro Barras, PR	15,5619	0,00	20,0040

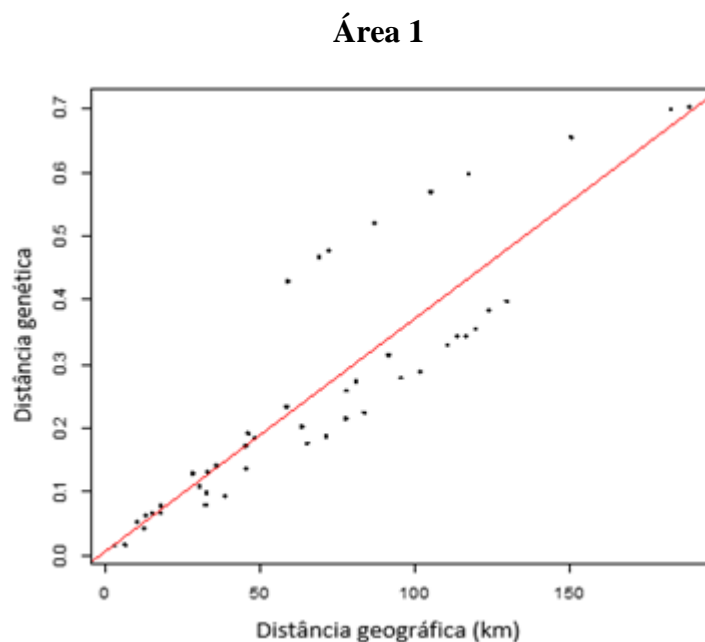
*u+g*: média genotípica ou valores genotípicos.

#### 4.1.6 Distâncias genótípicas e estrutura espacial

Para verificar como a variabilidade genética das áreas experimentais de *A. angustifolia* estão estruturadas no espaço, aplicou-se a correlação entre as distâncias de Mahalanobis e geográficas. As correlações entre essas distâncias para todas as áreas experimentais foram positivas (área 1:  $r = 0,889$ , área 2:  $r = 0,754$  e área 3:  $r = 0,781$ ) e significativas pela estatística Z de mantel (Figura 6, 7 e 8). Esses resultados confirmam que a variabilidade genética está estruturada no espaço, e sugerem que as procedências estudadas podem estar se diferenciando pelo processo de adaptação das populações as diferentes condições locais a partir das forças evolutivas, especialmente o fluxo gênico.

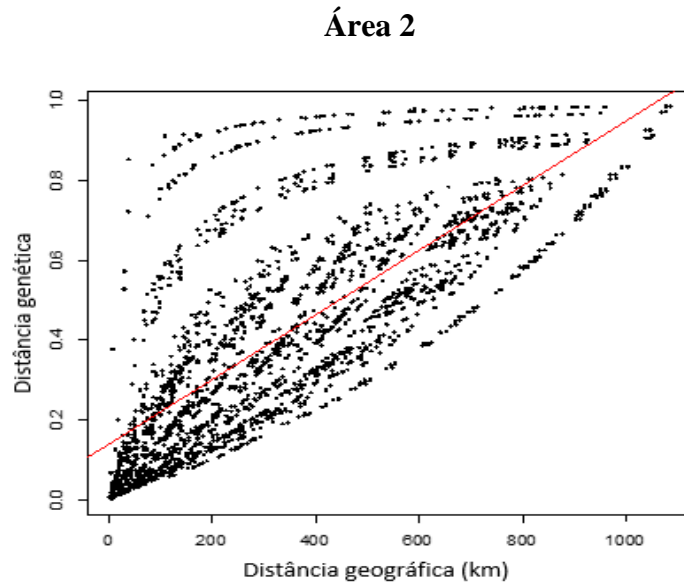
A estruturação espacial das procedências de araucária foi mais forte do que a verificada em outros estudos com caracteres quantitativos. Trabalhando com subpopulações de cagaiteira, Aguiar (2004) obteve valor de  $r = 0,44$  e significativo. Moura (2011) avaliou progênies de pequi e observou correlação altamente significativa e de baixa magnitude ( $r = 0,22$ ). A relação entre a distância genética e a distância geográfica não foi constatada para muitas espécies (FREIRE et al., 2007; GOIS et al., 2014). Isso significa que nem sempre as procedências que apresentaram maiores distâncias genótípicas vão estar associadas as maiores distâncias geográficas.

**Figura 6**– Relação entre as distâncias geográficas e as distâncias de Mahalanobis entre as matrizes de *A. angustifolia* proveniente de cinco procedências ( $r = 0,889$ ;  $p = 0,47$ ;  $n = 10$ )



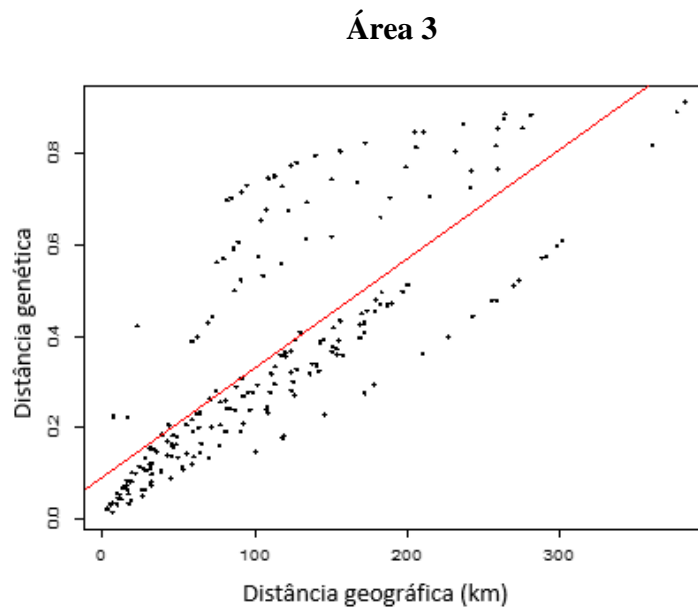
Fonte: o próprio autor.

**Figura 7** – Relação entre as distâncias geográficas e as distâncias de Mahalanobis entre as matrizes de *A. angustifolia* proveniente de doze procedências ( $r = 0,754$ ;  $p = 0,11$ ;  $n = 66$ ).



Fonte: o próprio autor.

**Figura 8** – Relação entre as distâncias geográficas e as distâncias de Mahalanobis entre as matrizes de *A. angustifolia* proveniente de sete procedências ( $r = 0,768$ ;  $p = 0,33$ ;  $n = 21$ ).



Fonte: o próprio autor.

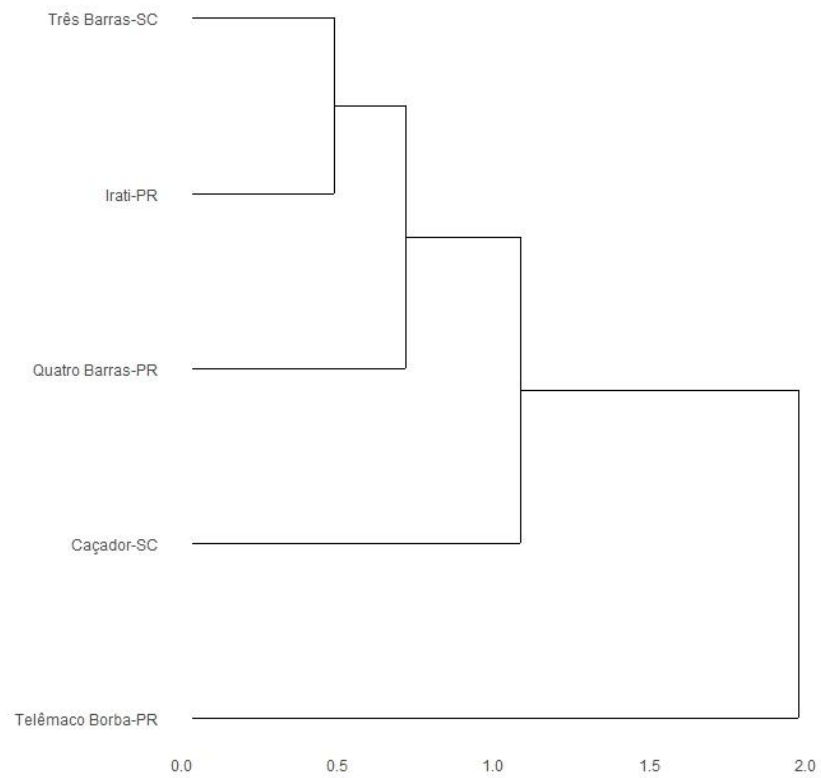
Com base na matriz de Mahalanobis entre procedências e análise de agrupamento hierárquico, os acessos de araucária foram separados em grupos distintos. Observou-se a formação de dois grupos (área 1): grupo I (Três Barras-SC e Irati-PR) e grupo II (Quatro Barras-PR, Caçador-SP e Telêmaco Borba-PR); sete grupos (área 2): grupo I (Congonhal-MG e Ipuiúna de Caldas-MG) grupo II (Três Barras-SC, Irati-PR e Caçador-SC) grupo III (Quatro Barras-PR, Campos do Jordão-SP e Campos do Jordão-SP), grupo IV (Itapeva-SP), grupo V (Barbacena-MG), grupo VI (Itararé-SP) e grupo VII (Irati-PR tardio) e quatro grupos (área 3): grupo I (Três Barras-SC e Irati-PR), grupo II (Quatro Barras-PR), grupo III (Caçador-SP) e grupo IV (Telêmaco Borba-PR) (Figura 9, 10 e 11). Dentro da formação dos grupos, as procedências Três Barras-SC e Irati-PR (área 1), Congonhal-MG e Ipuiúna de Caldas-MG; Três Barras-SC e Irati-PR (área 2) e Chapecó-SC e Teixeira Soares-PR (área 3) são as que possuem acessos com características mais similares. Já as procedências de Telêmaco Borba-PR (áreas 1 e 3) e Irati-SP (tardio) (área 2) foram as que mais se distanciaram em relação as outras no processo de agrupamento. De maneira geral, as procedências da região sudeste (estados de São Paulo e Minas Gerais) se agruparam em um grupo diferente das da região sul (Paraná e Santa Catarina). Trabalhos sobre diversidade genética baseados em marcadores moleculares já tinham evidenciado esse resultado (SHIMIZU; JAEGER; SOPCHAKI, 2000; VALGAS, 2008; SOUSA et al., 2009). Além dos fatores reprodutivos e genéticos relacionados à espécie, a posição geográfica e fatores ambientais podem contribuir para formação dos grupos (AGUIAR, 2004). A combinação de material genético das procedências mais similares com aquelas mais divergentes é sugerida, porque além de preservar a variabilidade genética, espera-se que as populações segregantes associem elevado desempenho para os caracteres avaliados. Isso pode levar a formação de genótipos superiores em volume de madeira e outros caracteres de interesse.

