

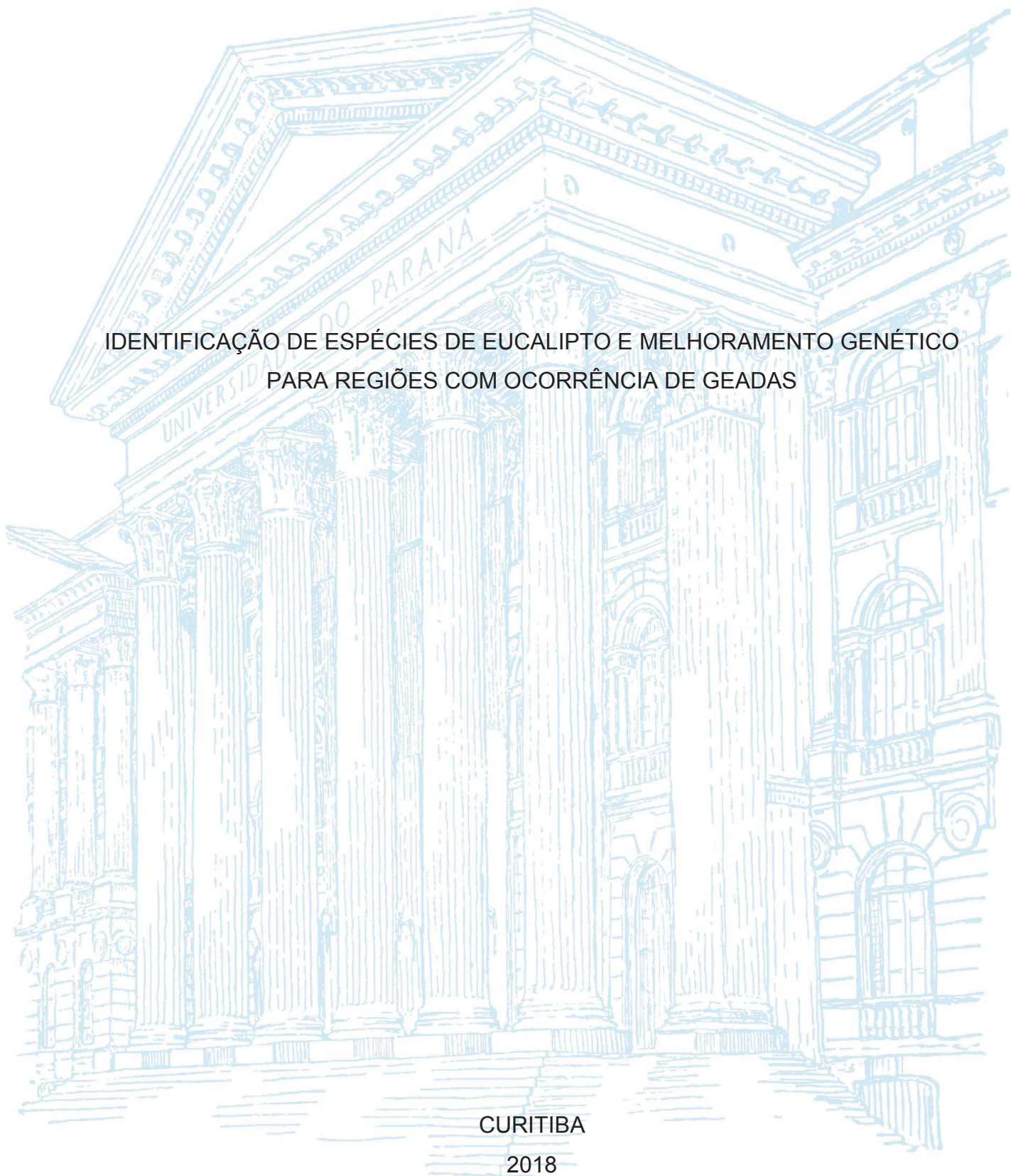
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GISELA MARIA PEDRASSANI ANDREJOW

IDENTIFICAÇÃO DE ESPÉCIES DE EUCALIPTO E MELHORAMENTO GENÉTICO  
PARA REGIÕES COM OCORRÊNCIA DE GEADAS

CURITIBA

2018



GISELA MARIA PEDRASSANI ANDREJOW

IDENTIFICAÇÃO DE ESPÉCIES DE EUCALIPTO E MELHORAMENTO GENÉTICO  
PARA REGIÕES COM OCORRÊNCIA DE GEADAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Departamento de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção de título de Doutora em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Celso Garcia Auer

Coorientadores: Prof. Dr. Evandro V. Tambarussi  
Prof. Dr. Alessandro C. Angelo

CURITIBA

2018

Ficha catalográfica elaborada pela  
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Andrejow, Gisela Maria Pedrassani

Identificação de espécies de eucalipto e melhoramento genético para regiões com ocorrência de geadas / Gisela Maria Pedrassani Andrejow. – Curitiba, 2018.

157 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Celso Garcia Auer

Coorientadores: Prof. Dr. Evandro Vagner Tambarussi

Prof. Dr. Alessandro Camargo Ângelo

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 19/10/2018. Área de concentração: Silvicultura.

1. Eucalipto – Melhoramento genético – Brasil, Sul. 2. Eucalipto – Resistência as geadas. 3. Teses. I. Auer, Celso Garcia. II. Tambarussi, Evandro Vagner. III. Ângelo, Alessandro Camargo. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.232.1(816)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA  
FLORESTAL

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **GISELA MARIA PEDRASSANI ANDREJOW** intitulada: **IDENTIFICAÇÃO DE ESPÉCIES DE EUCALIPTO E MELHORAMENTO GENÉTICO PARA REGIÕES COM OCORRÊNCIA DE GEADAS.**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 19 de Outubro de 2018.

CELSO GARCIA AUER  
Presidente da Banca Examinadora

EVANDRO VAGNER TAMBARUSSI  
Avaliador Externo

DAGMA KRATZ  
Avaliador Interno

JUAN JOSE ACOSTA  
Avaliador Externo



SANDRA REGINA CABEL  
Avaliador Externo

*Aos que são meu orgulho e inspiração e têm minha eterna gratidão ...  
Meu pai (in memoriam) Auri,  
Meu esposo Emilio e,  
Minha filha Amanda.*

*Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Prof. Dr. Celso Garcia Auer pela serenidade, calma e paciência no acompanhamento deste trabalho, pelo apoio e amizade recebidos.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Evandro Vagner Tambarussi pelo acompanhamento, por todo ensinamento e principalmente pela grande amizade.

Ao professor Dr. Alessandro Camargo Ângelo e Dr. Juan Jose Acosta pelas contribuições e sugestões no trabalho.

A WestRock, na pessoa de Ali Abdul Ayoub pelo incentivo e apoio, decisivos para esta jornada e aos colegas Waldemar, Mara, Vilson, Aroldo e Alzira pela amizade e compreensão aos momentos difíceis, sempre prontos a ajudar.

Ao Matheus Pereck e ao Julio Cesar de Chisto, por estarem sempre prontos a cooperar.

Ao meu marido Emilio Andrejow, por todo amor, compreensão e apoio.

A minha filha Amanda Pedrassani Andrejow, por quem os sinos dobram.

A minha irmã Daniela Pedrassani Rech, incansável incentivadora, paciente e organizada, pelas correções.

A minha mãe Maria Carmela Fuck Pedrassani, pelas palavras amáveis, apoiando e direcionando minha vida, pelo seu exemplo.

A Deus pelo dom da vida. Por me permitir essa caminhada fantástica de desenvolvimento pessoal e intelectual, colocando em meu caminho anjos e demônios, para que eu pudesse reconhecê-los, aprimorando o meu desenvolvimento.

*"Rir muito e com frequência; ganhar o respeito de pessoas inteligentes e o afeto das crianças; merecer a consideração de críticos honestos e suportar a traição de falsos amigos; apreciar a beleza, encontrar o melhor nos outros; deixar o mundo um pouco melhor, seja por uma saudável criança, um canteiro de jardim ou uma redimida condição social; saber que ao menos uma vida respirou mais fácil porque você viveu. Isso é ter tido sucesso."*

RALPH WALDO EMERSON

## RESUMO

O Brasil apresenta a maior produtividade de eucalipto do mundo, resultado alcançado com o melhoramento genético e com os avanços em biotecnologia. Recombinações entre indivíduos ou populações, tarefa exclusiva do melhoramento clássico, é uma premissa necessária na condução de programas de melhoramento. Diferentes estratégias podem ser empregadas na condução de programas de melhoramento, pois entre a condução e seleção de populações ou indivíduos, é necessário optar por aquelas que otimizem o tempo e maximizem os resultados. Neste contexto, a definição de espécies de *Eucalyptus* resistentes à geada, indicadas para localidades frias da região Sul do Brasil, avaliação de procedências e progênies, métodos de seleção de progênies e avaliação de clones foram os objetivos deste estudo. Pelos resultados obtidos, verificou-se que *E. dorrigoensis* apresentou a maior sobrevivência, seguido por *E. saligna* e *E. benthamii*. *E. macarthurii* foi mais tolerante a geada. Na interação genótipo x ambiente *E. benthamii* apresentou o maior DAP médio com coeficiente de herdabilidade individual no sentido restrito de 0,14 e herdabilidade média entre progênies de 0,58, qualificando-o para um programa de melhoramento genético. Estudos conduzidos a partir da população de *E. benthamii* sugerem ganhos expressivos utilizando clones desta espécie. Nos experimentos de procedências e progênies, *E. benthamii* não manifestou dano por geada, evidenciando sua tolerância ao frio. A herdabilidade média de progênies e acurácia estimadas foram classificadas como altas na análise individual dos estudos conduzidos em São Mateus do sul-PR, Mafra-SC e Porto União-SC. A análise conjunta permitiu a seleção de progênies com alto potencial produtivo predito, com herdabilidade média de progênies e acurácia de alta magnitude, indicando que por esse método de seleção o ganho genético será otimizado. A seleção entre e dentro foi superior à seleção individual, mantendo diversidade genética e tamanho efetivo populacional, indicando perspectivas de progressos genéticos, em gerações avançadas com seleção baseada no caractere avaliado. A avaliação, indireta da densidade básica, pela resistência à penetração com o resistógrafo, permitiu a seleção de progênies que resultaram em herdabilidade e acurácia de alta magnitude. Assim, evidencia-se a importância de análises genéticas com vistas a obter resultados práticos, que indiquem estratégias para nortear a tomada de decisão pelo melhorista, auxiliando no desenvolvimento de programas de melhoramento genético de Eucalipto.

**Palavras-chave:** Seleção, variação genética, correlação genética, resistógrafo.

## ABSTRACT

Brazil has the highest eucalyptus productivity in the world, a result achieved with genetic improvement and advances in biotechnology. Recombination between individuals or populations, which is sole exclusive task of the classical improvement, is a necessary premise in carrying out breeding programs. Different strategies can be used for carrying out breeding programs and for the selection of populations and/or individuals, thus it is necessary to choose the ones that optimize time and maximize the results. In this context, the goals of this study were to identify frost resistant species of *Eucalyptus* for cold environments in the south region of Brazil, as well as the evaluation of provenances and progenies, methods of progeny selection and validation of clones. Our results indicate, that *E. dorrigoensis* presents the highest survival, followed by *E. saligna* and *E. benthamii*. *E. macarthurii* was the most tolerant species to frost. *E. benthamii* presented the highest mean DBH with a narrow-sense heritability coefficient of 0.14 and family heritability of 0.58, which makes this species a good candidate for a genetic tree breeding program. Clonal studies of a population of *E. benthamii* suggest significant gains if the best clones are selected. Provenance and progeny tests of *E. benthamii* showed no frost damage, evidencing its tolerance to cold. The average progeny heritabilities and estimated accuracies were classified as high for the single site analysis of studies located in São Mateus do Sul-PR, Mafra-SC and Porto União-SC. The combined analysis allowed us to select progenies with predicted high productivity potential, with high mean family heritability and accuracy, which indicates that using this selection method the genetic gain will be optimized. The selection between and within progenies was superior to the individual selection, maintaining genetic diversity and effective population size, indicating perspectives of genetic progress for advanced generations if selection is based on the evaluated trait. The indirect non-destructive evaluation of basic density using the resistance to the penetration with the resistograph allowed selection of progenies with heritability and accuracy values of high magnitude. Therefore, it is evident the importance of genetic analysis in order to obtain practical results, to define strategies and to guide decisions by the geneticist, helping to develop genetic tree improvement programs for *Eucalypt*.

**Key words:** Selection, genetic variation, genetic correlation, resistograph.

## LISTA DE FIGURAS

### REVISÃO DE LITERATURA

- Figura 1** – Distribuição geográfica do *Eucalyptus benthamii*, círculos representam as áreas de ocorrência da espécie, círculos pretos onde ainda existem indivíduos, áreas hachuradas indicam a distribuição da espécie antes da ação antrópica.....23
- Figura 2** – Ilustração botânica do *Eucalyptus benthamii*. ....24
- Figura 3** – Aspectos da morfologia e desenvolvimento de *Eucalyptus benthamii* em Três Barras, no estado de Santa Catarina, Brasil .....25
- Figura 4** – Mapa de aptidão climática para o cultivo de *Eucalyptus benthamii* no Brasil. ....27
- Figura 5** – Representação espacial da proposta de diferenciação climática para o estado de Santa Catarina, Brasil.....28
- Figura 6** – Representação esquemática de um programa básico de melhoramento de eucalipto envolvendo ciclos de seleção recorrente, estabelecimento de um pomar de sementes e/ou testes clonais de genótipos promissores .30

### CAPÍTULO I

- Figura 1** – Área de realização dos experimentos de desempenho e produtividade de eucaliptos nos municípios de Mafra e Três Barras, no estado de Santa Catarina, Brasil.....58
- Figura 2** – Distribuição da ocorrência natural de espécies do gênero *Eucalyptus* na Austrália, testadas em experimentos de campo em Mafra e Três Barras, no estado de Santa Catarina, Brasil .....62
- Figura 3** – Localização dos experimentos clonais de *Eucalyptus benthamii* nos municípios de Canoinhas, Mafra e Três Barras, no estado de Santa Catarina, Brasil.....63

## CAPÍTULO II

- Figura 1** – Áreas de realização dos experimentos de desempenho e produtividade de progênies de *Eucalyptus benthamii*, nos municípios de Mafra e Porto União, no estado de Santa Catarina, e São Mateus do Sul, no estado do Paraná, Brasil.....94
- Figura 2** – Localização dos sítios do estudo, de acordo com o zoneamento da aptidão climática para *Eucalyptus benthamii* proposto por Flores et al. (2016) ..95
- Figura 3** – Coleta de dados com o resistógrafo em árvores de *Eucalyptus benthamii*. ..... 102
- Figura 4** – Aparelho Resistograph®. .... 102
- Figura 5** – Reprodução de um gráfico produzido pelo Resistograph, modelo IML-RESI e pelo programa PD-Tools Pro, após coleta em árvores de *Eucalyptus benthamii*. (Exemplo: Progênie ID\_1053). ..... 103
- Figura 6** – Reprodução gráfica da resistência média observada quando a agulha do resistógrafo atravessa o tronco em árvores de *Eucalyptus benthamii*. (Exemplo: Progênie ID\_1053). ..... 104

## LISTA DE TABELAS

### REVISÃO DE LITERATURA

- Tabela 1 –** Caracterização dos tipos climáticos propostos por Braga; Ghellere (1999), para o estado de Santa Catarina, Brasil. ....28

### CAPÍTULO I

- Tabela 1 –** Espécies, número de progênies e procedências de *Eucalyptus* utilizadas nas avaliações de desempenho e produtividade, nos municípios de Mafra e Três Barras, no estado de Santa Catarina, Brasil. ....59
- Tabela 2 –** Escala de notas adotadas para avaliação dos danos causados por geada nas nove espécies de *Eucalyptus* nos municípios de Mafra e Três Barras, no estado de Santa Catarina, Brasil. ....64
- Tabela 3 –** Danos decorrentes de geada nas espécies de *Eucalyptus* testadas, após doze meses de implantação, em Mafra e Três Barras, no estado de Santa Catarina, Brasil. ....68
- Tabela 4 –** Número inicial de mudas, sobrevivência (%) das espécies de *Eucalyptus* testadas, após doze e 60 meses de implantação, de acordo com o local de plantio. ....69
- Tabela 5 –** Estimativas de parâmetros genéticos para as espécies de *Eucalyptus* aos 60 meses, em Mafra e Três Barras no estado de Santa Catarina, Brasil. ....72
- Tabela 6 –** Parâmetros genéticos, para as espécies de *Eucalyptus*, aos 60 meses, combinando os dados de Mafra e Três Barras, no estado de Santa Catarina, Brasil. ....74
- Tabela 7 –** Ordenamento das progênies de *E. benthamii* do experimento de introdução de espécies de *Eucalyptus* resultantes da análise de estabilidade e adaptabilidade (MHPRVG e MHPRVG\*MG) comparativamente ao BLUP de volume, entre os estudos de Mafra e Três Barras, no estado de Santa Catarina, Brasil. ....75

<b>Tabela 8 –</b>	Comparação da seleção fenotípica de indivíduos de <i>Eucalyptus benthamii</i> aos 60 meses e ordenamento BLUP para volume (VOL) e DAP no estudo de introdução de espécies em Três Barras, no estado de Santa Catarina, Brasil. ....	76
<b>Tabela 9 –</b>	Estimativa de parâmetros genéticos para os clones de <i>Eucalyptus benthamii</i> , para o caractere Volume (Vol) em diferentes idades, nos locais Mafra, Três Barras e Canoinhas, no estado de Santa Catarina, Brasil.....	78
<b>Tabela 10 –</b>	Ordenamento dos clones de <i>Eucalyptus benthamii</i> resultantes da análise de estabilidade e adaptabilidade (MHPRVG e MHPRVG*MG) entre os estudos de Canoinhas e Três Barras, no estado de Santa Catarina, Brasil. ....	79

## CAPÍTULO II

<b>Tabela 1 –</b>	Progênes e procedências de <i>Eucalyptus benthamii</i> utilizadas nas avaliações de desempenho e produtividade, nos municípios de Mafra e Porto União, no estado de Santa Catarina, e São Mateus do Sul, no estado do Paraná, Brasil.....	93
<b>Tabela 2 –</b>	Sobrevivência (%) das procedências de <i>Eucalyptus benthamii</i> com doze e 36 meses de idade, nos municípios de Mafra e Porto União, no estado de Santa Catarina, e São Mateus do Sul, no estado do Paraná, Brasil. ....	106
<b>Tabela 3 –</b>	Teste de médias Tukey para diâmetro à altura do peito (cm) e altura total (m) de <i>Eucalyptus benthamii</i> , para as procedências Candoi-PR, Jaguariaiva-PR, Bio-Bio no Chile, Guarapuava-PR, Campo Alegre-SC e Vargem Bonita-SC, aos 36 meses de idade, combinando as localidades Mafra e Porto União no estado de Santa Catarina e São Mateus do Sul no estado do Paraná, Brasil. ....	107
<b>Tabela 4 –</b>	Estatísticas descritivas para diâmetro à altura do peito (cm) e altura total (m) de <i>Eucalyptus benthamii</i> , das procedências Candoi-PR, Jaguariaiva-PR, Bio-Bio no Chile, Guarapuava-PR, Campo Alegre-SC e Vargem Bonita-SC, aos 36 meses de idade, combinando as	

	localidades Mafra e Porto União no estado de Santa Catarina e São Mateus do Sul no estado do Paraná, Brasil.....	108
<b>Tabela 5 –</b>	Estimativas de volume médio de progênies, coeficiente de determinação dos efeitos de parcela e coeficiente de variação experimental para o caráter volume individual, aos 36 meses de idade, em Mafra e Porto União no estado de Santa Catarina e São Mateus do Sul no estado do Paraná, Brasil.....	110
<b>Tabela 6 –</b>	Estimativas da variância genética aditiva, variância ambiental entre parcelas, variância fenotípica individual, coeficiente de variação genética aditiva individual, coeficiente de variação genético entre progênies e coeficiente de variação relativa, para o caráter volume individual, aos 36 meses de idade, em Mafra e Porto União no estado de Santa Catarina e São Mateus do Sul no estado do Paraná, Brasil. ....	111
<b>Tabela 7 –</b>	Estimativas de herdabilidade individual no sentido restrito, herdabilidade individual no sentido restrito, ajustado para os efeitos de parcela, herdabilidade da média de progênies, herdabilidade aditiva dentro de parcela, acurácia na seleção de progênies, para volume individual (VOL m <sup>2</sup> /árvore) de procedências de <i>E. benthamii</i> , aos 36 meses de idade, nas localidades Mafra e Porto União no estado de Santa Catarina e São Mateus do Sul no estado do Paraná, Brasil.....	112
<b>Tabela 8 –</b>	Componentes de variâncias e herdabilidade para o desempenho das progênies de <i>E. benthamii</i> , para volume individual (VOL m <sup>3</sup> /árvore) aos 36 meses de idade, na avaliação conjunta das localidades Mafra e Porto União no estado de Santa Catarina e São Mateus do Sul no estado do Paraná, Brasil.....	114
<b>Tabela 9 –</b>	Ordenamento das progênies de <i>E. benthamii</i> de acordo com o volume médio individual combinando os três locais do estudo, aos 36 meses de idade. ....	116
<b>Tabela 10 –</b>	Ordenamento da adaptabilidade de valores genéticos (PRVG), estabilidade de valores genéticos (MHVG) e estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (MHPRVG) para o caráter volume médio individual das progênies de <i>E. benthamii</i> combinando os três	

	locais de estudo, aos 36 meses de idade.....	117
<b>Tabela 11 –</b>	Comparação entre os métodos de seleção pela análise individual de progênies em São Mateus do Sul (PR), Mafra (SC) e Porto União (SC), seleção pela análise conjunta dos três locais e seleção pelo método MHPRVG para o caráter volume médio individual das progênies de <i>E. benthamii</i> , aos 36 meses de idade. ....	119
<b>Tabela 12 –</b>	Comparação entre os métodos de seleção individual de progênies (SI), seleção entre e dentro de progênies (SED) e seleção massal de progênies (SM) baseada na análise conjunta para o caráter volume médio individual das progênies de <i>E. benthamii</i> combinando aos três locais de estudo, aos 36 meses de idade. ....	120
<b>Tabela 13 –</b>	Estimativas dos parâmetros genéticos para resistência à penetração com o uso de Resistógrafo em progênies de <i>E. benthamii</i> , aos 36 meses de idade, na avaliação conjunta das localidades Mafra e Porto União no estado de Santa Catarina e São Mateus do Sul no estado do Paraná, Brasil. ....	123
<b>Tabela 14 –</b>	Ordenamento das progênies de <i>E. benthamii</i> de acordo com o volume médio individual combinando os três locais do estudo, aos 36 meses de idade. ....	124

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	19
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	21
2.1	OBJETIVO GERAL.....	21
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	21
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	22
3.1	GÊNERO <i>Eucalyptus</i> .....	22
3.2	O <i>Eucalyptus benthamii</i> Maiden et Cambage (CAMDEN WHITE GUM) .....	22
3.3	DESCRIÇÃO BOTÂNICA DO <i>Eucalyptus benthamii</i> .....	24
3.4	CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA PARA <i>Eucalyptus benthamii</i> .....	26
3.5	MELHORAMENTO GENÉTICO FLORESTAL .....	29
3.6	ESCOLHA DA ESPÉCIE .....	32
3.7	ESCOLHA DAS PROCEDÊNCIAS.....	32
3.8	ESCOLHA DAS PROGÊNIES .....	33
3.9	ESCOLHA DE CLONES .....	34
3.10	SELEÇÃO.....	35
3.11	ANÁLISE VIA REML/BLUP .....	35
3.12	PARÂMETROS GENÉTICOS .....	36
3.13	VARIABILIDADE GENÉTICA .....	37
3.14	VARIÂNCIA FENOTÍPICA.....	38
3.15	CORRELAÇÃO GENÉTICA .....	38
3.16	HERDABILIDADE.....	39
3.17	INTERAÇÃO GENÓTIPO <i>versus</i> AMBIENTE .....	40
3.18	ESTABILIDADE E ADAPTABILIDADE .....	41
3.19	TAMANHO EFETIVO POPULACIONAL $N_e$ .....	42
3.20	DIVERSIDADE GENÉTICA .....	43
3.21	DENSIDADE BÁSICA E USO DA FERRAMENTA RESISTÓGRAFO.....	43
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	45

## CAPÍTULO I

<b>SELEÇÃO DE ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i> COM POTENCIAL PRODUTIVO PARA O PLANALTO NORTE CATARINENSE</b> .....	53
RESUMO.....	53
ABSTRACT .....	54
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	55
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	58
2.1 LOCAL DE ESTUDOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	58
2.1.1 Experimentos de introdução de espécies.....	58
2.1.1.1 Descrição das espécies de eucalipto utilizadas no estudo .....	59
2.1.2 Experimentos clonais de <i>Eucalyptus benthamii</i> .....	62
2.2 AVALIAÇÕES DE DANOS POR GEADA E SOBREVIVÊNCIA .....	63
2.2.1 Experimentos de introdução de espécies.....	63
2.2.2 Experimentos clonais de <i>Eucalyptus benthamii</i> .....	64
2.3 ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS .....	65
2.4 PRODUTIVIDADE, ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE (MHPRVG).....	67
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	68
3.1 TESTE DE INTRODUÇÃO DE ESPÉCIES .....	68
3.1.1. Sobrevivência e dano por geada .....	68
3.1.2 Estimativa de parâmetros genéticos para cada local.....	71
3.1.3 Estimativa de parâmetros genéticos para interação entre genótipo <i>versus</i> ambiente.....	73
3.1.4 Produtividade, adaptabilidade e estabilidade (MHPRVG) .....	74
3.2 EXPERIMENTOS CLONAIIS DE <i>Eucalyptus benthamii</i> .....	77
3.2.1 Estimativa de parâmetros genéticos para cada local.....	78
3.2.2 Produtividade, adaptabilidade e estabilidade (MHPRVG) .....	79
<b>4 CONCLUSÕES</b> .....	81
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	82

## CAPÍTULO II

### COMPORTAMENTO DE PROCEDÊNCIAS E PROGÊNIES DE *Eucalyptus*

#### *benthamii* EM LOCAIS DE GEADA NA REGIÃO SUL DO BRASIL..... 88

RESUMO .....	88
ABSTRACT .....	89
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>90</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>93</b>
2.1 LOCAL DE ESTUDO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	93
2.2 AVALIAÇÃO DE DANOS POR GEADA E SOBREVIVÊNCIA.....	95
2.3 ANÁLISE INDIVIDUAL .....	96
2.4 ANÁLISE CONJUNTA – INTERAÇÃO GENÓTIPO <i>versus</i> AMBIENTE.....	96
2.5 ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS .....	97
2.6 GANHO ESPERADO COM A SELEÇÃO E TAMANHO EFETIVO POPULACIONAL.....	99
2.7 PRODUTIVIDADE, ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE (MHPRVG).....	100
2.8 RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO COM RESISTÓGRAFO .....	101
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>106</b>
3.1 DANOS POR GEADA E SOBREVIVÊNCIA .....	106
3.2 ESTATÍSTICA DESCRITIVA .....	107
3.3 ANÁLISE INDIVIDUAL - ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS .....	110
3.4 ANÁLISE CONJUNTA – INTERAÇÃO GENÓTIPO <i>versus</i> AMBIENTE PARA A VARIÁVEL VOLUME (VOL) .....	114
3.5 PRODUTIVIDADE, ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE (MHPRVG).....	116
3.6 GANHO ESPERADO COM A SELEÇÃO E TAMANHO EFETIVO POPULACIONAL.....	119
3.7 RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO COM RESISTÓGRAFO .....	123
<b>4 CONCLUSÕES .....</b>	<b>125</b>
<b>5 RECOMENDAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>126</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>127</b>
<b>REFERÊNCIAS GERAIS .....</b>	<b>133</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>149</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

As florestas plantadas com eucalipto representam 73% de toda a área reflorestada no Brasil, mostrando-nos a dimensão da importância deste gênero que estende-se em reflorestamentos de Norte a Sul (IBA, 2017). Essa história de sucesso iniciou-se por volta de 1905, quando o Engenheiro Agrônomo Edmundo Navarro de Andrade, com o objetivo de atender à demanda de madeira para a construção de ferrovias, introduziu o eucalipto no Brasil (ANDRADE, 1991).

Mais tarde, no final da década de 1960, a cultura de eucalipto estava presente em várias regiões do país, graças as suas diferentes espécies, com capacidade de ocupar ambientes altamente variáveis, tanto em termos de temperaturas quanto em precipitação.

Nos anos 1980 a 1995, a silvicultura clonal levou ao abandono das estratégias de melhoramento genético. Este fato que foi percebido pelas empresas florestais, levando a intensificação dos programas de melhoramento genético pois, embora represente um avanço plantar espécies de rápido crescimento para suprir as indústrias, era necessário explorar a variação existente entre as espécies, procedências e indivíduos dentro de uma mesma espécie. Seria compensador por intermédio do melhoramento genético, utilizar-se desta variabilidade para a produção de matéria prima adequada à produtos específicos, conferindo ou agregando valor aos produtos e processos.

O estímulo à pesquisa em melhoramento genético, utilizando-se de ferramentas apropriadas e técnicas de reprodução, situa o Brasil entre os países mais eficientes em produtividade, produção de matérias-primas e produtos de eucalipto.