A correlação cofenética do agrupamento UPGMA com as distâncias genotípicas foram de 0,99; 0,79 e 0,93, respectivamente para as áreas experimentais 1, 2 e 3. As correlações cofenéticas altas confirmam a consistência dos agrupamentos na representação da divergência genética entre procedências. Os resultados obtidos nos dendrogramas reforçam os valores observados nas análises de correlação entre as distâncias de Mahalanobis e geográficas, em que a diferença de origem geográfica das procedências de araucária reflete grande parte da divergência encontrada entre as procedências.

A informação gerada a respeito da divergência entre procedências é de grande importância para nortear programas de melhoramento e conservação genética. A seleção dos indivíduos mais produtivos e de procedências de maior divergência genotípica poderão ser

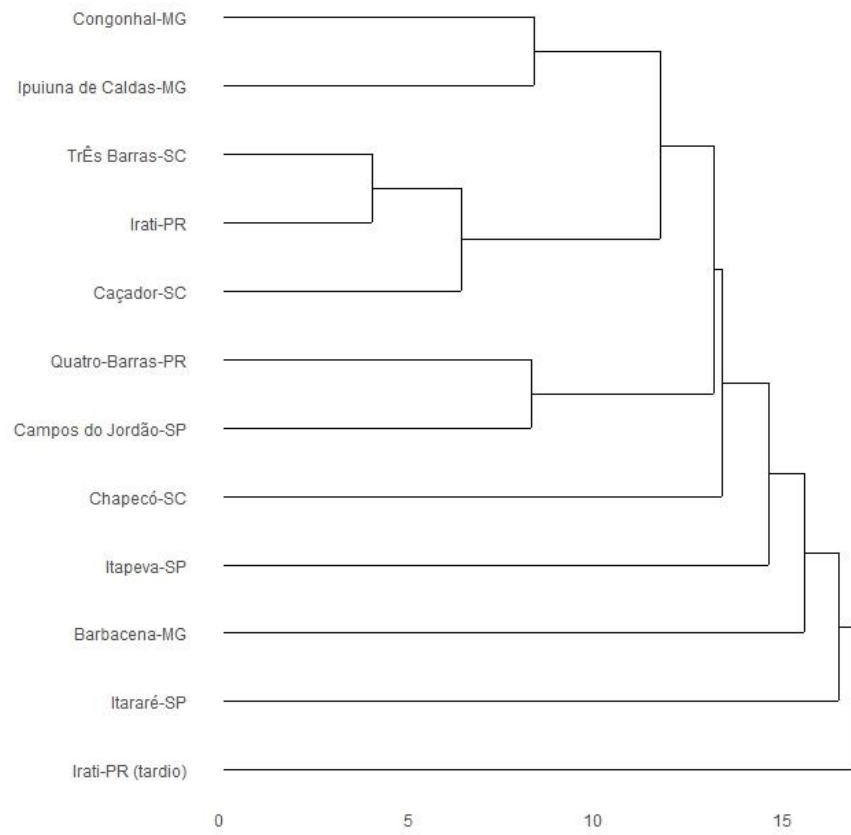
utilizados em programas de melhoramento genético da araucária visando a produção de madeira.

**Figura 9**– Dendograma resultante da análise de 5 procedências de *A. angustifolia* em Colombo-PR, obtido pelo método de agrupamento UPGMA baseado na distância de Mahalanobis. O valor do coeficiente da correlação cofenética foi de 0,99.



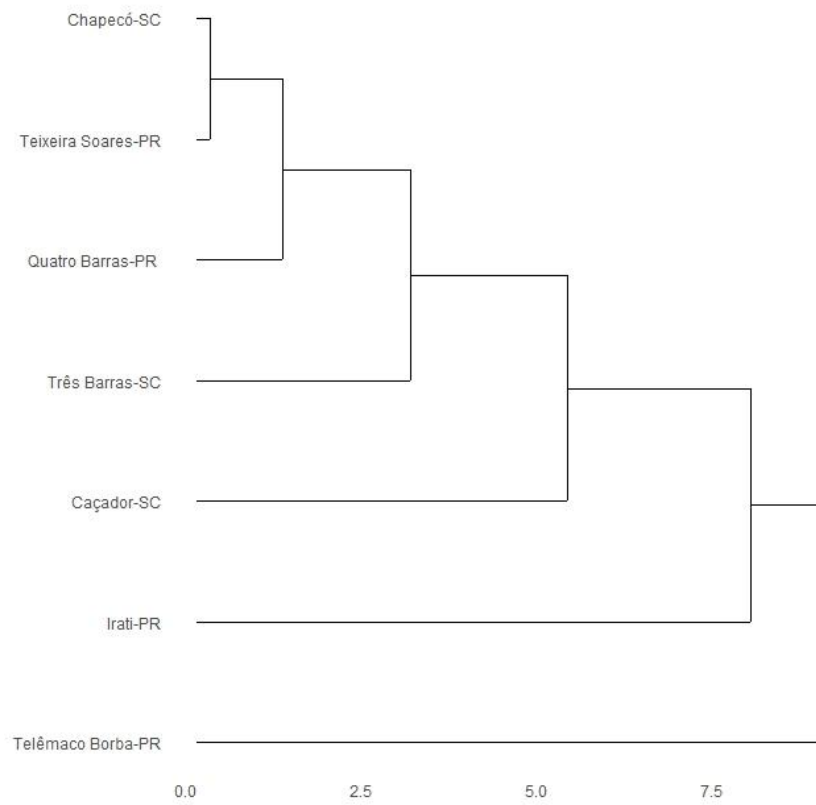
Fonte: o próprio autor.

**Figura 10** – Dendrograma resultante da análise de 12 procedências de *A. angustifolia* em Colombo-PR, obtido pelo método de agrupamento UPGMA baseado na distância de Mahalanobis. O valor do coeficiente da correlação cofenética foi de 0,79.



Fonte: o próprio autor.

**Figura 11** – Dendrograma resultante da análise de 7 procedências de *A. angustifolia* em Colombo PR, obtido pelo método de agrupamento UPGMA baseado na distância de Mahalanobis. O valor do coeficiente da correlação cofenética foi de 0,93.



Fonte: o próprio autor.



## 4.2 ANÁLISE DOS CARACTERES DE PRODUÇÃO DE PINHÃO

### 4.2.1 Estatística descritiva

As matrizes avaliadas para produção de pinhão apresentaram diferenças fenotípicas expressivas, o que poderá contribuir para resultados significativos nos próximos ciclos de melhoramento (Tabela 7). O número total de pinhões por pinha (NPP), o peso unitário do pinhão (PP) e o peso médio de pinhões por pinha (PMPP) indicam uma ligeira superioridade na capacidade produtiva das árvores matrizes da área 1 comparada a árvores matrizes da área 2. A variação encontrada nas áreas experimentais para os caracteres de produção de pinhão pode estar relacionada a capacidade produtiva da planta mãe, fatores climáticos, adaptação das diferentes procedências ao sítio, proporção sexual (SILVA; REIS, 2009), densidade populacional (MANTOVANI et al., 2004), bem como a presença de pinhas nos ramos primários e secundários da árvore (ANSELMINI et al., 2006).

Uma considerável variação da produção de pinhão foi observada entre as áreas experimentais. O peso dos pinhões vazios é extremamente alto representado aproximadamente 44% do peso médio da pinha. Valores inferiores foram encontrados por Mantovani et al. (2004) em plantios florestais (22,6%) e por Figueiredo Filho et al. (2011) em áreas naturais (28,8%) e em áreas plantadas (22,6%). Os valores encontrados para o peso dos pinhões vazios foram considerados alto, sendo de 872,75 g (área 1) e 721,67 g (área 2). A alta proporção de pinhões vazios pode estar associada a fatores como: baixa produção de pólen dentro da área observada, a nuvem de pólen produzida pelas árvores pode, ainda, não ter sido suficientemente grande para permitir uma distribuição homogênea, a alta taxa de aborto de óvulos ou embriões em árvores jovens (SOUSA; HATTEMER, 2003).

Os caracteres analisados no presente estudo apresentaram médias superiores se comparadas a outros estudos. Figueiredo Filho et al. (2011) obtiveram o peso médio da pinha (1,390 kg), peso médio de pinhões por pinha (0,37 kg), peso unitário do pinhão (5,80 g) e número de pinhões por pinha (57,47 pinhões) em área plantada. Mantovani et al. (2004), avaliaram a produção de pinhão em dois anos consecutivos (2001 e 2002), obtiveram o valor de 93,9 e 80,7 pinhões (NPP), 6,58 g e 7,00 g para o peso unitário do pinhão (PP) em uma população natural de araucária.