Neste contexto, o melhoramento florestal clássico, enquanto ciência, apresenta peculiaridades e características que advém do fato de que as espécies florestais são perenes e com ciclos de desenvolvimento de longo prazo. Motivo pelo qual, definir as melhores estratégias durante a condução de um programa de melhoramento, de médio e longo prazo, visando maximizar os ganhos preditos, faz-se necessário. E, dentro do possível, manter populações de melhoramento e conservação, é uma boa prática, considerando no longo prazo mudanças climáticas, pragas e doenças ou novos produtos e mercados. Os conceitos desenvolvidos e aplicados devem nortear a condução dos programas de melhoramento, por meio de

métodos de seleção e recombinação que garantam a manutenção da variabilidade genética, permitindo ganhos genéticos ao longo das gerações.

A tese está dividida em dois capítulos e uma revisão da literatura relativa a espécie *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage, e aos principais conceitos em melhoramento florestal utilizados durante o trabalho. O primeiro capítulo aborda aspectos relativos a testes de introdução de espécies e recomendação de espécie mais adaptada. No segundo capítulo é relatada a pesquisa que aborda a seleção de progênies de *E. benthamii*, por diferentes métodos de seleção.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desse estudo foi identificar espécies de Eucalipto resistentes à geadas, analisando métodos de seleção genética para início de programa de melhoramento de Eucalipto, com vistas a resistência à geada e incremento em produtividade volumétrica.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar espécies de eucalipto resistentes à geada;
- Evidenciar a adaptabilidade de *E. benthamii* a geada na região no Sul do Brasil;
- Estimar os parâmetros genéticos para progênies de polinização aberta de *E. benthamii*, testadas em locais com ocorrência de geada no Sul do Brasil;
- Estimar os ganhos genéticos obtidos com a seleção de indivíduos e um método de seleção genética para *E. benthamii* que promova melhor crescimento e maior qualidade da madeira.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 GÊNERO *Eucalyptus*

As espécies pertencentes ao gênero *Eucalyptus*, são as mais utilizadas em reflorestamento devido ao rápido crescimento, excelente produtividade, facilidade de propagação, e às múltiplas finalidades de uso da madeira produzida. Os plantios de eucalipto suprem hoje, no Brasil, a demanda por madeira com propriedades tecnológicas e silviculturais específicas de diversos setores industriais, como o de papel e celulose, carvão vegetal, postes, moirões de cerca e, mais recentemente, o de madeira serrada (IBA, 2017).

Dentre as mais de 600 espécies conhecidas, poucas são utilizadas comercialmente para expansão da base florestal. Neste sentido identificou-se o potencial de tolerância ao frio do *Eucalyptus benthamii*, tornando esta espécie objeto de diversos estudos, com a finalidade de uso para ampliação da base florestal no sul do Brasil.

#### 3.2 O *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage (CAMDEN WHITE GUM)

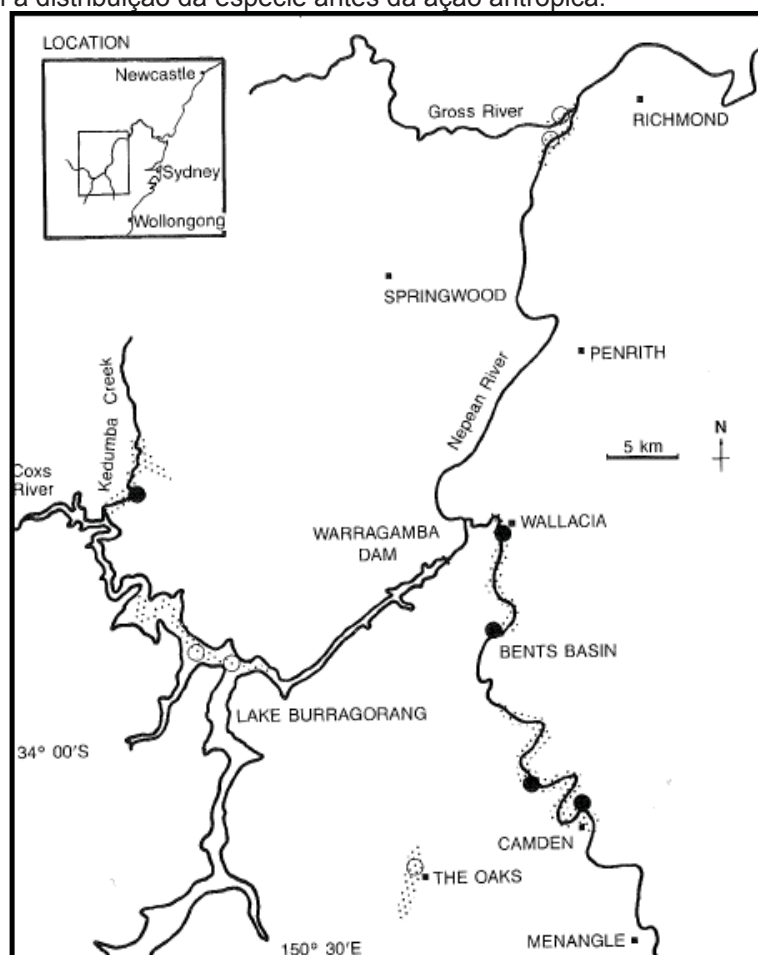
Conhecido como “Camden White Gum”, o *E. benthamii* foi considerada em extinção (PRYOR, 1981) e encontra-se lista de plantas raras ameaçadas da Austrália, (LEIGH et al., 1981). Isto porque desde 1933, a população natural de *E. benthamii* foi afetada por três incêndios, ocorridos em dezembro de 1957, em dezembro de 1979 em outubro de 1981. Ainda, grande parte da população original foi cortada para a formação de pastagens ou submersa pela barragem de Warragamba (HIGA; PEREIRA, 2003).

Considerando-se que a espécie em sua ocorrência natural está restrita a uma pequena distribuição continental, aliada a sua necessidade de solos férteis, tornou a espécie vulnerável frente a expansão agrícola na Austrália (PRYOR, 1981).

Os dois últimos incêndios queimaram diferentes partes da população (BENSON, 1985), restando as últimas populações no litoral de Nova Gales do Sul, a sudoeste de Sydney na Austrália ou nas planícies ao longo do Rio Nepean e seus afluentes. A população remanescente pode ser encontrada no Vale Kedumba (6.500

árvores), em Camden (perto de 30 árvores), nove árvores em Wallacia e 300 árvores em Bents, todas próximas ao Rio Nepean (BUTCHER et al., 2005) (FIGURA 1).

Figura 1 – Distribuição geográfica do *Eucalyptus benthamii*, círculos representam as áreas de ocorrência da espécie, círculos pretos onde ainda existem indivíduos, áreas hachuradas indicam a distribuição da espécie antes da ação antrópica.



Fonte: Costa (2016).

As áreas com fragmentos naturais de *E. benthamii* foram transformadas em Parques Nacionais, onde a coleta de material genético é vedada por lei (SILVA, 2008). Como parte da conservação *ex situ*, as primeiras cem árvores foram plantadas no Arboreto Nacional de Canberra.

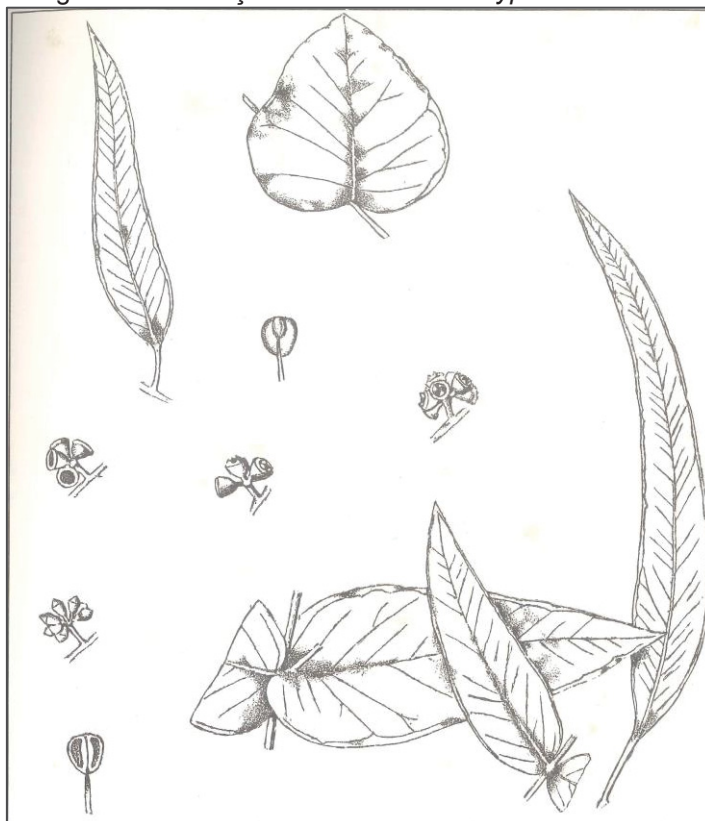
O seu potencial para produção comercial de madeira para celulose está sendo explorado em vários países. No Brasil, a espécie apresenta grande potencial para plantio na região Sul pela sua tolerância e resiliência a geada, assim como pela qualidade da madeira para usos diversos, porém a condução de um programa de melhoramento pode ser difícil pela dificuldade em adquirir material genético (HIGA;

PEREIRA, 2003). Fato este, agravado pela redução das populações naturais, que acarretou diminuição da diversidade genética, com provável perda de alelos raros (PROBER; BROWN, 1994). Desta forma, utilizar materiais genéticos existentes no Brasil, é o caminho.

### 3.3 DESCRIÇÃO BOTÂNICA DO *Eucalyptus benthamii*

*E. benthamii* apresenta características distintas de muitas outras espécies cultivadas do gênero. Quando adulta, a árvore apresenta casca compacta, persistente e fina, podendo formar pequenas tiras longitudinais pouco aderidas ao fuste. As folhas jovens são opostas, sésseis, com formato oblongo ovadas a ovadas, subglaucas; as folhas intermediárias são opostas a subopostas, sésseis ou com pequena haste, lanceoladas, verdes, e ambas com textura moderadamente fina. As folhas adultas são alternas, longas hastes, lanceoladas e verdes, algumas podem possuir textura fina (NISGOSKI et al., 1998), de acordo com Figura 2.

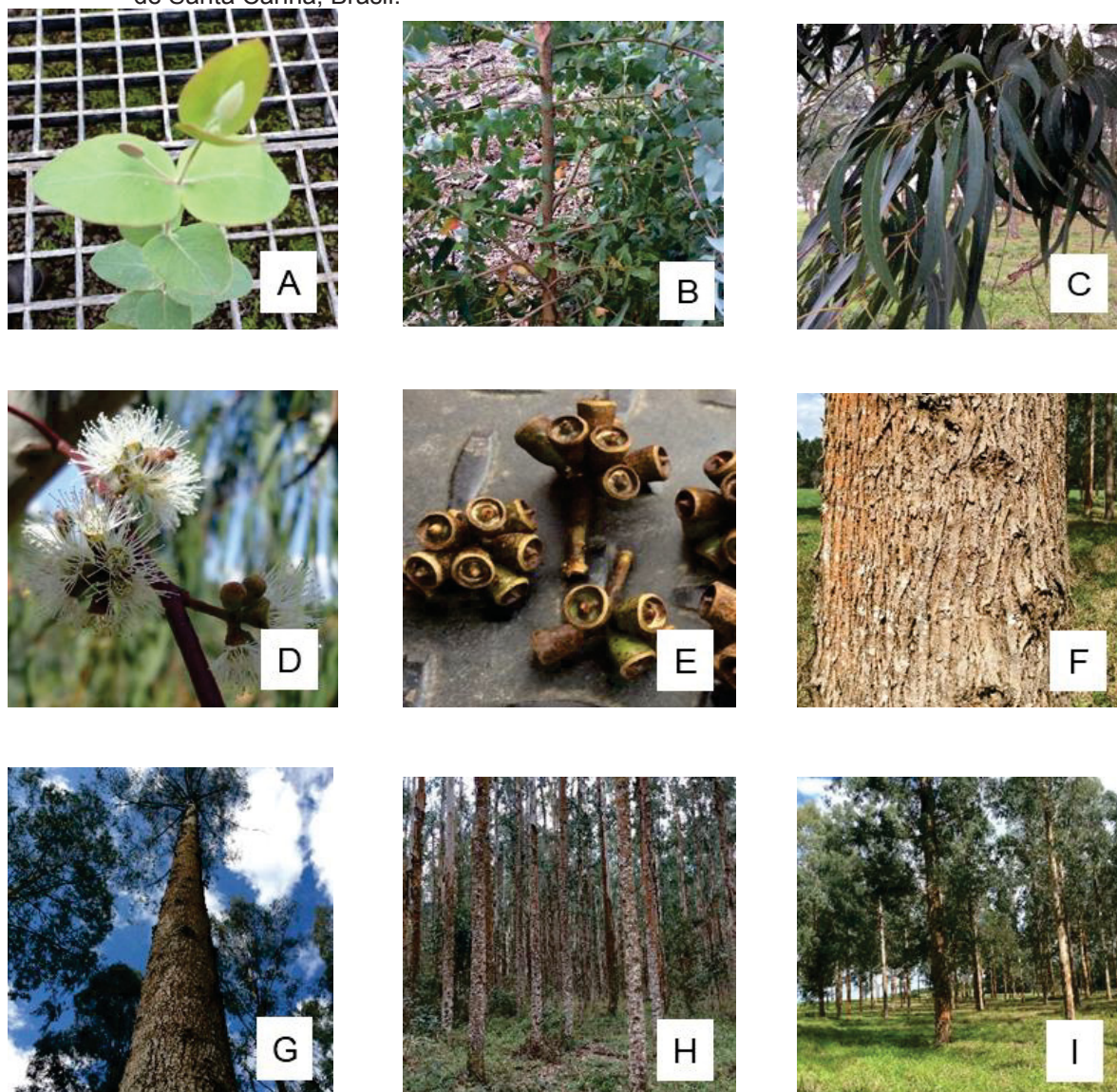
Figura 2 – Ilustração botânica do *Eucalyptus benthamii*.



Fonte: Gutiérrez (1976).

As inflorescências ocupam posição axilar, com quatro a sete flores e pedúnculos com 0,5 cm de comprimento e pedicelos com 0,25 cm. Os botões florais apresentam forma oval a clavada. No hemisfério sul, os opérculos tem formato subglaucos e no hemisfério norte, apresentam forma cônica e dificilmente glauca. Os frutos podem ser campanulados e subglaucos quando imaturos, com disco estreito e levemente convexo, ou mais ou menos iguais, com três a quatro valvas (NISGOSKI et al., 1998), Figura 3.

Figura 3 – Aspectos da morfologia e desenvolvimento de *Eucalyptus benthamii* em Três Barras, estado de Santa Carina, Brasil.



Fonte: O Autor (2018).

Legenda: Folhas jovens (A), folhas intermediárias (B), folhas adultas (C), botões florais (D), frutos (E), casca (F), árvore adulta (G), plantio comercial (H), área de produção de sementes (I) de *Eucalyptus benthamii*.

O florescimento de *E. benthamii* na Austrália ocorre durante os meses de março a maio, podendo ocorrer variação entre os indivíduos quanto à época e intensidade. Normalmente, os botões florais são encontrados durante o ano todo. A coleta de frutos maduros ocorre entre junho e dezembro (BRONDANI, 2008). Em São Mateus do Sul no sul do estado do Paraná, observou-se sementes maduras nos meses de março a maio e outubro a novembro. De acordo com Pryor (1981), plantas jovens com cerca de 5 m de altura e com idade entre 6 e 10 anos frutificam, entretanto em Três Barras (SC) no Sul do Brasil, observou-se florescimento em plantas de 36 meses de idade.

A madeira de *E. benthamii* apresenta cerne e alburno distintos, cerne de cor marrom avermelhada e alburno amarelo rosado, dureza moderada, textura fina a média, grã irregular, cheiro e gosto imperceptíveis, com densidade básica média de 470 kg/m<sup>3</sup> (NISGOSKI et al., 1998; ALVES et al., 2011).

#### 3.4 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA PARA *Eucalyptus benthamii*

Um desafio para os melhoristas, consiste em viabilizar a expansão das áreas de plantio disponibilizando genótipos produtivos e adaptados a condições edafoclimáticas limitantes, sejam elas, déficit hídrico ou extremos térmicos. Longos períodos de estiagem ou grandes amplitudes térmicas, intensificam o estresse limitando o crescimento do eucalipto. As classificações climáticas são primordiais na compreensão do ambiente físico (ANDRADE, 1998) e são imprescindíveis na determinação da aptidão climática (PEREIRA et al., 2002) das áreas destinadas à silvicultura. Assim, quanto melhor for o atendimento das condições agroclimáticas do sítio florestal, maior será a produtividade dos plantios florestais (RIBEIRO, 2009). Portanto, para as espécies de eucalipto usadas comercialmente, as características de solos associadas às variáveis climáticas são determinantes na expressão da produtividade do material genético (HIGA; WREGE, 2010).

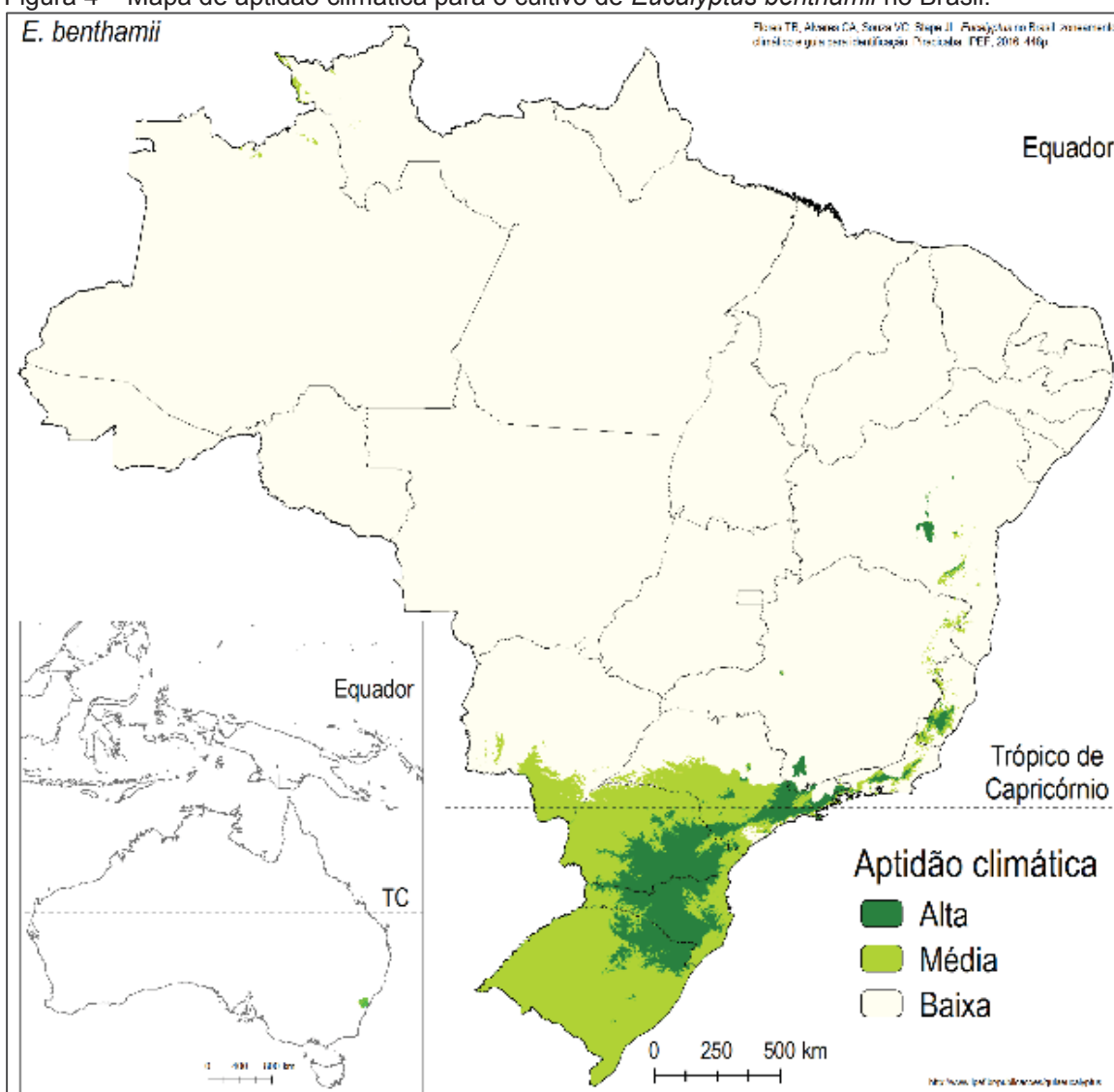
A Região Sul, onde Santa Catarina está inserida, é a que apresenta características térmicas das mais amenas do Brasil, classificada pela escala de Köppen em clima sem estação seca chamado mesotérico úmido (Cf), podendo ser e Cfa e Cfb, distintos em verão quente (Cfa) e verão fresco (Cfb). Santa Catarina por sua localização geográfica, é um dos estados que apresentam melhor distribuição de precipitação pluviométrica durante o ano (MONTEIRO, 2001) porém, as regiões do

estado com altitudes superiores a 900 m podem ocorrer geadas nos meses de novembro a março (PANDOLFO et al., 2002), limitando o cultivo das espécies de uso comercial, do gênero *Eucalyptus*.

No Planalto Norte Catarinense e no Planalto Sul do Paraná as geadas severas são frequentes, num período médio de ocorrência de dez a 25 dias, anualmente. Nestes locais, o clima é Cfb, temperado com verão ameno, chuvas uniformemente distribuídas, sem estação seca e precipitação de 1.100 a 2.000 mm. A temperatura média do mês mais quente não chega a 22 °C.

Um mapa descrevendo as regiões de aptidão climática para *E. benthamii* foi proposto por Flores et al. (2016), classificando as áreas em alta, média e baixa aptidão para o cultivo (FIGURA 4).

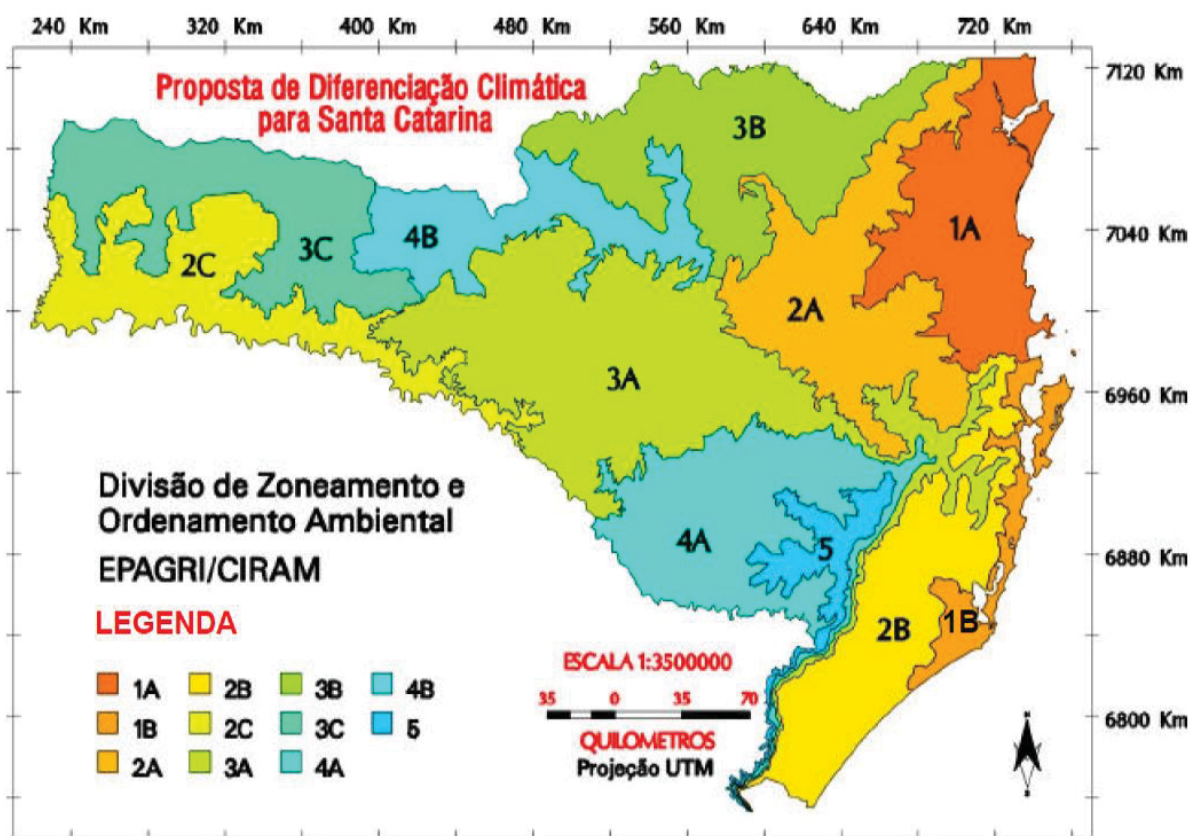
Figura 4 – Mapa de aptidão climática para o cultivo de *Eucalyptus benthamii* no Brasil.



Fonte: Flores et al. (2016).

A classificação segundo KÖPPEN, para Santa Catarina foi modificada por Braga; Ghellere (1999) subdividindo o Estado em 5 domínios climáticos conforme ilustrado na Figura 5 e Tabela 1.

Figura 5 – Representação espacial da proposta de diferenciação climática para o estado de Santa Catarina, Brasil.



Fonte: Braga; Ghellere (1999).

Tabela 1 – Caracterização dos tipos climáticos propostos por Braga; Ghellere (1999), para o estado de Santa Catarina.

Domínio Climático	Temp. Mês + frio	Média	Subdomínio climático	Variedade climática	Tipo climático	Subtipo climático
Subquente	$\geq 15$	$< 18$ °C	Superúmido	Sem seca	Subtropical 1	1A, 1B
Mesotérmico brando (1)	$\geq 13$	$< 15$ °C	Superúmido	Sem seca	Temperado 2	2A, 2B, 2C
Mesotérmico brando (2)	$\geq 11,5$	$< 13$ °C	Superúmido	Sem seca	Temperado 3	3A, 3B, 3C
Mesotérmico brando (3)	$\geq 10$	$< 11,5$ °C	Superúmido	Sem seca	Temperado 4	4A, 4B
Mesotérmico médio	$\geq 0,0$	$< 10$ °C	Superúmido	Sem seca	Temperado 5	5

Fonte: Braga; Ghellere (1999).

### 3.5 MELHORAMENTO GENÉTICO FLORESTAL

Um programa de melhoramento florestal contempla estratégias definidas para curto, médio e longo prazos, buscando obter materiais genéticos que retornem as características desejadas, sejam elas volume e qualidade da madeira, forma do fuste, resistência a pragas e doenças e adaptação ambiental. Os programas tem se baseado na seleção de espécies/procedências e na seleção individual dentro de populações-base, pela exploração da variabilidade natural existente entre populações e entre indivíduos (FERREIRA, 1992). A seleção destes materiais genéticos, deve ser conduzida com tal assertividade que garanta a sustentabilidade do negócio pela continuidade do programa de melhoramento, mediante seleções de progênies e clones superiores.

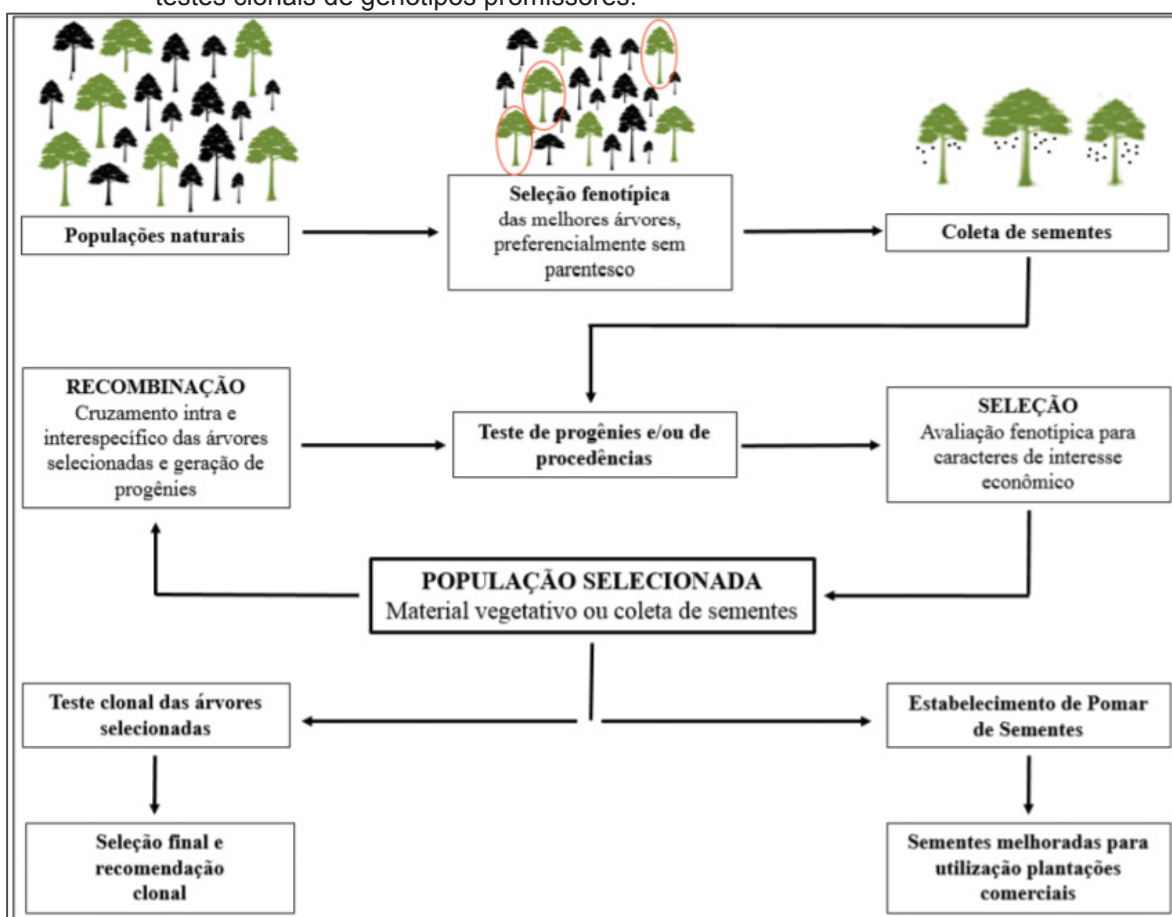
As estratégias propostas ao melhoramento florestal devem considerar os efeitos da interação genótipo x ambiente (GxA), visando maior produtividade do material genético, utilizando aqueles com maior capacidade de adaptação em diferentes locais. Segundo Mori et al. (1986), a produtividade da floresta está diretamente relacionada à qualidade do material genético utilizado, tendo sua produtividade maximizada quando bem adaptada às condições ecológicas locais.