Nota-se que existe grande diferença em cada um dos caracteres avaliados na produção de pinhão nas áreas experimentais quando comparada a outros estudos. Em condições naturais, fatores como o número de indivíduos, proporção sexual, grau de evolução da floresta são

determinantes na avaliação da produção de pinhões (FIGUEIREDO FILHO et al., 2011), bem como a idade das árvores, por definir o período, intensidade de florescimento e a frutificação (SOUSA; HATTEMER, 2003). Em condições experimentais como a do presente estudo, fatores semelhantes podem ser considerados, como: a densidade do plantio, a proporção sexual, bem como a disposição espacial dos indivíduos machos e fêmeas, a intensidade de florescimento e as condições climáticas durante o período de florescimento. A sexagem antes do plantio em áreas experimentais contribuiria efetivamente para uma produção adequada de pinhão e conservação da variabilidade genética.

O ciclo de produção da araucária ocorre com anos de contra safra após 2 ou 3 anos consecutivos de alta produção de sementes (CARVALHO, 2002). Para a obtenção de resultados mais fidedignos, recomenda-se que a produção de sementes da espécie seja acompanhada por no mínimo três anos consecutivos. Com base nos resultados obtidos, os indivíduos mais produtivos dessas áreas poderão ser usados para a coleta de sementes e para compor testes de progênes, com o intuito de obter informações que auxiliem nos programas de melhoramento convencional e participativo da araucária principalmente para a produção de sementes e madeira.

**Tabela 7**– Estatística descritiva dos caracteres de produção de pinhão nas áreas experimentais de *A. angustifolia* em Colombo PR, no ano de 2013.

Áreas	Caracteres	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Área 1	PMP (kg)	1,75	1,15	2,30	0,40
	NPP	101,82	69,44	137,25	23,62
	PP (g)	7,44	5,25	9,71	1,62
	PMPP (kg)	0,77	0,42	1,07	0,22
	PC (g)	872,75	616,67	1196,67	244,55
Área 2	PMP (kg)	1,37	0,98	2,23	0,32
	NPP	88,27	20,92	132,17	28,03
	PP (g)	6,27	4,85	9,54	1,38
	PMPP (kg)	0,60	0,11	1,03	0,21
	PC (g)	721,67	555,33	1082,86	143,67

PMP (kg): Peso médio das pinhas; NPP: Número de pinhões por pinha; PP (g): Peso unitário do pinhão; PMPP (kg): Peso médio de pinhões por pinha (kg); PC (g): peso dos pinhões vazios. Fonte: o próprio autor.

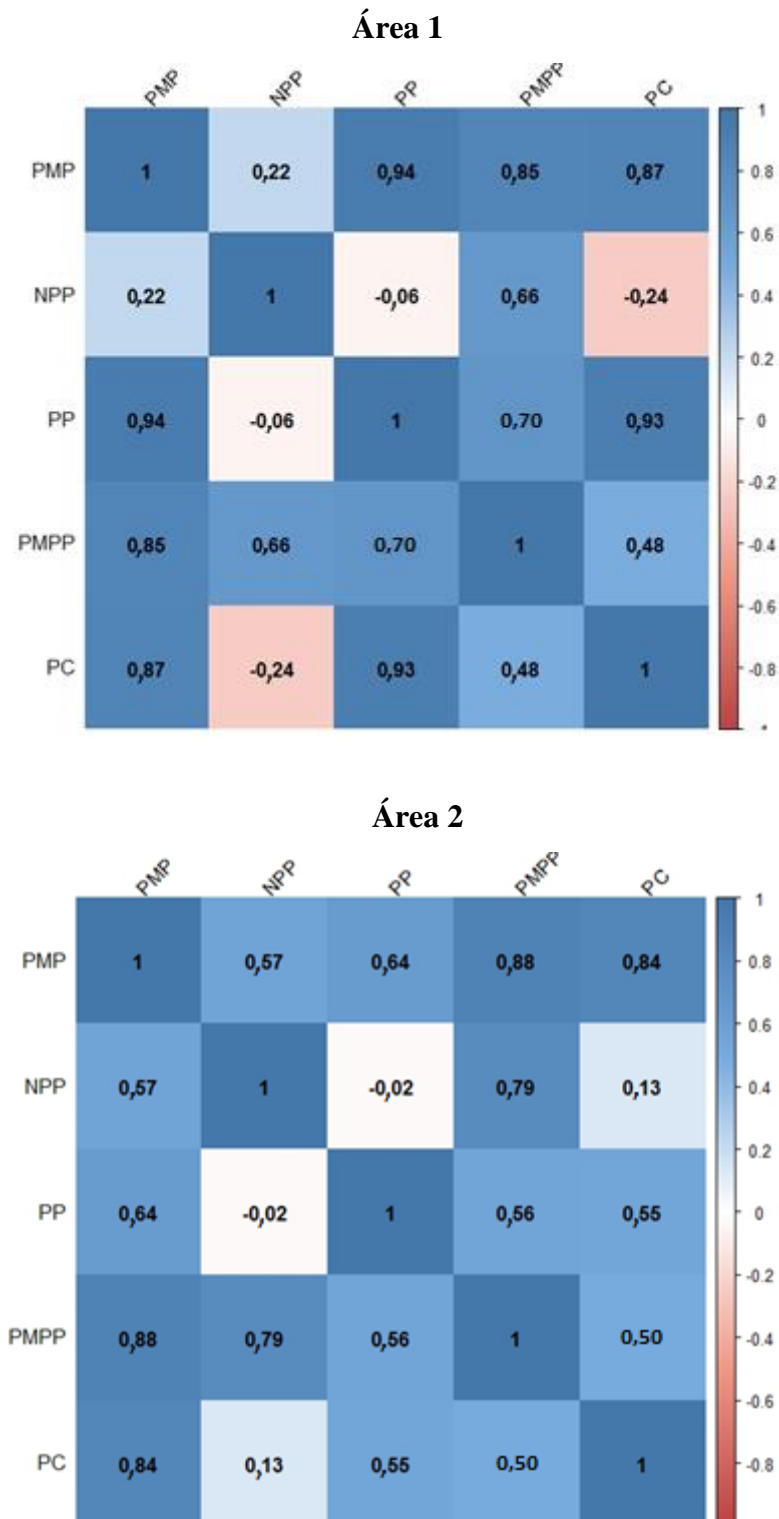
#### 4.2.2 Correlação fenotípica entre os caracteres de produção de pinhão

As correlações fenotípicas entre o peso unitário do pinhão (PP) e o número de pinhões por pinha (NPP) foram fracas e negativas (-0,06 e -0,02) e entre o peso médio do pinhão (PMPP) e o peso médio das pinhas (PMP) foram fortes e positivas (0,85 e 0,88) nas áreas 1 e 2, respectivamente (Figura 12). Correlação moderada a forte e significativa entre o peso médio da pinha (PMP) e as demais variáveis foram observadas. A correlação positiva entre estes caracteres evidencia que quanto maior o peso das pinhas, maior será o número de pinhões, peso unitário dos pinhões, peso médio dos pinhões por pinha e o peso dos pinhões vazios. Dentre as variáveis analisadas para produção de pinhão, o PMPP é um dos principais caracteres a ser considerado, isso porque os tipos de pinhões mais valorizados pelo consumidor estão os graúdos e os da variedade Kaiuvá (SILVA; MIGUEL, 2014). Como o produto é comercializado em kg, quanto maior o PMPP, maior será a renda gerada ao produtor. O número de pinhas por árvore também deve ser priorizado, porém esse caráter não foi quantificado no presente trabalho.

A correlação entre o peso unitário do pinhão (PP) e o número de pinhões por pinha (NPP) foi fraca, negativa e não significativa nas duas áreas experimentais. Indicando que quanto maior o peso unitário do pinhão menor será o número de pinhões por pinha. A ausência de correlação entre o PP e o NPP também foi verificada por Silva (2006). Esse resultado é esperado se for considerar a demanda do mercado. Assim, a seleção para produção de pinhão deverá priorizar os caracteres considerando principalmente a produtividade e a qualidade dos pinhões, exigidas pelo consumidor dentre elas: o peso médio das pinhas (PMP), o peso unitário do pinhão (PP) e o peso médio dos pinhões por pinha (PMPP), bem como número de pinhas por árvore.

Correlação moderada a forte e significativa entre o peso dos pinhões vazios e os caracteres PMP, PP e PMPP foram encontradas nas áreas experimentais. Essa correlação não é desejável, uma vez que gera um grande número de pinhões vazios, que não possui valor comercial. Uma alternativa para utilizar esse produto evitando o descarte é em bases agroecológicas (adubos, matéria seca para composteira e cobertura do solo) e também em artesanatos (VIEIRA; MIGUEL; REIS, 2011).

**Figura 12** – Estimativas das correlações fenotípicas dos caracteres de produção de pinhão nas áreas experimentais 1 e 2 de *A. angustifolia* em Colombo PR, no ano de 2013.



PMP (kg): Peso médio das pinhas; NPP: Número de pinhões por pinha; PP (g): Peso unitário do pinhão; PMPP (kg): Peso médio de pinhões por pinha (kg); PC (g): peso dos pinhões vazios. Fonte: o próprio autor.

### 4.2.3 Correlação fenotípica entre caracteres de produção de pinhão e de crescimento e copa

As correlações fenotípicas entre os caracteres de crescimento e os relacionados a produção de pinhão não foram significativas para quase metade das associações estimadas. As correlações fenotípicas variaram de moderada negativa entre DAP 32 e NPP ( $-0,60$ ), a moderada positiva entre DMC 33 e PP ( $0,48$ ) (Figura 13). O número de árvores matrizes avaliadas foi menor na área 1, podendo ter afetado a acurácia dessas estimativas. Se um caráter correlacionar negativamente com alguns e positivamente com outros caracteres, deve-se evitar a seleção de um caráter alvo que possa provocar mudanças indesejáveis em outros (FALCONER; MACKAY, 1996).