Neste contexto, uma estratégia de melhoramento compreende uma população base ou população de melhoramento, a seleção de árvores geneticamente superiores nesta população e a recombinação destas árvores para a disponibilização de material genético para plantios comerciais (HIGA et al., 1991). Assim sendo, um programa é estruturado a partir de ciclos repetidos de seleção e recombinação, organizados de maneira a produzir material genético melhorado (ASSIS, 2018), vislumbrando o longo prazo e tendo na população base a sua fundamentação para a sobrevivência a longo prazo. Pode-se manejar a população base para duas finalidades distintas, formar população de conservação e/ou de melhoramento.

Uma população base deve atender aos objetivos do empreendimento, ser constituída das melhores procedências, considerando uma base genética ampla (CRUZ, 2005), que proporcione ganhos de forma contínua. A população de melhoramento será constituída por plantas a serem recombinadas pelo melhorista, objetivando o melhoramento de progênies e ou clones (ASSIS, 2018). A seleção e recombinação de genótipos superiores busca, por meio de diferentes métodos de seleção e recombinação, obter ganhos (FIGURA 6). Desse modo, os métodos de

melhoramento genético florestal são baseados na seleção recorrente, que busca o aumento gradual na frequência de alelos favoráveis a cada geração da população (NAMKOONG; et al., 1988).

Figura 6 - Representação esquemática de um programa básico de melhoramento de eucalipto envolvendo ciclos de seleção recorrente, estabelecimento de um pomar de sementes e/ou testes clonais de genótipos promissores.



Fonte: Pupin (2018).

O dilema do melhorista tem sido optar por obter ganhos no curto prazo, que implicam em perda de variabilidade e redução da base genética, ou promover ganhos continuamente em diferentes gerações. Uma boa estratégia de melhoramento deve permitir a manutenção da variabilidade por longo prazo, tanto quanto possível, sem sacrificar resultados de curto prazo (ASSIS, 2018). Os ganhos em produtividade, em culturas anuais e perenes, creditados ao melhoramento genético chegam a 50% (RAMALHO et al., 2012), e em eucalipto, os ganhos genéticos são estimados em 1% ao ano (RESENDE et al., 2011).

O rigor e a precisão na condução dos experimentos genéticos devem ser sempre almejados, principalmente porque qualquer deslize pode colocar em risco todo o trabalho (RESENDE, 2002). Assim, a avaliação genética deve ser criteriosa e bem estruturada, de forma que favoreça à obtenção de parâmetros genéticos confiáveis. Segundo Mori et al. (1986), a produtividade da floresta está diretamente relacionada à qualidade do material genético utilizado, tendo sua produtividade maximizada quando bem adaptada às condições ecológicas locais. Vemos ainda, que a seleção massal de árvores, próximas à idade de corte e com comportamento diferenciado para crescimento e forma nos plantios comerciais seminais, foi a principal estratégia de melhoramento adotada por várias empresas florestais brasileiras (PALUDZYSZYN FILHO et al., 2013).

Nas regiões sujeitas a geada no Sul do Brasil, entre as espécies reconhecidamente resistentes a este fenômeno, citam-se *E. viminalis*, *E. benthamii*, *E. nitens* e *E. dunnii* (HIGA et al., 2000), sendo que *E. benthamii* e *E. dunnii* são as espécies mais plantadas nessas áreas em virtude de suas produtividades.

A expansão de plantios de eucalipto incentivou programas de melhoramento para ambientes frios na última década, sendo *E. dunnii* a espécie mais melhorada. As espécies apresentam respostas diferentes a geada, de acordo com severidade desta. São consideradas resistentes ao frio *E. benthamii* e *E. viminalis*, e moderadamente resistentes *E. nitens* e *E. dunnii* (ASSIS et al., 2015).

Dependendo da extensão do dano causado pela geada, algumas plantas retomam o crescimento, é o que chamamos resiliência. Considerar no programa de melhoramento, a resistência e a resiliência se faz necessário, avaliando estas variáveis, pela sobrevivência, escala de notas para os danos por geada e retomada do crescimento das plantas (HIGA et al., 2000). Além desses fatores, a redução do ciclo e aumento na eficiência de seleção vêm sendo enfatizada pelos melhoristas, uma vez que com os avanços da biotecnologia, Fonseca et al. (2010) citam a transgenia, via técnicas de modificação genética, como uma ferramenta complementar importante para o melhoramento genético de *Eucalyptus*.

Avanços significativos são esperados com a utilização da Seleção Genômica Ampla (SGA) nos programas de melhoramento com eucaliptos, pois preconiza-se que a SGA possa melhorar a eficiência e rapidez na obtenção dos resultados, conduzindo a um aumento da ordem de 100% na eficiência seletiva, podendo ser aplicada em qualquer geração de melhoramento e ainda reduzir o tempo de seleção dos materiais

genéticos (FONSECA et al., 2010; NEALE; KREMER, 2011). Para isso, têm sido propostas abordagens recentes como a seleção assistida por marcadores (*Marker-assisted Selection* - MAS) que inclui a redução dos custos, aumento da intensidade de seleção e aumento na eficiência de seleção para caracteres de baixa herdabilidade, porém, apresenta uso limitado e ganhos em eficiência reduzidos (FONSECA et al., 2010).

### 3.6 ESCOLHA DA ESPÉCIE

A seleção da espécie, talvez seja o elemento primordial para o desenvolvimento de programa de melhoramento (CARVALHO, 2010), pois deve considerar as condições do clima e solo do local de implantação (MORA; GARCIA, 2000), até a destinação principal da madeira a ser produzida. Após a escolha da espécie, faz-se necessário definir as fontes geográficas ou procedências mais adequadas (ASSIS, 1996), tanto para atendimento comercial quanto para o estabelecimento de população base para a condução de programas de melhoramento florestal (CARVALHO, 2010).

### 3.7 ESCOLHA DAS PROCEDÊNCIAS

No melhoramento de espécies florestais, a pesquisa de procedências é fundamental, pois fornece evidências para a identificação dos componentes genéticos e ambientais da variação fenotípica de diferentes origens geográficas, favorecendo com isso a escolha correta das melhores fontes de sementes (TORGGLER, 1987). O estabelecimento de populações-base a partir dos testes de procedências traz conhecimento sobre as variações inter e intraprocedências, quanto ao comportamento ambiental e silvicultural.

São as variações genéticas existentes entre as diferentes procedências de uma mesma espécie que resultam em diferentes comportamentos em dado local, tornando-se de grande importância ao melhoramento, uma vez que essas diferenças são utilizadas como fonte estudo, as quais sofrem interferência direta do ambiente em que estão estabelecidas. Logo, quando se deseja testar o desempenho de procedências, testes de procedências são realizados, com a finalidade de descobrir

se o desempenho fenotípico é devido à sua constituição genética, ou se foi influenciado pelo ambiental favorável.

### 3.8 ESCOLHA DAS PROGÊNIES

Talvez um dos testes mais utilizados nos programas de melhoramento seja o teste de progênies (CRUZ, 2005), pois quando se deseja testar a superioridade de um indivíduo, este é o caminho, possibilitando saber se o indivíduo fenotipicamente superior deve isso à sua constituição genética superior, ou se a manifestação foi ambiental (ASSIS, 1996). É também um meio eficiente para testar a capacidade das matrizes em transmitir suas características à descendência, utilizando-se sementes progênies de meios-irmãos, ou sem controle de polinização, assim como progênies obtidas por polinização controlada (HIGA; SHIMIZU, 1981).

Progênies são entidades genéticas, por meio das quais é possível estimar a estrutura genética de uma população, assim como explicar a natureza da variação fenotípica, pelo estudo de caracteres úteis ao melhoramento utilizando-se delineamentos experimentais (PALUDZYSZYN FILHO et al., 2001). Esses experimentos além de orientar a formação da nova população base, permitem estimar herdabilidade e outros parâmetros genéticos. Possibilitam ainda, a partir dos indivíduos selecionados, a formação de pomar clonal (PCS) ou pomar de sementes por mudas (PSM). Uma vez que os testes de progênies são utilizados para determinar a superioridade genética de árvores selecionadas, deve-se com base nos resultados, proceder o desbaste seletivo, eliminando as árvores geneticamente inferiores (ASSIS, 2010).

Estes são métodos muito recomendados para a produção de sementes geneticamente melhoradas. A transformação do teste de progênies em pomar de sementes por mudas, consiste em selecionar os melhores indivíduos pelo método "entre e dentro" de famílias, o qual proporciona maiores ganhos (ASSIS, 2018). Desta forma, a população base estabelecida, além de fornecer sementes para plantio comercial, poderá fornecer sementes recombinadas com qualidade genética e adaptativa, adequadas para a continuidade de um programa de melhoramento clássico.

### 3.9 ESCOLHA DE CLONES

A seleção de árvores superiores a serem clonadas, constitui-se numa etapa crítica do programa de melhoramento e deve estar alinhada os objetivos almejados com o processo seletivo (XAVIER, 2003) e as árvores matrizes devem agregar os atributos silviculturais desejáveis.

Algumas vezes, em programas de silvicultura clonal de *Eucalyptus*, a seleção de árvores superiores tem sido realizada, em plantios comerciais, pela necessidade de obter-se resultados a curto prazo, pela variabilidade genética encontrada, operacionalidade e eficiência obtida (XAVIER et al., 2009).

Os testes clonais devem abranger a representatividade das áreas destinadas aos plantios comerciais, visto que em ambientes distintos, existe a ocorrência de interação entre genótipo e ambiente (GxA), podendo comprometer o ganho estimado com a seleção. Desta forma, em programas de melhoramento, os clones promissores precisam ser testados em diferentes ambientes, antes de sua recomendação final e multiplicação (SUDARIC et al., 2005), asseguram confiabilidade na recomendação de clones para um grupo de ambientes ou local específico (ROSADO et al., 2012).

Os estudos clonais com *Eucalyptus* tem viabilizado, a implantação de projetos de reflorestamento clonal, em áreas até então não indicadas para tal finalidade, em função da limitação de material genético via seminal (XAVIER; SILVA, 2010). Após a avaliação e a escolha dos indivíduos a serem clonados, segue-se com o processo de clonagem.

Dentre os métodos de propagação clonal de árvores selecionadas do gênero *Eucalyptus*, mais utilizados, citam-se a estaquia e a miniestaquia (ALMEIDA et al., 2007), que entre outros benefícios, oferecem a transferência plena de características desejáveis, a formação de plantios clonais de alta produtividade e uniformidade e o controle racional de doenças (ALFENAS et al., 2009). Entre as principais desvantagens, as mais críticas podem ser entendidas como o risco de estreitamento da base genética utilizando-se somente plantios clonais, e quando utilizado apenas um pequeno número de clones, além da dificuldade de obtenção de enraizamento em algumas espécies ou clones (WENDLING, 2003).

Para o resgate do material genético, o método mais simples é a decepa das árvores (XAVIER et al., 2009), entretanto este método implica por vezes na perda do genótipo. Contudo, existem outras técnicas de resgate, nas quais a planta matriz é

preservada em sua condição inicial de campo, tais como o anelamento na base do tronco, a indução das brotações basais pela ação do fogo, a enxertia, e o uso de brotações epicórnica induzidas em partes de raízes, ramos ou galhos da árvore selecionada (ALFENAS et al., 2009). Todas essas técnicas buscam a produção de estacas enraizadas, para obtenção de mudas clonais para o estabelecimento de testes clonais em campo.

### 3.10 SELEÇÃO

É necessário considerar a existência de variabilidade genética para realizar seleção (XAVIER et al., 2009). A seleção é um assunto de grande relevância no melhoramento e inúmeros são os métodos que podem ser utilizados para a seleção dos caracteres quantitativos, citados por Resende et al. (2012). Entretanto a seleção deve basear-se em componentes de variância bem como em componentes de médias (RESENDE, 2005). Na prática, a escolha do método de seleção dependerá das magnitudes e ganhos genéticos preditos estimados e da facilidade de aplicação do método.

O método mais citado na área florestal é a seleção recorrente intrapopulacional, que compreende basicamente a obtenção de progênies, a sua avaliação, seleção e recombinação. Além deste método, são amplamente utilizados a seleção entre e dentro de famílias e a seleção combinada. A primeira, com ênfase para formação de pomares de sementes por mudas ou seleção de indivíduos em experimentos para pomares clonais de sementes (RESENDE, 2005), considera apenas um caráter e é mais simples de ser aplicada. A seleção combinada é mais apurada, pois considera o desempenho individual associado ao desempenho da família, onde esperam-se maior precisão na seleção, com respostas máximas nos valores genéticos desses indivíduos (FERREIRA, 2005). Esta seleção remete a resultados mais efetivos que a seleção entre e dentro (MARTINS et al., 2001).

### 3.11 ANÁLISE VIA REML/BLUP

A estimação de componentes de variância/predição de valores genéticos vem sendo aplicada, como uma abordagem padrão de sucesso, no melhoramento de espécies perenes no Brasil, principalmente para espécies do gênero *Eucalyptus*

(BERTOLUCCI, et al., 1993) e *Pinus* (RESENDE, et al., 1996). Este procedimento conduz a máxima acurácia seletiva e máximo ganho genético (RESENDE et al., 2005).

A predição dos valores genéticos dos genótipos é primordial para a definição de estratégias de melhoramento genético. O BLUP é o procedimento ótimo de predição de valores genéticos, permite inferir sobre os efeitos genéticos de tratamentos e o procedimento de máxima verossimilhança restrita (REML) é ótimo de predição de componentes de variância, permite produzir estimativas ou predições mais acuradas de efeitos de tratamentos quando existem dados perdidos nos experimentos (RESENDE, 2004). Com este procedimento, de maior acuracidade, a seleção deixa de ser fenotípica e passa a ser genotípica, propiciando maiores ganhos genéticos (MARTINEZ, 2010).

O software SELEGEN (RESENDE; HIGA, 1994), incorpora estes procedimentos, para vários delineamentos experimentais, e delineamentos de cruzamentos, além de outras análises.

### 3.12 PARÂMETROS GENÉTICOS

Os parâmetros genéticos são as expressões numéricas que nos permitem realizar inferências sobre a estrutura genética das populações (FERREIRA, 2005).

A herdabilidade e variabilidade genética, são os parâmetros que merecem destaque, sendo estes fundamentais para o sucesso do melhoramento genético, pois imprescindível que as características de interesse sejam herdáveis, mantendo a variação na população selecionada (CRUZ, 2005). A variabilidade genética, em conjunto com o valor da herdabilidade, fornece para o programa de melhoramento, boa indicação do potencial de progresso a ser obtido nas gerações (GARRIDO, 1997). A variância genética é estabelecida pela variância aditiva, variância de dominância e dos efeitos epistáticos (CRUZ, 2005). A herdabilidade expressa à proporção da variância fenotípica, a qual tem origem genética. Pode ser desdobrada em herdabilidade no sentido amplo, que considera a variância genética total, sendo utilizada para definição de propagação vegetativa ou de autofecundação e herdabilidade no sentido restrito, quando se considera apenas a variância genética aditiva, para definição de reprodução sexuada (PIRES et al., 2011).

A razão da variância genotípica pela fenotípica é a herdabilidade no sentido amplo. A razão da variância aditiva pela fenotípica é a herdabilidade no sentido restrito (BORÉM; MIRANDA, 2005).

Baixa herdabilidade é encontrada nos caracteres quantitativos pois, além de serem controlados por um grande número de genes, estes são grandemente influenciados pelo ambiente (CRUZ, 2005), demandando métodos de seleção mais elaborados que aqueles com herdabilidade alta (PIRES et al., 2011).

A acurácia seletiva é a correlação entre o valor genotípico verdadeiro e o predito, sendo importante salientar que os valores genéticos aditivos preditos não são iguais aos valores genéticos verdadeiros dos indivíduos. A acurácia, é influenciada pela herdabilidade do caráter, quantidade e qualidade das informações, assim como pelos métodos utilizados para a predição dos valores genéticos e grau de parentesco entre os indivíduos avaliados (PIRES et al., 2011). Desejável alcançar acurácias acima de 70% nas etapas iniciais e intermediárias dos programas de melhoramento (RESENDE, 2007). Imprescindível que a variabilidade genética seja suficientemente grande para possibilitar a seleção e o ganho genético (PIRES et al., 2011).

### 3.13 VARIABILIDADE GENÉTICA

A variabilidade genética tem sido explorada no melhoramento florestal, assumindo que alguns fatores influenciam este fator, como os métodos de seleção, correlações genéticas e fenotípicas entre caracteres, o tipo de ação gênica envolvida e a precisão experimental (PAIVA et al., 2002).

A variabilidade genética é imprescindível para o sucesso do melhoramento, ocorrendo entre espécies dentro de gêneros; entre procedências dentro de espécies e entre árvores dentro de uma procedência (variação individual). Desta forma, a manutenção da base genética está diretamente relacionada com a variabilidade genética, assim como a continuidade do programa de melhoramento, pois o esgotamento da variabilidade genética estabelece o limite para a seleção (PEREIRA; VENCOSKY, 1988).

### 3.14 VARIÂNCIA FENOTÍPICA

A variabilidade fenotípica é resultado dos efeitos genéticos, do ambiente e da interação desses, que por sua vez, pode ser decomposta em três componentes principais, a variação produzida pelo ambiente, variação devido às diferenças na hereditariedade e variação devido aos efeitos conjugados do meio e da hereditariedade (VENCOVSKY; BARRIGA 1992; BORÉM E MIRANDA, 2005).

A quantidade de variação é medida e expressa como variância e, quando os valores forem expressos como desvios da média da população, a variância será simplesmente as médias dos quadrados dos valores (FALCONER, 1987).

A ideia básica no estudo da variância é o seu parcelamento em componentes atribuídos a diferentes causas. A magnitude relativa destes componentes determina as propriedades genéticas da população, e, especialmente, o grau de semelhança entre parentais (FALCONER, 1987).

A soma dos efeitos genéticos aditivos de dominância e epistáticos, é a expressão genotípica do indivíduo, e o parâmetro mais importante a considerar é o que corresponde à variância genética aditiva, pois ela contribui plenamente para a resposta à seleção (VENCONVSKY, 1987). A variância fenotípica por sua vez, pode ser decomposta em três componentes principais, a variação produzida pelo ambiente, variação devido às diferenças na hereditariedade e variação devido aos efeitos conjugados do meio e da hereditariedade (VENCOVSKY; BARRIGA 1992).

### 3.15 CORRELAÇÃO GENÉTICA

Este é um parâmetro importante em melhoramento genético, pois caso a correlação genética de um caractere seja alta, a sua alteração, via seleção, promoverá significativa alteração em outros caracteres correlacionados a ele (PIRES et al., 2011).

O parâmetro de correlação genética entre as variáveis expressa o grau de associação genética entre as variáveis, quantificando a influência que determinadas variáveis exercem umas sobre as outras.

Duas são as causas, que em estudos genéticos, afetam as correlações, uma é genética e a outra ambiental. A genética é principalmente, devida ao pleiotropismo, fenômeno pelo qual um gene afeta simultaneamente duas ou mais características, de tal maneira que, quando houver segregação, causará variação simultânea nas

características envolvidas, muito embora as ligações gênicas sejam uma causa de correlação transitória, em populações de cruzamentos entre linhagens divergentes. Alguns genes tem capacidade para aumentar as características, enquanto outros aumentando uma, reduzem a outra. Neste caso diz-se que a primeira apresenta-se como correlação positiva e a outra como correlação negativa.

A causa ambiental de correlação, se expressa quando duas características são influenciadas pelas mesmas diferenças de condições de ambientes (FALCONER, 1987). São consideradas de alta magnitude as correlações genéticas acima de 0,67, permitindo a seleção indireta entre as variáveis alvo de seleção (RESENDE, 2015).

### 3.16 HERDABILIDADE

A herdabilidade, que pode ser no sentido amplo e no sentido restrito, representa a proporção relativa das influencias genéticas e ambientais, expressando a manifestação fenotípica dos caracteres, direcionando o grau de facilidade ou dificuldade para melhorar determinados caracteres (PIRES et al., 2011).

O fator ambiental pode alterar a proporção herdável, e portanto a seleção de novos indivíduos pode ser dificultada pelo aumento da variabilidade proporcionado pelo efeito do ambiente.

A herdabilidade expressa a proporção da variância total, que é atribuída ao efeito médio dos genes, sendo este que determina o grau de semelhança entre parentes (FALCONER, 1987). Logo, a herdabilidade assume papel preditivo, expressando a confiança do valor fenotípico como direcionador para o valor genético. O valor genético é que influencia a próxima geração, entretanto somente pode-se medir o valor fenotípico do indivíduo. Neste contexto, quando o melhorista escolhe os genitores baseando-se em seus valores fenotípicos, ele somente alcançará sucesso na alteração das características da nova população, se a predição foi estabelecida utilizando-se do conhecimento do grau de correspondência entre valor fenotípico e valor genético. Este grau de correspondência é medido pela herdabilidade (FALCONER, 1987). Um alto valor de herdabilidade para um caráter, indica que o controle genético é alto, ou seja, o efeito genético representa a maior parte da variação fenotípica em relação ao efeito ambiental, presumindo-se que exista grande possibilidade de obtenção de ganho genético com a seleção (VENCOVSKY, 1978).

Quando a herdabilidade de uma característica apresenta alto controle, o seu valor é alto, e para características de baixa herdabilidade, diz-se que são altamente influenciadas pelo ambiente (PIRES et al., 2011). O coeficiente de herdabilidade varia de 0 a 1. As herdabilidades podem ser usadas para nortear a decisão de quais características devem ser investidos esforços em seleção, e para definir o melhor método de seleção (COTTERILL; ZED, 1980).

### 3.17 INTERAÇÃO GENÓTIPO *versus* AMBIENTE

Denomina-se interação genótipo x ambiente a alteração da performance relativa dos genótipos em virtude de diferentes ambientes (BORÉM; MIRANDA, 2005).

Os processos de seleção de genótipos não pode ignorar o comportamento dos genótipos em relação ao ambiente, por esta razão, tem-se dado importância a este tema, buscando o conhecimento dessas interações, e sua aplicabilidade em relação a estabilidade fenotípica das espécies. Conhecer esta interação e seus efeitos é primordial ao programa de melhoramento genético, no que tange ao desafio de recomendar genótipos superiores, para locais distintos, em estabelecimento de plantações em escala (COUTINHO, 2015), pois ignorar esta relação, pode afetar a estratégia dos programas de melhoramento ocasionando perdas, que vão desde a redução do crescimento/produtividade, efeitos negativos na qualidade da madeira até a morte das plantas (ZOBEL; TALBERT, 1984). Isso porque a interação genótipo x ambiente possibilita a seleção de genótipos com adaptação ampla ou específica, a escolha de locais de seleção e a determinação do número ideal de ambientes e de genótipos a serem avaliados (zonas de melhoramento) durante a seleção (FOX et al., 1997).

Quando a interação genótipo x ambiente for significativa, diferentes estratégias de melhoramento devem ser adotadas, de modo a explorar os efeitos positivos da interação em cada ambiente (PIRES et al., 2011). Neste caso, existem duas estratégias de melhoramento a serem empregadas, a utilização de genótipos específicos para cada ambiente, ou a utilização de genótipos com alta estabilidade fenotípica (RESENDE et al., 2001). E caso não existam diferenças significativas, é possível utilizar-se uma única zona de melhoramento, suprimindo a demanda dos ambientes testados.

Correlações acima de 0,67 são consideradas altas e indicam que um só programa de melhoramento atende satisfatoriamente a todos os locais, simultaneamente (RESENDE, 2002). A presença e magnitude da interação GxA impactam na predição do valor genético e, portanto, no ganho de seleção (ALLARD; BRADSHAW, 1964). A influência desta interação pode ser amenizada com o uso de cultivares com ampla adaptabilidade e boa estabilidade (RESENDE, 2007; ROSADO et al., 2012).

### 3.18 ESTABILIDADE E ADAPTABILIDADE

No melhoramento genético de plantas, tem-se dado ênfase aos estudos dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica dos genótipos, pois estes fornecem informações sobre o comportamento de cada genótipo nas várias condições ambientais (COSTA et al., 1999; CRUZ et al., 2004; BASTOS et al., 2007).

A adaptabilidade do material genético corresponde à capacidade de genótipos nas condições ambientais, assimilarem vantajosamente o estímulo ambiental para sobreviver, crescer e reproduzir-se. A estabilidade por outro lado, indica a capacidade de um genótipo exibir um comportamento previsível e estável na presença de variações na qualidade ambiental (LIN; BINNS, 1988; RESENDE, 2005). E, embora sejam fenômenos relacionados, adaptação e estabilidade não devem ser considerados como um único fenômeno (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). Sempre lembrando que as interações edafoclimáticas e as influências bióticas, interferem na eficiência de adaptação das espécies (LÓPEZ; FORNÉS, 1997).

As avaliações da adaptabilidade e da estabilidade, devem ser realizadas tendo como foco, melhorar e aumentar a produtividade, reduzindo custos para o futuro (MARTINEZ et al., 2012).

Para Carbonell et al. (2007), a seleção simultânea para produtividade, estabilidade e adaptabilidade, no contexto de modelos mistos, pode ser realizada pelo método da média harmônica da performance relativa dos valores genéticos preditos (MHPRVG), o qual classifica os efeitos dos genótipos como aleatórios e portanto, fornece estabilidade e adaptabilidade genotípica e não fenotípica. Segundo Sturion e Resende (2005), um método proposto por Resende (2004), permite a seleção simultânea por produtividade, estabilidade e adaptabilidade, no contexto dos modelos mistos, pode ser realizada pelo método da Média Harmônica da Performance Relativa

dos Valores Genéticos (MHPRVG) preditos, que apresenta outras vantagens, como: considerar os efeitos genotípicos como aleatórios e, portanto, fornecer estabilidade e adaptabilidade genotípica; permitir lidar com heterogeneidade de variâncias; permitir lidar com desbalanceamento; permitir lidar com delineamentos não ortogonais; considerar os erros correlacionados dentro de locais; fornecer valores genéticos descontados (penalizados) da instabilidade; gerar resultados na própria grandeza ou escala do caráter avaliado; e permitir computar o ganho genético com a seleção, pelos três atributos simultaneamente (RESENDE, 2007).

### 3.19 TAMANHO EFETIVO POPULACIONAL $N_e$

Um programa de melhoramento deve ser planejado de maneira a manter os ganhos genéticos em longo prazo, para isso é necessário uma base genética na população base com capacidade de manter o limite seletivo por várias gerações. Por definição o limite seletivo é máxima produtividade que pode ser atingida após vários ciclos seletivos, até alcançar a exaustão de toda a variabilidade genética contida nas populações. Neste contexto, a manutenção do tamanho efetivo populacional está relacionado com a obtenção do limite seletivo (RESENDE, 2015). O  $N_e$  considerado adequado para obtenção de seleção, não é de grande magnitude, estando na faixa de 30 a 60 (PEREIRA; VENKOVSKY, 1988). Logo, o tamanho efetivo populacional refere-se ao tamanho genético de uma população reprodutiva e não a sua composição em número de indivíduos (PIRES et al., 2011). Resende (2005), enfatiza que uma população de 75 a 100 famílias de meios-irmãos, composta por inúmeros indivíduos em cada família, é suficiente para obter-se alta intensidade de seleção nas primeiras gerações mantendo o tamanho efetivo populacional compatível, entre 30 e 60 (RESENDE, 2005). A continuidade e ganhos dos programas de melhoramento dependem do correto dimensionamento do tamanho efetivo populacional e neste sentido, Frankel (1977) cita que não trata-se apenas de preservar alelos, para uso imediato ou futuro, mas de manter-se complexos gênicos na sua integridade. Pois é sabido que os complexos gênicos, nos futuros programas de melhoramento, podem ter grande importância quando a necessidade for desenvolver genótipos com capacidade de adaptação a condições extremas ou atípicas, para a espécie em questão.