Observou-se relação significativa entre o DMC 33 e os caracteres PMP ( $0,37$  e  $0,15$ ) e PP ( $0,48$  e  $0,30$ ), respectivamente nas áreas 1 e 2. Assim, quanto maior o diâmetro médio de copa da matriz produtora, maior será o peso das pinhas e o peso unitário dos pinhões e consequentemente menor será o número de pinhões por pinha. A relação entre a produção de sementes e o diâmetro médio da copa têm sido observada em estudos de outras espécies. No geral as melhores matrizes produtoras são árvores dominantes, com copas amplas e bem desenvolvida e expostas a luz. Entretanto, deve-se atentar que além dessas características outros fatores como a proporção sexual, disposição espacial e o espaçamento entre as árvores são de extrema importância para a produção de pinhão.

O caráter ALT 32 apresentou correlação positiva e significativa apenas com NPP ( $0,19$ ) na área 2, com os demais caracteres a correlação não foi significativa. Silva (2006), avaliou a associação entre ALT e os mesmos caracteres de produção de pinhão e não obteve nenhuma correlação significativa. Analisando a correlação fenotípica entre a ALT 32 e os caracteres de produção de pinhão sugere-se não considerar essa associação nas futuras tomadas de decisões das seleções dos genótipos visando simultaneamente a produção de pinhão e madeira, uma vez que não houve correlação entre esses caracteres, e, consequentemente, a seleção de um caráter pode afetar negativamente o outro.

O caráter DAP 32 apresentou correlações variando de fortemente negativa e significativa ( $-0,60$ ) entre o NPP a moderada positiva ( $0,43$ ) entre o PC (Figura 13). Verificou-se correlação fraca e não significativa entre o DAP 32 e o PMPP ( $-0,09$  e  $0,01$ ) e moderada entre o DAP 32 e PMP ( $0,20$  e  $0,16$ ), respectivamente nas áreas 1 e 2. Já a correlação entre DAP 32 e PP foi de  $0,37$  (área 1) e  $-0,04$  (área 2). Silva (2006), observou correlação significativa entre DAP e PMPP ( $0,59$ ) e entre DAP e PP ( $0,55$ ). Silva e Reis (2009) verificaram correlação

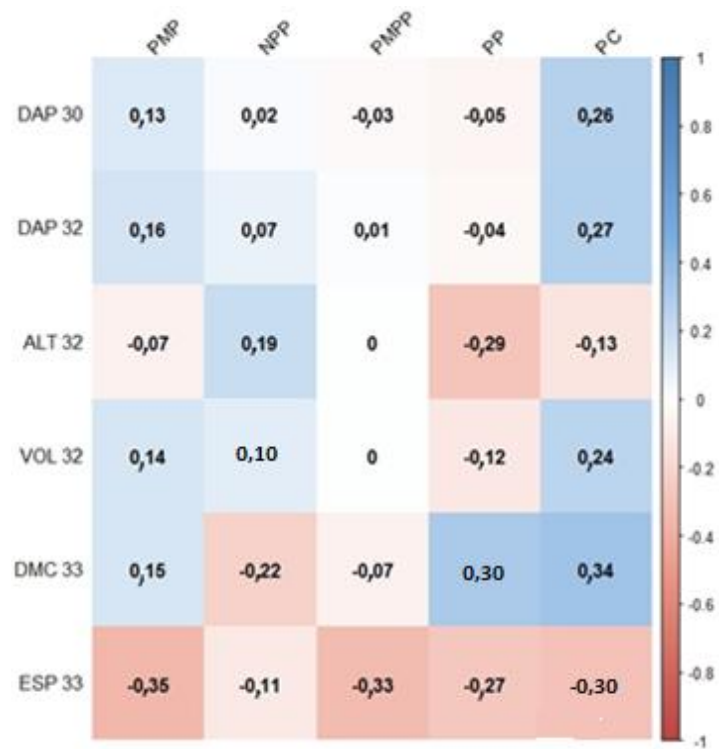
moderada entre DAP e PP (0,59). Para a implantação do pomar de sementes ou até mesmo de plantios comerciais, recomenda-se que para as áreas experimentais avaliadas os dois objetivos podem ser considerados conjuntamente na primeira geração, porém após avaliações, as estratégias deverão seguir separadamente até obtenção dos genótipos melhorados. O acompanhamento e avaliações em anos posteriores também deverão ser realizadas para obtenção de resultados mais fidedignos considerando as diferentes safras de produção.

**Figura 13** – Correlações fenotípicas entre os caracteres de produção de pinhão e os de crescimento avaliados nas áreas experimentais em Colombo- PR



PMP (kg): Peso médio das pinhas; NPP: Número de pinhões por pinha; PP (g): Peso unitário o pinhão; PMPP (kg): Peso médio de pinhões por pinha (kg); PC (g): peso dos pinhões vazios; DAP 30 (cm); DAP 32 (cm): diâmetro a altura do peito aos 30 e 32 anos; ALT 32 (m): altura total aos 32 anos; VOL 32 (m<sup>3</sup>): volume total; DMC 33 (m): diâmetro médio da copa aos 33 anos; ESP 33 (cm): espessura da casca aos 33 anos de idade. Fonte: o próprio autor.

## Área 2



PMP (kg): Peso médio das pinhas; NPP: Número de pinhões por pinha; PP (g): Peso unitário o pinhão; PMPP (kg): Peso médio de pinhões por pinha (kg); PC (g): peso dos pinhões vazios; DAP 30 (cm); DAP 32 (cm): diâmetro a altura do peito aos 30 e 32 anos; ALT 32 (m): altura total aos 32 anos; VOL 32 (m<sup>3</sup>): volume total; DMC 33 (m): diâmetro médio da copa aos 33 anos; ESP 33 (cm): espessura da casca aos 33 anos de idade. Fonte: o próprio autor.

## 5 CONCLUSÕES

A variação genética nas áreas experimentais de *Araucaria angustifolia*, sobretudo para os caracteres DAP e VOL, sugerem a possibilidade de ganhos genéticos satisfatórios por meio da seleção. A maior proporção da variação genética encontra-se entre progênies para a maioria dos caracteres silviculturais.

As procedências de Telêmaco Borba-PR e Irati-PR apresentam os maiores desempenhos em crescimento em diâmetro em Colombo-PR.

A seleção individual menos intensiva para produção de madeira é a mais indicada para as áreas experimentais, pois se obterá ganho consideráveis na seleção, mantendo-se o tamanho efetivo adequado e não permitindo uma redução drástica em relação à diversidade genética.

A relação significativa entre as matrizes de distância genética e distância geográfica mostra que variação entre procedência para os caracteres avaliados também deve ser considerada na seleção de indivíduos.

Correlações altas, positivas e significativas foram observadas entre os caracteres de crescimento, espessura da casca e diâmetro da copa. A correlação entre os caracteres de crescimento e a espessura da casca deve ser considerado no melhoramento genético para produção de madeira, visto que o volume de madeira serrada pode ser negativamente afetado.

Os caracteres de produção de pinhão avaliados na área 1 foram ligeiramente superiores comparados aos da área 2. As correlações fenotípicas entre os caracteres de crescimento e os relacionados a produção de pinhão não foram significativas para grande parte das associações estimadas. A seleção direta para alguns caracteres relacionados a produção de madeira deverá provocar mudanças desfavoráveis de pequena magnitude na produção de pinhão.



## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. V. **Emprego de parâmetros moleculares e quantitativos na conservação e melhoramento de *Eugenia dysenterica***. 2004. 186 f. Tese (Doutorado em Agronomia em Genética e Melhoramento de Plantas)- Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2004.
- ANSELMINI, J. I.; ZANETTE, F.; BONA, C. Fenologia reprodutiva de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, na região de Curitiba, Paraná. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, p. 44-52, 2006.
- ALBERTO, F. J.; AITKEN, S. N.; ALÍA, R.; GONZALEZ-MARTÍNEZ, S. C.; HANNINEN, H.; KREMER, A.; LEFEVRE, F.; LENORMAND, T.; YEAMAN, S.; WHETTEN, R.; SAVOLAINEN, O. Potential for evolutionary responses to climate change evidence from tree populations. **Global Change Biology**, Chichester, v. 19, n. 6, p. 1645–61, 2013.
- AQUINO, F. M. **Cultivo da *Araucaria angustifolia***: viabilidade econômico financeira e alternativas de incentivo. Florianópolis: Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul, 2005. p. 53.
- AVISE, J. C. **Molecular markes, natural history and evolution**. New York: Chapman and Hall, 1994. 511 p.
- BAKER, H. G. Some functions of dioecy in seed plants. **American Naturalist**, Chicago, v. 124, n. 2, p. 149-158, 1984.
- BALBINOT, R.; GARZEL, J. C. L.; WEBER, K.S.; RIBEIRO, A. B. Tendências de consumo e preço de comercialização da pinhão semente da *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze. no Estado do Paraná. **Ambiência**, Guarapuava, v. 4, n. 3, p. 463-472, 2008.
- BANDEL, G.; GURGEL, J. T. A. Proporção do sexo em pinheiro brasileiro *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v. 6, p. 209-220, 1967.
- BASSO, C. G. M. A araucária e a paisagem do planalto sul brasileiro. **Revista de Direito Público**, Londrina, v. 5, n. 2, p. 1 - 11, 2010.
- BATISTA, C. M.; LIMA, M. A. C.; LEO, P. C. S.; SOUZA, F. F.; ALVES, R. E. Estimativas de parâmetros genéticos e a variabilidade em procedências e progênes de *Handroanthus vellosi*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 71, p. 269–276, 2012.
- BERTONHA, L. J.; MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M.; FREITAS, M. L. M. Seleção de progênes de *Myracrodruon urundeuva* baseada em caracteres fenológicos e de crescimento para reconstituição de áreas de Reserva Legal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 109, p. 108-116, 2016.
- BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. 20. ed. Viçosa: Editora UFV, 1997. p. 547.