### 3.20 DIVERSIDADE GENÉTICA

A influência da diversidade genética ainda é pouco entendida, embora sua importância seja reconhecida, pois esta interfere na performance individual, a capacidade de adaptação e a evolução de novas espécies (FUNDA; EL-KASSABY, 2012).

Alta diversidade genética é normalmente encontrada nas populações de espécies florestais, as quais apresentam alta diversidade genética, em função da predominância do sistema de reprodução por cruzamento e ao fluxo gênico entre populações, especialmente pelas longas distâncias alcançadas pelo movimento do pólen (HAMRICK et al., 1992). Os padrões reprodutivos mantêm a estrutura e distribuição da diversidade genética, de acordo com a biologia reprodutiva da espécie e a estrutura espacial da população (EWÉDJE et al., 2017).

A deriva genética, em programas de melhoramento, pode ser resultante da redução da diversidade genética, que atua em direção oposta aos ganhos de seleção, enquanto se acumulam entre gerações a endogamia e a coancestria (FUNDA; EL-KASSABY, 2012). Neste contexto, a ação antrópica tem afetado a diversidade genética, podendo alterar a distribuição da variabilidade genética gerando estruturação genética espacial nas populações (MORAES et al., 2005). Estes fatos colocam em risco a sobrevivência de populações, pois a diversidade genética afeta diretamente a sustentabilidade das espécies, interferindo na adaptação e evolução das espécies florestais (RAJORA; MOSSELLER, 2001).

### 3.21 DENSIDADE BÁSICA E USO DA FERRAMENTA RESISTÓGRAFO

A densidade básica, em função da facilidade de sua determinação e por ser aceita como um dos principais parâmetros de qualidade da madeira, tomou-se uma característica a ser estudada nos programas de melhoramento quando se visa a utilização das florestas como matéria prima industrial ou energética.

Entre os diferentes métodos de determinação de densidade básica, cita-se o uso do resistógrafo, como uma ferramenta utilizada para determinação indireta da resistência da madeira, pois mede a resistência da madeira à perfuração de uma agulha. Esta resistência, pode ser correlacionada com a densidade básica da madeira,

desta forma, medições rápidas com o resistógrafo podem prever a densidade básica da madeira.

O aparelho resistógrafo utiliza uma broca de 3 mm de diâmetro, feita de aço, a qual é direcionada para perfurar a madeira a uma determinada velocidade, registrando 100 pares de profundidades e amplitudes a cada centímetro que a broca avança em sentido radial do tronco, medindo a resistência à penetração a cada 0,1 mm. Os registros realizados por sensores mecânicos e eletrônicos do equipamento, fornecem um valor de resistência à penetração, denominado amplitude, sendo expresso em porcentagem (MANTILLA, et al., 2013). A amplitude indica o consumo energético que a broca dispense para vencer a resistência à penetração na madeira, em relação a um valor de referência do aparelho. (LIMA, et al., 2007).

## REFERÊNCIAS

- ABRAF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Anuário Estatístico da ABRAF 2013: ano base 2012. Brasília: ABRAF. 2013. Disponível em: <[www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-abraf13-br.pdf](http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-abraf13-br.pdf)>. Acesso em: 19 mai 2017.
- ALFENAS, A.C.; ZAUZA, E.A.V.; MAFIA, R.G.; ASSIS, T.F. de. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2ª ed. Viçosa: UFV, 2009. 500p.
- ALLARD, R.W.; BRADSHAW, A.D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 4, n. 5, p. 503-508, 1964.
- ALMEIDA, F.D. de; XAVIER, A.; DIAS, J.M.M. Propagação vegetativa de árvores selecionadas de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. por estaquia. **Revista Árvore**, v.31, p.445-453, 2007.
- ALVES, I. C. N.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; SILVA, H. D. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose Kraft. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 1, p. 167-174, 2011.
- ANDRADE, H. B. **Avaliação de espécies e progênes de *Eucalyptus* L'Heritier (Myrtaceae) nas regiões norte e noroeste do Estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 105 p. 1991.
- ANDRADE, L. A. Classificação ecológica do território brasileiro situado a leste do meridiano de 44° oeste e ao norte do paralelo de 16° sul: uma abordagem climática. Tese. (Doutorado em Ciência Florestal). Programa de Pós Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 147 p. 1998.
- ASSIS, T. F. Melhoramento genético do eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 189, p. 32-51, 1996.
- ASSIS, T.; Abad, J.; Aguiar, A. **Melhoramento Genético do Eucalipto**. 2015. p. 217 - 244.
- ASSIS, T. F.; **Melhoramento Genético do Eucalipto**. Disponível em: <[foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2014.%20melhoramento%20eucalipto.doc](http://foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2014.%20melhoramento%20eucalipto.doc)>. Acesso em: 25 de abril de 2018.
- BASTOS, I. T. et al. Avaliação da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 4, p. 195-203, out./dez. 2007.
- BRAGA, H. J.; GHELLERE, R. Proposta de diferenciação climática para o Estado de Santa Catarina. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 11 e Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, 2. Florianópolis, SC. **ANAIS ...**, Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia SBA, 1999. CD-ROM.

BENSON, D. H. Aspects of the ecology of a rare tree species, *Eucalyptus benthamii*, at Bents Basin, Wallacia. **Cunninghamia**, v.1, n.3, p.371-383, 1985.

BERTOLUCCI, F. de L. G.; REZENDE, G. D.S. P.; PENCHEL, R. Produção e utilização de híbridos de eucalipto. **Silvicultura**, São Paulo, v. 13, n. 51, p. 12-16, set/out. 1993.

BORÉM A.; MIRANDA G. V. **Melhoramento de plantas**. 4º ed., Viçosa: UFV, 2005, 525 p.

BRONDANI, G. E. Miniestaquia e micropropagação de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage X *Eucalyptus dunnii* Maiden. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

BUTCHER, P. A.; SKINNER, A. K.; GARDINER, C. A. Increased inbreeding and inter-species gene flow in remnant populations of the rare *Eucalyptus benthamii*. **Conservation Genetics**, v.6, p.213–226, 2005.

CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; RESENDE, M. D.; DIAS, L. A. S; BERALDO, A. L. A.; PERINA, E. F. Estabilidade de cultivares e linhagens de feijoeiro em diferentes ambientes no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, p.193-201, 2007.

CARVALHO, D.S. **Comportamento genético de progênies de meios irmãos de pinhão manso no recôncavo baiano, Brasil**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas, 41 p. 2010.

COSTA, J. G. et al., Adaptabilidade e estabilidade de produção de cultivares de milho recomendadas para o Estado do Acre. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 23, n. 1, p.7-11, 1999.

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

COUTINHO, R. T. **Viabilidade da seleção precoce e efeito da interação genótipo-ambiente no melhoramento de *Pinus taeda* L.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Paraná, 2015.

CRUZ, C. D. **Princípios de genética quantitativa**. Viçosa, MG: UFV, 2005. 394p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, 3 ed. Viçosa: UFV, 2004. 480 p.

LIN, C.S.; BINNS, M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 68, n. 3, p. 193-198, 1988.

EWÉDJE, E. B. K.; AHANCHÉDÉ, A.; HARDY, O. J. Breeding system, gene dispersal and small-scale spatial genetic structure of threatened food tree species, *Pentadesma*

*butyraceae* (Clusiaceae) in Benin. **Conservation Genetics**, Dordrecht, v. 18, n. 4, p. 799-811, 2017.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 1987. 279 p.

FERREIRA, M. Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal. **IPEF**, n. 45, p. 22-30. 1992.

FERREIRA, A. R. **Análise Genética e Seleção em Testes Dialélicos de *Pinus taeda* L.** Tese (doutorado). Universidade Federal do Paraná: 2005.

FLORES, T. B.; ALVARES, C. A.; SOUZA, V. C.; STAPE, J. L. ***Eucalyptus* no Brasil: zoneamento climático e guia para identificação**. Piracicaba: IPEF, 2016. 448p.

FONSECA, S. M. D. F.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. DA S.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético de eucalipto**. Viçosa: Ed. UFV, 2010. 200 p.

FOX, P. N.; CROSSA, J.; ROMAGOSA, I. Multi-environment testing and genotype environment interaction. In: KEMPTON, R. A.; FOX, P. N. (Ed.). **Statistical methods for plant variety evaluation**. New York: Chapman & Hall, 1997. p. 117-138

FRANKEL, O. H. Natural variation and its conservation. In: MUHAMMEO, A.; AKSEL, R. & VON BORSTEL, R. C. Genetic diversity in plants. **Plenum Press**, New York, p. 21-44, 1977.

FUNDA, T.; EL-KASSABY, Y. A. Seed orchard genetics. **CAB Reviews**, Wallingford, v. 7, n. 13, p. 1-15, 2012.

GARRIDO, L. M. A. G. Programa de melhoramento genético visando produção de resina em *Pinus*.(Resultados de 17 anos). In: **Congressos Forestales**. 1997.

GUTIÉRREZ, G. DE LA L. **Atlas Del Eucalipto**. Ministerio de Agricultura, Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias (INIA), Sevilla. Tomo I. 1976.

HAMRICK, J. L.; GODT, M. J. W.; SHERMAN-BROYLES, S. L. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. **New Forests**, Heidelberg, v. 6, n. 1-4, p. 95-124, 1992.

HIGA, R.C.V. et al. Resistência e resiliência a geadas em *Eucalyptus dunnii* Maiden plantados em Campo do Tenente, PR. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 40, p. 67-76, 2000.

HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. Usos potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. Colombo: Embrapa Florestas, 2003 (**Comunicado Técnico no. 100**). 4p.

HIGA, A. R.; SHIMIZU, J. Y. Produção de sementes melhoradas de essências florestais. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.3, n.3, p.19-26, 1981.

HIGA, A. R.; RESENDE, M. D. V.; SOUZA, S. M. Programas de melhoramento genético de *Eucalyptus* no Brasil. In: Simpósio Internacional: O Desafio das Florestas Neotropicais. **Anais**. Curitiba: UFPR/IUFRO, p. 86-100. 1991.

HIGA, R. C. V.; WREGGE, M. S. Zoneamento climático de *Eucalyptus grandis* para a região Sul do Brasil. CD-ROM Embrapa Florestas. Colombo. 2010.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório 2017. 2017. Disponível em: <[www.iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](http://www.iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf)>. Acesso em: 22 maio 2018.

LEIGH, J.; BRIGGS, J.; HARTLEY, W. Rare or threatened Australian Plants. Special Publication 7. **Australian National Parks & Wildlife Service**, Canberra, 1981.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. B.; KLOCK, H. **Características anatômicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage e sua influência na qualidade do papel**. Curitiba: UFPR, 1998, 8 p.

LIMA, J. T.; SARTÓRIO, R. C.; TRUGILHO, P. F.; CRUZ, C. R. da.; VIEIRA, R. da S. Uso do Resistógrafo® para estimar a densidade básica e a resistência à penetração da madeira de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 75, p. 85-93, 2007.

LÓPEZ, C. R.; FORNÉS, L. F. Estabilidade genética em progênies de *Eucalyptus grandis* (Hill) ex Maiden. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF *EUCALYPTUS*, 1997, Salvador. **Proceedings...** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, v. 1, p. 163-168, 1997.

MANTILLA, E. V.; PEREIRA, N. C., S.; ALVES, R. C. Estimativa da densidade aparente, resistência à compressão e módulo de elasticidade da madeira por meio do resistógrafo. **Construindo**, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 45-51, 2013.

MARTINEZ, D. T. **Avaliação genética sob heterogeneidade de variância residual dentro de tratamentos**. Tese (doutorado). Universidade Federal do Paraná, 2010.

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

MARTINS, I. S.; MARTINS, R. de C. C.; CORREIA, H. de S. Comparação entre seleção combinada e seleção direta em *Eucalyptus grandis*, sob diferentes intensidades de seleção. **Floresta e Ambiente**, v.8, p.36-43, 2001.

MONTEIRO, M.A. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **Geosul**. V. 16, n. 31, Jan/Jun, 2001. Florianópolis. p. 69-78.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A Cultura do Eucalipto no Brasil**. SBS. 2000. 112p.

MORAES, M. L. T.; KAGEYAMA, P. Y.; SEBBENN, A. M. Diversidade e estrutura genética espacial em duas populações de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. sob diferentes condições antrópicas **Revista Árvore**, v.29, n.2, p.281-289, 2005.

MORI, E. S.; LELLO, L. R. B.; KAGEYAMA, P. Y. Efeitos da interação genótipo x ambiente em progênies de *Eucalyptus saligna* SMITH. **IPEF**, n.33, p.19-26, 1986.

NAMKOONG, G.; KANG, H. C.; BROUARD, J. S. **Tree breeding: principles and strategies**. New York: Springer-Verlag, 1988. 180 p.

NEALE, D.B.; KREMER, A. Forest tree genomics: growing resources and applications. **Nature Reviews Genetics**, Londres, v. 12, n. 2, p. 111-122, 2011.

PAIVA, J. R.; RESENDE, M. D. V.; CORDEIRO, E. R. Índice multiefeitos (BLUP) e estimativas de parâmetros genéticos aplicados ao melhoramento da acerola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 6, p. 799-807, 2002.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; MORA, A. L.; MAESTRI, R. Interação de genótipos de *Pins taeda* L. com locais no Sul-Sudeste do Brasil. **Cerne**, v.7, n1, p.90-100, 2001.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; FARDIN, A. E.; SANTOS, A. M.; REIS, C. A. F.; SANTOS, P. E. T. dos; MACHADO, A. M.; RAFAEL, G. C. Base genética de melhoramento de eucaliptos e corímbias no norte do Estado de Goiás: resultados da cooperação técnica entre a Embrapa Florestas e a Anglo American Níquel Brasil - Codemin. Colombo: **Embrapa Florestas** n. 248. 2013.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JR, V. P. DA; MASSIGNAM, A. M., PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VALCI, F.V. **Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-Rom.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: **Agropecuária**, 2002. 478 p.

PEREIRA, M. B.; VENCOVSKY, R. Limites da seleção recorrente: I. Fatores que afetam as frequências alélicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.7, p. 769-780, julho 1988.

PIRES, I. E.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, R. L. da; RESENDE JUNIOR, M. F. R. **Genética Florestal**. Viçosa, MG: Arka, 2011. 318 p.

PROBER, S. M.; BROWN, A. H. D. X Conservation of the Grassy White Box Woodlands: population genetics and fragmentation of *Eucalyptus albens*. **Conservation Biology**, v.8, p.1003–1013, 1994.