CARVALHO, P. E. R. **Pinheiro-do-paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. p. 17. (Circular Técnica, 60).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB. **Pinhão**: semente. Brasília: [s.n.], 2014. Conjuntura Especial, set. 2014. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14\\_09\\_09\\_12\\_36\\_06\\_pinhaosemente\\_setembro\\_2014.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_09_09_12_36_06_pinhaosemente_setembro_2014.pdf)>. Acesso 5 de julho de 2016.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2004.

DANIEL, T. W.; HELMS, J. A.; BACKER, F. S. **Princípios de silvicultura**. México: Mac Graw Hill, 1982. p. 492.

DANIEL, R. F.; BURKHART, H. E.; CLASON, T. R. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. **Canadian Journal for Forest Research**, Ottawa, v. 16, n. 6, p. 1230-1237, 1986.

DUARTE, R. I.; SILVA, F. A. L. S.; SCHULTZ, J.; SILVA, J. Z.; REIS, M. S. Características de Desenvolvimento Inicial em Teste de Progênie de uma População de Araucária na Flona de Três Barras-SC. **Biodiversidade Brasileira**, Brasília, v. 2, n. 2, p. 114–123, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2013. p. 353.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 1987. p. 219.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. London: Longman Malaysia, 1996. p. 46.

FERREIRA, D. K.; NAZARENO, A. G.; MANTOVANI, A.; BITTENCOURT, R.; SEBBENN, A. M.; REIS, M. S. Genetic analysis of 50-year old Brazilian pine (*Araucaria angustifolia*) plantations : implications for conservation planning. **Conservation genetic**, Dordrecht, v. 13, n. 2, p. 435–442, 2012.

FIGUEIREDO-FILHO, A.; ORELLANA, E.; NASCIMENTO, F.; DIAS, A. N.; INOUE, M. T. Produção de sementes de *Araucaria angustifolia* em plantio e em floresta natural no centro-sul do Estado do Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 1, p. 153-160, 2011.

FIGUEIREDO FILHO, A.; RETSLAFF, F. A. S.; KOHLER, S. V.; BECKER, M.; BRANDES, D. Efeito da Idade no Afilamento e Sortimento em Povoamentos de *Araucaria angustifolia*. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 50-59, 2015.

FINKELDEY, R. E. Sex ratio in quarring aspen and possible sex-related characteristics. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 13, n. 4, p. 116-118, 1999.

FRANÇA, F. J. N. **Propriedades da madeira de eucalipto para a produção de madeira serrada**. 2014. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2014.

FRANKEL, O. H.; SOULÉ, M. S. **Conservation and evolution**. Cambridge: Cambridge University Press, 1981. p.327.

FREIRE, J. M., PIÑA-RODRIGUES, F. C. M., LIMA, E. R. DE, SODRÉ, S. R. C.; CORRÊA, R. X. Estrutura genética de populações de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (guapuruvu) por meio de marcadores RAPD. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.35, n. 74, p. 27-35, 2007.

GARTLAND, K. M. A.; CROW, R. M.; FENNING, T. M.; GARTLAND, J. S. Genetically modified trees: production, properties, and potential. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 29, n. 5, p. 259-266, 2003.

GOIS, I. B.; FERREIRA, R. A.; MANN, R. S.; PANTALEÃO, S. M.; GOIS, C. B.; OLIVEIRA, R. S. C. Variabilidade genética em populações naturais de *Ziziphus joazeiro* Mart., por meio de marcadores moleculares RAPD. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 621-630, 2014.

GUERRA, M. P.; SILVEIRA, V.; REIS, M. S.; SCHENEIDER, L. Exploração, manejo e conservação da araucária (*Araucaria angustifolia*). In: SIMÕES, L. L.; LINO, C. F. (Orgs.). **Sustentável Mata Atlântica: a exploração dos seus recursos florestais**. São Paulo: SENAC, 2002. p. 85-102.

GUERRA, C. R. S. B. et al. Estratégias de seleção dentro de progênies em duas populações de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All., **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 81, p. 79-87, 2009.

GUBERT FILHO, F. A. **Proposta para a criação de um sistema de unidades de conservação de *Araucaria angustifolia* no Estado do Paraná**. Curitiba: Instituto de Terras, Cartografia e Florestas, 1989. p. 36.

GURGEL FILHO, O. A. Silveira da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: MEETING ON FORESTRY PROBLEMS OF THE GENUS ARAUCÁRIA- IUFRO, 1. 1979, Curitiba. **Meeting...** Curitiba: FUPEF, 1980. p. 29-68.

HAMRICK, J. L. The distribution of genetic vananon within and among natural plant population. In: SCHONE-W ALD-COX, C. M. et al. (Ed.). **Genetics and conservation**. Menlo Park: Benjamin Cummings Publishing Company, 1983. p. 335-348.

HANDRO, W.; FERREIRA, C. M. *Araucaria* (*Araucaria* spp.). In: BAJAI, Y. P. S. (Ed.). **Biotechnology in agriculture and forestry: tree I**. Berlin: Springer-Verlag, 1986. p. 310-315.

HARDON, J. 1995. Participatory plant breeding. The Outcome of a Workshop on Participatory Plant Breeding, 26–29 July 1995. **Plant Genetic Resources**, Maccarese, n. 3, 1995.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES- IBÁ. **Relatório Ibá 2015**. Brasília: [s.n.], 2015. p. 65.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2013. v. 28, p. 16-17.

IOB, G.; VIEIRA, E. M. Seed predation of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) in the Brazilian Araucaria Forest: influence of deposition site and comparative role of small and large mammals. **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 198, n. 2, p. 185–196, 2008.

JEONG, J. H. et al. Genetic diversity and structure of the endangered species *Megaleranthis saniculifolia* in Korea as revealed by allozyme and ISSR markers. **Plant Systematics and Evolution**, v. 289, n. 1-2, p. 67-76, 2010.

KAGEYAMA, P. Y.; JACOB, W. S. Variação genética entre e dentro de populações de *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze. In: ENCONTRO IUFRO SOBRE A PROBLEMATICA DA ARAUCÁRIA, 1., 1980, Curitiba. **Encontro...** Curitiba: FUPEF, 1980. n. 115, p. 83-86.

KOCH, Z.; CORRÊA, M. C. **Araucária**: a floresta do Brasil meridional. Curitiba: Olhar Brasileiro, 2002. p. 148.

KUHN, S. A.; ERNESTO, J.; MARIATH, J. E. A. Reproductive biology of the Brazilian pine (*Araucaria angustifolia* – Araucariaceae): development of microspores and microgametophytes. **Flora**. Amsterdam, v. 209, n. 5-6 p. 290–298, 2014.

LIMA, A. R.; CAPOBIANCO, J. P. R. **Mata Atlântica**: avanços legais e institucionais para sua conservação. Brasília: Instituto Sócio Ambiental, 1997. 100 p. (Documentos do ISA, 004).

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil, **Plantarum**, Nova Odessa, v. 1, n. 2, p. 352, 1992.

MARTINEZ, D. T.; RESENDE, M. D. V.; COSTA, R. B.; HIGA, A. R.; SANTOS, G. A. S.; FIER, I. S. N. Estudo da interação genótipo x ambiente em progênies de *Pinus taeda* por meio da análise de parâmetros genéticos. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 3, p. 539-552, 2012.

MATTOS, J. R. **O pinheiro brasileiro**. 2. ed. Lages: Artes Gráficas Princesa, 1994. v. 5, p. 225.

MANTOVANI, A.; MORELLATO, L. P. C.; REIS, M. S. Fenologia reprodutiva e produção de sementes em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 27, n.4, p. 787-796, 2004.

MEDINA-MACEDO, L.; SEBBENN, A. M.; LACERDA, A. E. B.; RIBEIRO, J. Z.; SOCCOL, C. R.; BITTENCOURT, J. V. M. High levels of genetic diversity through pollen flow of the coniferous *Araucaria angustifolia*: a landscape level study in Southern Brazil. **Tree Genetics & Genomes**, Berlin, v. 11, n. 1, p. 814, 2014.

MURAKAMI, M. H. **Identificação de marcador molecular associado à expressão sexual em *Araucaria angustifolia* Bert. O. Ktze**. 2002. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002

MOREIRA, J. P.; SHIMIZU, J. Y.; SOUSA, V. A.; MORAES, M. L. T.; MOURA, N. F.; AGUIAR, A. V. de. Ganho esperado na seleção de progênies de *Pinus elliottii* var. *elliottii* em idade precoce para produção de madeira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 78, p. 99-109, 2014.

- MOURA, N. F. **Caracterização de frutos e progênies de pequizeiro (*Caryocar brasiliense Camb.*) do cerrado.** 2011. 150 f. Tese (Doutorado – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011).
- NUNES, G. H. S.; BVARROS, A. K. A.; QUEIROZ, M. A.; SILVA, R. A.; LIMA, L. L. Correlações entre características de meloeiro. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 1, p. 107-117, 2008.
- NUNNEY, L.; CAMPBELL, K. A. Assessing nurumum viable population size: oemography meets population genetics. **Tree**, Victoria, v. 8, n. 7, p. 234-239, 1993.
- PALUDO, G. F.; MANTOVANI, A.; KLAUBERG, C.; REIS, M. S. Estrutura demográfica e padrão espacial de uma população natural de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae) em Santa Catarina. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1109-1121, 2009.
- PATREZE, C. M.; TSAI, S. M. Intrapopulation genetic diversity of *Araucaria angustifolia* (Bertol) Kuntze is different when assessed on the basis of chloroplast or nuclear markers. **Plant Systematics and Evolution**, Vienna, v. 284, n. 1, p. 111–122, 2010.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais:** exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002, 309 p.
- PIRES, P. T. de L.; ZENI JUNIOR, D. M.; GAULKE, D. As unidades de conservação e a Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 589- 603, 2012.
- PUCHALSKI, A.; MANTOVANI, M.; REIS, M. S. dos. Variações em populações naturais de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze associada a condições edafo-climáticas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 34, n. 70, p. 137-148, 2006.
- REITZ, R.; KLEIN, R. M. **Araucariáceas.** Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. p. 62.
- RESENDE, M. D. V.; SIMEAO, R. M., STURION, J. A. Fundamentos de genética de populações para conservação de germoplasma da erva mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SIL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais...** Colombo: Embrapa-CNPQ, 1997. p.173-207.
- RESENDE, M. D. V. Melhoramento de essências florestais. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas.** Viçosa: UFV, 1999. p. 589 – 648.
- RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. p. 975.
- RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.
- SAMPAIO, P. T. B.; RESENDE, M. D. V.; ARAÚJO, A. J. Estimativas de parâmetros genéticos e métodos de seleção para o melhoramento genético de *Pinus oocarpa* Schiede. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 625–636, 2002.

- SANQUETTA, C. R.; DOLCI, M. C.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, M. N. I.; PELISSARI, A. L. Estimação de volumes de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze por fatores de forma em classes diamétricas e modelos de regressão. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 13, n. 23, p. 588-597, 2016.
- SANTOS, A. J.; CORSO, N. M.; MARTINS, G.; BITTENCOURT, E. Aspectos produtivos e comerciais do pinhão no estado do Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, n. 32, v. 2, p. 163-169. 2002.
- SCHEEREN, L. W.; FINGER, C. A. G.; SCHUMACHER, M. V.; LONGHI, S. J. Crescimento em altura de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, em três sítios naturais, na região de Canela (RS). **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 23-40, 1999.
- SEBBENN, A. M.; SIQUEIRA, A. C. M. F.; KAGEYAMA, P. Y.; MACHADO, J. A. R. Parâmetros genéticos na conservação da cabreúva (*Myroxylon peruiferum* L.F. Allemão). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 26, n. 53, p. 31-38, 1998.
- SEBBENN, A. M.; ZANATTO, A. C. S.; KAGEYAMA, P. Y. Estrutura genética em populações de Jequitibá-rosa (*Cariniana legalis* (Mart.) O. Ktze.) por caracteres quantitativos e isoenzimas. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 121-134, 2001.
- SEBBENN, A. M. Tamanho amostral para conservação ex situ de espécies arbóreas com sistema misto de reprodução. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 147-162, 2003a.
- SEBBENN, A. M.; PONTINHA, A. A. S.; GIANOTTI, E.; KAGEYAMA, P. Y. Genetic variation in provenance-progeny test of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. in São Paulo, Brasil. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 52, n. 5-6, p. 181-184, 2003b.
- SEBBENN, A. M.; PONTINHA, A. A. S.; GIANOTTI, E.; KAGEYAMA, P. Y. Variação genética entre e dentro de procedências e progênies de *Araucaria angustifolia* no sul do estado de São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 52, n. 14, 2, 109-124, 2003c.
- SEBBENN, A. M.; FREITAS, S. A.; FREITAS, J. A. Variação genética em cinco procedências de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no sul do estado de São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 91-99, 2004.
- SETOGUCHI, H.; OSAWA, T. A.; PINTAUD, J. C.; JAFFRÉ, T.; VEILLON, J. M. Phylogenetic relationships within Araucariaceae based on *rbcl* gene sequences. **American Journal of Botany**, Amsterdam, v. 85, n. 11, p. 1507-1516, 1998.
- SHIMIZU, J. Y.; OLIVEIRA, Y. M. M. de. **Distribuição, variação e usos dos recursos genéticos da araucária no sul do Brasil**. Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1981. 9 p. (Documentos).
- SHIMIZU, J. Y. Variação entre procedências de Araucária em Ribeirão Branco (SP) aos vinte e três anos de idade. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 38, p. 89-102, 1999.
- SHIMIZU, J. Y.; JAEGER, P.; SOPCHAKI, S. A. Variabilidade Genética em uma População Remanescente de Araucária no Parque Nacional do Iguaçu, Brasil. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 41, p. 18-36, 2000.

SILVA, C. V. **Aspectos da obtenção e comercialização de pinhão na região de Caçador - SC.** 2006. 123f. Dissertação Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SILVA, C. V.; REIS, M. S. Produção de pinhão na região de Caçador-SC: aspectos da obtenção e sua importância para comunidades locais. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 4, p 365-376, 2009.

SILVA, J. M.; AGUIAR, A. V.; MORI, E. S.; MORAES, M. L. T. Variação genética e ganho esperado na seleção de progênies de *Pinus caribaea* var. *caribaea* em Selvíria, MS genetic variation and expected gain in selection of *Pinus caribaea* morelet var. *caribaea* progenies in Selviria, MS. **Scientia forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 241–252, 2011.

SILVA, C. V.; MIGUEL, L. A.; REIS, M. S. Utilizações alternativas para a “falha”, componente da pinha (*Araucaria angustifolia*), e seu potencial para a agricultura de base agroecológica. In: VII Congresso Brasileiro de Agroecologia, v.6, n.2, Fortaleza. **Anais: Cadernos de Agroecologia**, 2011. p. 1-5.

SILVA, C. V.; MIGUEL, L. A. Os Canais de Comercialização do Pinhão e seus agentes, São Francisco de Paula, RS. In: 7º Encontro de Economia Gaúcha, 2014, Porto Alegre. **Anais do 7º Encontro de Economia Gaúcha**, 2014.

SINCLAIR, J. P.; EMLLEN, J.; FREEMAN, D. C. Biased sex ratios in plants: theory and trends. **Botanical Review**, New York, v. 78, n. 1, p. 66-86, 2012.

SONEGO, R. C.; BACKES, A.; SOUZA A. F. Descrição da estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista, RS, Brasil, utilizando estimadores não-paramétricos de riqueza e rarefação de amostras. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 21, n. 4, p. 943–955, 2007.

SOLÉ-CAVA, A. M. Biodiversidade molecular e genética. In: MATIOLI, S. R. (Ed.). **Biologia molecular e evolução**. Ribeirão Preto: Holos, 2001. p.172-192.

SOUSA, V. A **Population genetic studies in *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 2001. 161 f. Thesis (PhD)– Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology, Institute of Forest Genetics and Forest Tree Breeding, Georg-August University of Göttingen, 2001.

SOUSA, V. A.; ROBINSON, I. P.; HATTEMER, H. H. Variation and population structure at enzyme gene loci in *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 53, n.1, p. 12-19, 2004.

SOUSA, V. A.; CHAVES, A.; SHIMIZU, J. Y.; VALGAS, R. A.; LAVORANTI, O. J. Genetic differentiation among *Araucaria* populations in Brazil. In: Congresso Florestal Mundial, 13, 2009, Buenos Aires. **Desarrollo forestal: equilibrio vital**. Argentina: FAO, 2009.

SOUSA, V.A.; CARVALHO, P. E. R.; CARPANEZZI, A. A.; FOWLER, J. A. P.; WREGE, M. S.; BOGNOLA, I. A.; PENTEADO, S. R. C.; AUER, C. G.; SANTOS, A. F.; WENDLING, I.; BOTOSSO, P. C.; KALIL FILHO, A. N.; BAGGIO, A. J.; AGUIAR, A. V. **Cultivo da Araucária: sistema de produção de araucária**. Colombo: [s.n.], 2010. Disponível em: <https://www.spo.cnpqia.embrapa.br/conteudo>. Acesso em: 10 ab 2016.

SOUSA, V. A.; RICHARDS, C. M. Genetic diversity and biogeographic determinants of population structure in *Araucaria angustifolia* BERT. O. KTZE. In: MOLECULAR ECOLOGY - INTERNATIONAL CONFERENCE; INTERNATIONAL CONFERENCE -

- MOLECULAR ECOLOGY PROGRAMME AND ABSTRACTS, 2012, Vienna.  
**Conference...** Vienna: Vienna International Plant Conference Association, 2012. p. 49.
- SOUSA, V. A.; AGUIAR, A. V. **Programa de melhoramento genético de araucária da Embrapa Florestas: situação atual e perspectivas.** Colombo: Embrapa Florestas, 2012. 40 p.
- SOUZA, M. I. F.; SALGUEIRO, F.; BOTTINO, M. C.; FÉLIX, D. B.; FERREIRA, M. A.; BITTENCOURT, J. V.; MARGIS, R. Patterns of genetic diversity in southern and southeastern *Araucaria angustifolia* (Bert.). O. Kuntze relict populations. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 32, n. 3, p. 546-556, 2009.
- SPITZE, K. Population structure in *Daphnia obtusa*: quantitative genetic and allozymic variation. **Genetics**, Flórida, v. 135, n. 2, p. 367-374, 1993.
- STEFENO, N, V. M.; NODARI, R. O.; REIS, M. S. Padronização de Protocolo AFLP e sua capacidade informativa para análise da diversidade genética em *Araucaria angustifolia*. **Scientia forestalis**, Piracicaba, v. 31 n. 64, p. 163-171, 2003.
- STEFENON, V. M.; FINKELDEY, R. Genetic Structure of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) Populations in Brazil : implications for the in situ conservation of genetic resources. **Plant biology**, New York, v. 9, n. 4, p. 516–525, 2007.
- STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V.; MENDES, S. Proporção de sexo e produtividade massa foliar em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Boletim de Pesquisa florestal**, Colombo, v. 30, n. 3, p. 19-27, 1995.
- TELLES, M. P. C.; SILVA, R. S. M.; CHAVES, L. J.; COELHO, A. S. G.; DINIZ FILHO, J. A. F. Divergence between subpopulations of cagaiteira (*Eugenia dysenterica*) in response to edaphic patterns and spatial distribution. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1387-1394, 2001.
- VALGAS, R. A. **Análise multivariada aplicada no mapeamento da divergência genética de subpopulações de *Araucaria angustifolia* por marcadores moleculares.** 2008.139 f. Dissertação – Mestrado em Ciências- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- VENCOVSKY, R. Genética quantitativa. In: PATERNIANI, E. (Coord.). **Melhoramento do milho no Brasil.** Campinas: Fundação Cargill, 1978. p. 122-201.
- VENCOVSKY, R. Tamanho efetivo populacional na coleta e preservação de germoplasma de espécies alógamas. **Instituto de Pesquisa e Estudo Florestais– IPEF**, Piracicaba, n. 35, p. 79-84, 1987.
- VENCOVSKY, R. Biometrical approaches for molecular marks estimation of effective populations size. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON AGRICULTURAL BIOTECHNOLOGY, 1997, Piracicaba. **Proceedings...** Piracicaba: ESALQ/USP, 1997. p. 233-237.
- VENCOVSKY, R.; CHAVES, L. J.; CROSSA, J. Variance effective population size for dioecious species. **Crop Science**, Madison, v. 52, n. 1, p. 79–90, 2012.
- WANG, J. Effective size and *F*-statistics of subdivided populations. II. Dioecious species. **Genetics**, New York, v. 146, n. 2, p. 1465–1474, 1997.



WEI, R. P.; LINDGREN, D. Effective family number following selection with restrictions. **Biometrics**, Arlington, v. 52, n. 2, p. 198 - 208, 1996.

ZANON, M. L. B. **Crescimento da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze diferenciado por dioícia** 2007. 110 f. Tese (Doutorado)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

ZANON, M. L. B.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Proporção da diócia e distribuição diamétrica de árvores masculinas e femininas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze, em povoamentos implantados. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 425-431, 2009.

## ANEXOS

**Tabela 1A** – Estimativas das correlações genéticas (acima da diagonal) e correlações fenotípicas (abaixo da diagonal) entre os caracteres de crescimento em progênies de *A. angustifolia* avaliados nas áreas experimentais aos 30, 32 e 33 anos de idade em Colombo-PR.

Áreas	Caracteres	DAP 30	DAP 32	ALT 32	VOL 32	DMC 33	ESP 33
Área 1	DAP 30	-	0,98**	0,75**	0,96**	0,81**	0,67**
	DAP 32	0,99**	-	0,70**	0,98**	0,83**	0,64**
	ALT 32	0,69**	0,68**	-	0,72**	0,70**	0,57**
	VOL 32	0,96**	0,98**	0,71**	-	0,82**	0,60**
	DMC 33	0,85**	0,86**	0,61**	0,85**	-	0,43**
	ESP 33	0,34**	0,35**	0,09**	0,29**	0,24**	-
Área 2	DAP 30	-	0,98**	0,63**	0,96**	0,63**	0,50**
	DAP 32	0,98**	-	0,63**	0,97**	0,64**	0,51**
	ALT 32	0,51**	0,51**	-	0,74**	0,42**	0,20**
	VOL 32	0,94**	0,96**	0,70**	-	0,63**	0,47**
	DMC 33	0,61**	0,62**	0,27**	0,57**	-	0,32**
	ESP 33	0,47**	0,48**	0,16**	0,44**	0,36**	-
Área 3	DAP 32	-	-	0,84**	0,95**	-	-
	ALT 32	-	0,97**	-	0,84**	-	-
	VOL 32	-	0,91**	0,83**	-	-	-

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo Teste *t*.

DAP 30 (cm); DAP 32 (cm): diâmetro a altura do peito aos 30 e 32 anos; ALT 32 (m): altura total aos 32 anos; VOL 32 (m<sup>3</sup>): volume total; DMC 33 (m): diâmetro médio da copa aos 33 anos; ESP 33 (cm): espessura da casca aos 33 anos de idade. Fonte: o próprio autor.

**Tabela 2A** – Estimativas das correlações fenotípicas dos caracteres de produção de pinhão nas áreas experimentais 1 e 2 de *A. angustifolia* em Colombo PR, no ano de 2013.

Áreas	Caracteres	PMP	NPP	PP	PMPP	PC
Área 1	PMP	-				
	NPP	0,22 <sup>ns</sup>	-			
	PP	0,94**	-0,06 <sup>ns</sup>	-		
	PMPP	0,85**	0,66**	0,69**	-	
	PC	0,87**	-0,24 <sup>ns</sup>	0,92**	0,45**	-
Área 2	PMP	-				
	NPP	0,56**	-			
	PP	0,63**	-0,02 <sup>ns</sup>	-		
	PMPP	0,88**	0,79**	0,58**	-	
	PC	0,84**	0,13 <sup>ns</sup>	0,54**	0,49**	-

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo Teste *t*.

PMP (kg): Peso médio das pinhas; NPP: Número de pinhões por pinha; PP (g): Peso unitário do pinhão; PMPP (kg): Peso médio de pinhões por pinha (kg); PC (g): peso dos pinhões vazios. Fonte: o próprio autor.

**Tabela 3A** – Estimativas de correlações fenotípicas entre os caracteres de produção de pinhão e os de crescimento avaliados nas áreas experimentais de *A. angustifolia* em Colombo-PR.

Áreas	Caracteres	PMP	NPP	PMPP	PP	PC
Área 1	DAP 30	0,18 <sup>ns</sup>	-0,59 <sup>**</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>**</sup>	0,39 <sup>**</sup>
	DAP 32	0,20 <sup>ns</sup>	-0,60 <sup>**</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>**</sup>	0,43 <sup>**</sup>
	ALT 32	0,07 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>
	VOL 32	0,21 <sup>ns</sup>	-0,51 <sup>**</sup>	-0,00 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>**</sup>	0,38 <sup>**</sup>
	DMC 33	0,37 <sup>**</sup>	-0,14 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>**</sup>	0,48 <sup>**</sup>	0,25 <sup>**</sup>
	ESP 33	0,03 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>
Área 2	DAP 30	0,13 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>**</sup>
	DAP 32	0,16 <sup>**</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>**</sup>
	ALT 32	-0,07 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>**</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	-0,29 <sup>**</sup>	-0,13 <sup>ns</sup>
	VOL 32	0,14 <sup>**</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	-0,00 <sup>ns</sup>	-0,12 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>**</sup>
	DMC 33	0,15 <sup>**</sup>	-0,22 <sup>**</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>**</sup>	0,34 <sup>**</sup>
	ESP 33	-0,35 <sup>**</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	-0,33 <sup>**</sup>	-0,27 <sup>**</sup>	-0,30 <sup>**</sup>

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo Teste *t*.

PMP (kg): Peso médio das pinhas; NPP: Número de pinhões por pinha; PP (g): Peso unitário do pinhão; PMPP (kg): Peso médio de pinhões por pinha (kg); PC (g): peso dos pinhões vazios; DAP 30 (cm); DAP 32 (cm): diâmetro a altura do peito aos 30 e 32 anos; ALT 32 (m): altura total aos 32 anos; VOL 32 (m<sup>3</sup>): volume total; DMC 33 (m): diâmetro médio da copa aos 33 anos; ESP 33 (cm): espessura da casca aos 33 anos de idade. Fonte: o próprio autor.

**Tabela 4A** – Proporção sexual em progênie de áreas experimentais de *A. angustifolia* em Colombo-PR.

Sexo	Área 1	Área 2	Área 3
F	37,95	48,57	-
M	56,41	49,52	-
H	1,54	-	-
Ni	4,10	1,90	-
<b>Total</b>	195	210	291

F= fêmeas; M= machos; H= hermafroditas; Ni= sexo não identificado. Fonte: o próprio autor.

**Tabela 5A** – Matrizes produtoras de pinhão nas áreas experimentais de *A. angustifolia*, em Colombo-PR, no ano de 2013.

Áreas	Procedências	Matrizes
Área 1	Telêmaco Borba, PR	9;10
	Irati, PR	10;27
	Quatro Barras, PR	7
Área 2	Itapeva, SP	1;6;7,9;12;14
	Itararé, SP	2;5;6;10
	Chapecó, SC	2;5;6;8
	Três Barras, SC	2;5;9;10

Fonte: o próprio autor.

**Tabela 6A** – Matriz de distância genotípica (Mahalanobis) referentes as plantas da área experimental 1 composta por cinco procedências de *A. angustifolia*, em Colombo-PR.

Procedências	1	2	3	4	5
1	0,00				
2	2,43	0,00			
3	1,89	0,97	0,00		
4	1,65	1,23	0,69	0,00	
5	1,82	0,95	0,68	0,45	0,00

1- Telêmaco Borba-PR, 2- Caçador-SC, 3- Quatro Barras-PR, 4- Irati-PR, 5- Três Barras-SC.

Fonte: o próprio autor.

**Tabela 7A** – Matriz de distância geográfica em km obtidas com base nos dados de latitude e longitude referente as cinco procedências de *A. angustifolia* da área experimental 1, em Colombo-PR.

Procedências	1	2	3	4	5
1	0,00				
2	222,53	0,00			
3	98,51	144,70	0,00		
4	111,78	108,78	39,44	0,00	
5	190,05	228,65	126,65	157,28	0,00

1- Telêmaco Borba-PR, 2- Caçador-SC, 3- Quatro Barras-PR, 4- Irati-PR, 5- Três Barras-SC. Fonte: o próprio autor.

**Tabela 8A** – Matriz de distância genotípica (Mahalanobis) referentes as plantas da área experimental 2 composta por doze procedências de *A. angustifolia*, em Colombo-PR.

Populações	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,00											
2	7,33	0,00										
3	8,32	8,21	0,00									
4	12,07	11,10	17,48	0,00								
5	8,93	14,95	8,35	16,12	0,00							
6	11,41	15,87	13,19	14,82	19,61	0,00						
7	16,38	18,84	12,27	15,91	18,77	20,09	0,00					
8	9,05	16,02	14,92	19,79	20,45	19,12	18,53	0,00				
9	3,92	15,03	10,18	16,90	11,63	7,94	12,57	16,30	0,00			
10	14,76	9,83	13,36	21,03	16,71	13,93	16,29	18,58	15,43	0,00		
11	5,61	10,52	17,91	16,02	15,81	19,33	15,06	18,47	6,94	12,67	0,00	
12	10,62	17,11	16,90	12,68	8,14	13,81	16,43	13,09	12,25	9,43	12,95	0,00

1- Irati –PR, 2- Ipuíuna de Caldas-MG, 3- Congonhal –MG, 4- Barbacena- MG, 5- Campos do Jordão- SP, 6- Itapeva-SP, 7- Itararé- SP, 8- Irati, (tardio), 9- Três Barras-SC, 10 – Chapecó-SC, 11- Caçador-SC, 12- Quatro Barras- PR. Fonte: o próprio autor.

**Tabela 9A** – Matriz de distância geográfica em km obtidas com base nos dados de latitude e longitude referente as doze procedências de *A. angustifolia* da área experimental 2, em Colombo-PR.

Populações	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,00											
2	591,94	0,00										
3	583,38	9,07	0,00									
4	820,76	245,10	254,11	0,00								
5	834,46	277,62	283,02	262,94	0,00							
6	212,13	382,18	373,78	609,78	836,77	0,00						
7	176,52	416,77	408,35	644,30	667,62	35,78	0,00					
8	0	591,94	583,37	906,59	899,16	125,80	176,51	0,00				
9	157,28	541,63	533,00	867,74	795,93	171,83	137,26	39,44	0,00			
10	254,53	806,30	842,98	1079,65	1089,16	470,68	435,99	259,74	299,18	0,00		
11	108,78	710,83	702,60	925,75	962,17	329,56	295,50	134,67	228,65	173,19	0,00	
12	39,44	471,12	463,29	699,29	742,53	107,12	84,98	157,45	126,65	400,50	144,70	0,00

1- Irati –PR, 2- Ipuiúna de Caldas-MG, 3- Congonhal –MG, 4- Barbacena- MG, 5- Campos do Jordão- SP, 6- Itapeva-SP, 7- Itararé- SP, 8- Irati, (tardio), 9- Três Barras-SC, 10 – Chapecó-SC, 11- Caçador-SC, 12- Quatro Barras- PR. Fonte: o próprio autor.

**Tabela 10A** – Matriz de distância genotípica (Mahalanobis) referentes as plantas da área experimental 3 composta por sete procedências de *A. angustifolia*, em Colombo-PR.

Populações	1	2	3	4	5	6	7
1	0,00						
2	11,47	0,00					
3	9,89	7,62	0,00				
4	8,18	9,36	5,55	0,00			
5	7,49	9,79	1,92	10,82	0,00		
6	7,78	8,49	1,00	2,02	4,16	0,00	
7	6,09	6,90	1,41	1,55	4,23	0,17	0,00

1- Irati –PR, 2- Telêmaco Borba- PR, 3- Quatro Barras- PR, 4- Três Barras-SC, 5 Caçador-SC, 6- Teixeira Soares- PR, 7- Chapecó- SC. Fonte: o próprio autor.

**Tabela 11A** – Matriz de distância geográfica em km obtidas com base nos dados de latitude e longitude referente as sete procedências de *A. angustifolia* da área experimental 3, em Colombo-PR.

<b>Populações</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	0,00						
<b>2</b>	111,78	0,00					
<b>3</b>	39,44	98,51	0,00				
<b>4</b>	157,28	190,05	126,65	0,00			
<b>5</b>	108,78	222,53	144,70	228,65	0,00		
<b>6</b>	22,65	102,13	141,41	17,33	130,27	0,00	
<b>7</b>	254,53	281,14	400,50	299,18	173,19	282,13	0,00.

.1- Irati –PR, 2- Telêmaco Borba- PR, 3- Quatro Barras- PR, 4- Três Barras-SC, 5- Caçador-SC, 6- Teixeira Soares- PR, 7- Chapecó- SC. Fonte: o próprio autor.

**Tabela 12A** – Ganho na seleção de 50 indivíduos baseado no caráter DAP 32 em progênies de *A. angustifolia*, seguindo o ordenamento do Selegen, considerando a proporção sexual de 0,5 nas três áreas experimentais, aos 32 anos de idade em Colombo-PR.

Área 1		Área 2		Área 3	
Progênies		Progênies		Progênies	
F.06	F.01	B.12	M.2	CA.32	I.6
K.07	K.07	H.3	G.4	I.3	K.8
F.07	I.10	H.8	M.3	K.8	CA.36
K.10	T.04	B.15	B.5	CA.32	F.16
K.10	F.06	F.9	B.1	CA.32	CA.36
K.02	I.25	F.9	G.5	I.5	I.6
I.10	I.25	C.3	C.3	L.44	F.20
I.25	C.01	B.11	H.6	CA.32	I.1
I.01	K.01	A.7	B.10	I.6	L.44
K.07	I.25	L.3	H.6	K.8	CH.49
K.02	K.07	H.10	L.9	I.6	CA.34
K.10	T.04	H.8	M.6	I.6	F.20
K.10	T.07	F.3	E.7	I.6	F.20
C.04		F.3		I.6	
K.10		G.4		I.1	
T.04		H.3		I.6	
K.10		H.4		CA.36	
K.07		C.5		I.2	
I.01		L.8		I.1	
I.01		G.9		F.21	
K.01		I.5		I.5	
K.10		J.2		F.21	
K.10		D.7		K.11	
K.01		B.6		I.6	
F.07		G.1		I.3	
K.10		A.7		K.9	
I.01		I.6		L.44	
K.02		C.5		TB.27	
K.10		F.1		I.1	
F.06		L.2		K.7	
I.01		G.3		K.9	
I.01		B.5		I.1	
F.07		I.1		I.5	
K.01		M.5		I.6	
F.06		G.2		I.2	
C.05		J.1		TB.26	
C.05		J.2		TB.28	

Fonte: o próprio autor



**Tabela 13A** – Ganho na seleção de 80 indivíduos baseado no caráter DAP 32 em progênies de *A. angustifolia*, seguindo o ordenamento do Selegen, considerando a proporção sexual de 0,5 nas três áreas experimentais, aos 32 anos de idade em Colombo-PR.

Área 1		Área 2		Área 3	
Progênies		Progênies		Progênies	
F.06	T.04	B.12	B.5	CA.32	F.16
K.07	T.08	H.3	B.1	I.3	CA.36
F.07	I.10	H.8	G.5	K.8	I.6
K.10	T.04	B.15	J.3	CA.32	F.20
K.10	I.10	F.9	C.3	CA.32	I.1
K.02	T.04	F.9	F.10	I.5	L.44
I.10	K.01	C.3	H.2	L.44	CH.49
I.25	F.06	B.11	H.6	CA.32	CA.34
I.01	K.02	A.7	B.7	I.6	F.20
K.07	I.25	L.3	B.10	K.8	F.20
K.02	K.02	H.10	F.6	I.6	I.3
K.10	C.04	H.8	D.1	I.6	F.20
K.10	I.25	F.3	H.7	I.6	CA.31
C.04	C.01	F.3	F.1	I.6	L.45
K.10	T.07	G.4	A.1	I.1	K.7
T.04	F.01	H.3	G.9	I.6	K.13
K.10	K.01	H.4	H.6	CA.36	I.5
K.07	I.25	C.5	L.9	I.2	L.40
I.01	K.07	L.8	F.2	I.1	F.22
I.01	T.08	G.9	H.9	F.21	CA.35
K.01	F.07	I.5	M.6	I.5	K.7
K.10	T.07	J.2	I.8	F.21	TB.26
K.10	T.04	D.7	E.7	K.11	TB.26
K.01	T.07	B.6	M.8	I.6	TB.27
F.07	F.06	G.1	J.6	I.3	CA.33
K.10	I.10	A.7	M.7	K.9	F.20
I.01	C.04	I.6	H.4	L.44	TB.28
K.02	I.01	C.5	A.4	TB.27	I.5
K.10	F.07	F.1	I.1	I.1	CA.32
F.06	T.07	L.2	D.2	K.7	K.11
I.01	C.04	G.3	M.4	K.9	K.9
I.01	T.10	B.5	G.1	I.1	CA.32
F.07	F.12	I.1	A.8	I.5	K.14
K.01	T.04	M.5	C.4	I.6	TB.28
F.06	K.02	G.2	M.3	I.2	TB.27
C.05	C.04	J.1	F.4	TB.26	F.15
C.05	K.01	J.2	D.5	TB.28	TB.27
F.01	F.06	M.2	C.6	I.6	I.3
K.07	K.09	G.4	M.8	K.8	CH.49

T.09	T.07	M.3	A.2	CA.36	L.44
------	------	-----	-----	-------	------

Fonte: o próprio autor.