PRYOR, L. D. Australian endangered species: *Eucalypts*. Special Publication 5. **Australian National Parks & Wildlife Service**, Canberra. 1981.

PUPIN, S. Diversidade genética, sistema de reprodução e parentesco em progênies de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. Tese (Doutorado) Universidade estadual Paulista, UNESP. Ilha Solteira. 2018.

RAJORA, O. M.; MOSSELER, A. Challenges and opportunities for conservation of forest genetic resources **Euphytica**, v.118, n.2, p.197-212, 2001

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; ABREU, A. de F., B.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas**. Lavras: UFLA, 2012. 522 p.

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa. Informação Tecnológica, 2002. 975p.

RESENDE, M. D. V. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. v. 1. 57 p.

RESENDE, M. D. V. **Melhoramento de essências florestais**. In: BORÉM, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: UFV, 2005.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 562p.

RESENDE, M. D. V. **Genética quantitativa e de populações**. Viçosa, 2015.

RESENDE, M. D. V.; HIGA, A. R. Estimação de valores genéticos no melhoramento de Eucaliptus – seleção em um caráter com base em informações do indivíduo e seus parentes. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 28-29, p. 11-36, 1994.

RESENDE, M. D. V. et al. **Métodos e Estratégias de Melhoramento de Espécies Perenes: Estado da Arte e Perspectivas**. In: Embrapa Florestas Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, 3., 2005, Gramado. Anais. Passo Fundo: Embrapa Trigo;[SI]: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2005.

RESENDE, M. D. V.; PIRES, I. E.; SILVA, R. L. Melhoramento do Eucalipto. In: LOPES, M. A.; FAVERO, A. P.; FERREIRA, M. A. J. F.; FALEIRO, F. G. (Ed). **Pré-melhoramento de plantas: estado da arte e experiências de sucesso**. Brasília, DF: Embrapa Informação tecnológica; Embrapa Cerrados, 2011. p. 413-440.

RESENDE, M. D. V. de; PRATES, D. F.; JESUS, A.; YAMADA, C. K. Estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e melhor predição linear não viciada (BLUP) em Pinus. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 32/33, p.18-45, 1996.

RESENDE, M.D.V.; SILVA, F.F.; LOPES, P.S.; AZEVEDO, C.F. **Seleção genômica ampla (GWS) via modelos mistos (REML/BLUP), inferência bayesiana (MCMC), regressão aleatória multivariada (RRM) e estatística espacial**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2012. 291 p. Disponível em: <[http://www.cnpso.embrapa.br/gws/selecao\\_genomica.pdf](http://www.cnpso.embrapa.br/gws/selecao_genomica.pdf)> Acesso em: 29 maio. 2018.

RESENDE, M. D. V.; STURION, J. A.; HIGA, A. R. Comparação entre métodos de avaliação da estabilidade fenotípica e adaptabilidade aplicados a dados de *Eucalyptus cloeziana* (F. MUELL). **Boletim Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 42, jan./jun, p. 3-34. 2001.

RIBEIRO, C. A. D. Delimitação de zonas agroclimáticas para cultura do eucalipto no norte do Espírito Santo e sul da Bahia. Universidade Federal do Espírito Santo. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Espírito Santo. 2009. 102 p.

RINN, F.; SCHWEINGRBER, H.; SCHAR, E. Resistograph and x-ray density charts of wood comparative evaluation on drill resistance profiles and x-ray density charts of different wood species. **Holzforschung**, Berlin, v. 50, n. 4, p. 303-331, Aug. 1996.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G.; BHERING L. L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.47, n.7, p.964-971, 2012.

SILVA, L. D. **Melhoramento genético de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage visando a produção de madeira serrada em áreas de ocorrência de geadas severas**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008. 275p.

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. Eficiência do delineamento experimental e capacidade de teste no melhoramento genético da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil). **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 50, p. 3-10, 2005.

TORGGLER, M.G.F. Variação genética entre progênies dentro de procedências de *Eucalyptus saligna* Smith. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 198p. 1987.

SUDARIC, A.; SIMIC, D.; VRATARIC, M. Characterization of genotype by environment interactions in soybean breeding programmes of southeast Europe. **Plant Breeding**, v.125 p.191-194, 2005.

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

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 416 p.

XAVIER, A. Silvicultura clonal III: Seleção e manejo dos clones. Curso de Silvicultura Clonal, outubro de 2003. 56 p. (notas de aula).

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. Viçosa: UFV. 2009. 272 p.

XAVIER, A.; SILVA, R. L. Evolução da Silvicultura Clonal de *Eucalyptus* no Brasil. **Agronomía Costarricense**, v.1, n.34, p.93-98, 2010.

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

WENDLING, I. Propagação vegetativa. 2003. Disponível em: <[www.ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/50925/1/Wendling.pdf](http://www.ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/50925/1/Wendling.pdf)>. Acesso em 23/04/2018.

## CAPÍTULO I

### SELEÇÃO DE ESPÉCIES DE *Eucalyptus* COM POTENCIAL PRODUTIVO PARA O PLANALTO NORTE CATARINENSE

#### RESUMO

O Brasil é um grande produtor e exportador de produtos da base florestal. Diante deste cenário, um desafio é expandir as fronteiras da silvicultura, principalmente com florestas de eucalipto. A região Sul, com aptidão florestal, apresenta limitação quanto as baixas temperaturas, estimulando a identificação de espécies com potencial adaptativo a esta condição e que resultem em rápido crescimento, alta produtividade e qualidade de madeira que atendam diversos mercados. Com esta finalidade, neste estudo foram avaliadas nove espécies do gênero *Eucalyptus* para caracteres de crescimento, sobrevivência (SOB) e tolerância à geada. Aos doze meses foram analisados sobrevivência (SOB) e tolerância ao frio, e, aos 60 meses a SOB, o DAP e o volume, em dois experimentos de introdução de espécies nos municípios de Três Barras e Mafra, localizados no Planalto Norte do estado de Santa Catarina. As maiores taxas de sobrevivência em ambas as localidades foram de 80,69 a 89,06% para *E. dorrigoensis*, seguida por *E. saligna* e *E. benthamii* e as menores taxas foram observadas para *E. badjensis* e *E. tereticornis*. A espécie que apresentou a maior tolerância a geada nos dois locais foi *E. macarthurii* com 26% das plantas sem danos em Mafra e 82,92% em Três Barras, seguidas por *E. viminalis* e *E. benthamii*. Considerando a interação entre as duas localidades (Mafra e Três Barras), o *E. benthamii* apresentou a maior média de DAP com coeficiente de herdabilidade individual no sentido restrito de 0,14 e herdabilidade média entre progênies de 0,58. A avaliação de produtividade, adaptabilidade e estabilidade entre os dois locais, para a variável volume pelo método MHPRVG, indicou correlação genética 0,97 para as progênies de *E. benthamii*. Estudos clonais conduzidos a partir da população de *E. benthamii* considerando as variáveis DAP e volume, apresentaram forte correlação linear dos parâmetros fenotípicos, sendo ( $r=0,87$ ) para DAP entre 36 e 67 meses e ( $r=0,83$ ) para altura entre doze e 60 meses. A seleção otimizada pelo método MHPRVG para a variável volume aos 36 meses, sugere ganhos expressivos utilizando clones desta população. Estes resultados fornecem contribuições conduzir testes de procedências e progênies, com o objetivo de investigar a variação genética aditiva e seus componentes, o conhecimento do controle genético dos caracteres e auxiliar no estabelecimento de estratégias para um programa de melhoramento genético para *E. benthamii*. O estudo indica que uma população de melhoramento única pode ser adotada para a espécie, com a seleção de progênies e/ou indivíduos para compor uma população de melhoramento. Os experimentos clonais sugerem a possibilidade de seleção precoce de clones tanto considerando a variável DAP quanto volume, com expressiva assertividade.

**Palavras-chave:** *Eucalyptus benthamii*, geada, variância genética.

## ABSTRACT

Brazil is a major producer and exporter of forest-based products. Given this scenario, one challenge is to expand the frontiers of silviculture, especially with *Eucalyptus* forests. The main limitation for the south region of Brazil with forest aptitude, is low temperatures, which stimulates the identification of potential species that yield rapid growth, high productivity and high wood quality of wood for diverse markets. With this objective, we evaluated the adaptive potential of nine species of the *Eucalyptus* for growth traits, survival and frost tolerance. We analyzed survival and cold tolerance at for the first year and at the five years of age, we analyzed survival, diameter at breast height (DBH) and volume, in the two field trials located in the counties of Três Barras and Mafra, in the Planalto Norte Catarinense. The species with highest survival across locations was *E. dorrigoensis* (80.69% and 89.06%), followed by *E. saligna* and *E. benthamii*. Lowest survival rates were observed for *E. badjensis* and *E. tereticornis*. The species that showed the highest frost tolerance across sites was *E. macarthurii* with 26% of the plants showing no signs of frost damage in Mafra and 82,92% in Três Barras, followed by *E. viminalis* and *E. benthamii*. Considering the interaction between the two sites (Mafra and Três Barras), *E. benthamii* presented the highest mean DBH with narrow-sense heritability coefficient of 0,14 and average family heritability 0,58. The productivity, adaptability and stability evaluation between the two sites, for the volume trait using the MHPRVG method, indicated a genetic correlation 0,97 for the progenies of *E. benthamii*. Clonal studies conducted from the population of *E. benthamii* indicated that there is a strong linear correlation of phenotypic parameters across ages, ( $r = 0,87$ ) for DBH between 3- and 5.6-years of age, and ( $r = 0,83$ ) for height between 1- and 5-years of age. The optimized selection using the MHPRVG method for tree volume at 3-years of age suggests significant gains using the best clones of this population. These results motivated the establishment of provenances and progenies test, with the purpose of investigating the additive genetic variation and its components, to gain knowledge about the genetic control of growth traits and to guide the strategies of a tree breeding program for *E. benthamii*. This study indicates that a single breeding population can be adopted for the species, in which the best progenies and/or individuals will be selected to create a breeding population. Clonal experiments suggest the possibility of early selection for both DBH and volume traits with high accuracy.

**Key words:** *Eucalyptus benthamii*, frost, genetic variance.

## 1 INTRODUÇÃO

Originário da Austrália, o gênero *Eucalyptus* L'Héritier 1788 pertencente à família Myrtaceae, conta com mais de 800 espécies, entretanto somente um pouco mais de 30 espécies são economicamente exploradas (FLORES et al., 2016). Este gênero possui as principais espécies usadas para reflorestamento, com dispersão mundial e ampla plasticidade, apresentando bom crescimento em diferentes condições edafoclimáticas, excedendo às regiões de origem (SANTOS et al., 2001).

No Brasil, os 5,7 milhões de hectares de plantios de eucalipto estão localizados principalmente nas regiões Sudeste (45,3%) com as maiores áreas em Minas Gerais (24,5%) e em São Paulo (16,7%), seguida da região Centro-Oeste (18,7%) no Mato Grosso do Sul (3,8%) região Sul (12,7%) e (IBÁ, 2017). O mercado nacional de produtos florestais em relação à demanda mundial, indica um grande interesse em expandir estes recursos com plantações de rápido crescimento e alto rendimento, principalmente com florestas de eucalipto. A região Sul com 1,7 milhões de hectares de área reflorestada com eucalipto, apresenta excelente aptidão florestal.

A primeira etapa de um projeto de reflorestamento é a definição da espécie a ser plantada, considerando o uso do produto e as condições edafoclimáticas do local do empreendimento (ANGELI, 2005). As espécies expressam desigualdades fundamentais quanto às respostas aos estímulos ambientais de cada diferente local, portanto, a condução de experimentos em vários locais, é imperativo para quantificar a interação genótipo ambiente em ensaios de espécies, visando avaliar a capacidade de adaptação em cada local (DEL QUIQUI et al., 2001; NUNES et al., 2002; SILVA; DUARTE, 2006; ORO et al., 2012)

O processo de escolha de espécies de eucalipto potencialmente aptas para o plantio no Brasil, tem se baseado primeiramente, em critérios climáticos (BARROS; NOVAIS, 1990; ELOY et al., 2013; EMBRAPA, 1988), sendo a geada um fator ambiental importante na adaptação, pois interfere no crescimento e desenvolvimento das espécies. Neste contexto, a expansão da base florestal para o eucalipto na região do Planalto Norte Catarinense, que está sujeita a invernos rigorosos com frequente formação de geada, exige uma espécie com boa tolerância ao frio (BRAGA; GHELLERE, 1999; SOUZA et al., 2011). Na seleção das espécies de eucalipto, obter plantas resistentes ou tolerantes ao frio, é o maior desafio, pois além de características de crescimento desejáveis, as espécies/procedências devem ser tolerantes ao frio e

ter boa capacidade de rebrota, para a regeneração de talhões atingidos por geadas severas ou atípicas (HIGA et al., 1997; EMBRAPA, 1988).

Os danos causados pelas geadas podem ocorrer em duas situações diferentes, segundo Garrán et al. (2007). A primeira quando as temperaturas do outono e do inverno são superiores às normais, provocando a continuidade da estação de crescimento e curta dormência invernal, com início antecipado da brotação. A segunda durante o inverno, com temperaturas máximas e médias maiores seguidas de geadas particularmente intensas e mínimas extraordinariamente baixas (BURGOS, 1963; FERNÁNDEZ LONG et al., 2004). No primeiro caso, mais que a temperatura mínima, o que ocasiona o dano nas plantas são a intensidade, duração e frequência das geadas (HARRAND; MARCÓ, 2012; HIGA, 1999).

Os efeitos da geada nas plantas de eucalipto são diretamente observados por sinais que vão desde a queima superficial das folhas até desfolha total em plantas novas e em brotos (PALUDZYSZYN FILHO et al., 2006). As temperaturas, quando próximas ou abaixo de 0 °C, ocasionam danos que vão desde a perda de área foliar até a morte das plantas de eucalipto, em várias idades. Quanto mais jovem a planta, maior o dano nas folhas, caules e ramos pela ocorrência de geadas, devido à maior sensibilidade do material vegetativo, em decorrência da proximidade ao solo, onde a inversão térmica é mais pronunciada (CARAMORI et al., 2000).

O desempenho dos genótipos é variável nos vários ambientes, refletindo às mudanças ambientais em respostas diferentes dos genótipos (PRADO et al., 2001). Portanto, a interação genótipo-ambiente (G x E) deve ser considerada e estimada em programas de melhoramento e na indicação de cultivares. Os estudos dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica dos genótipos têm sido de grande contribuição nesse aspecto, pois fornecem informações sobre o comportamento de cada genótipo em várias condições ambientais (CRUZ et al., 2004). Neste cenário, é importante para um programa de melhoramento, testar espécies procedentes de condições edafoclimáticas compatíveis com o local de estabelecimento do empreendimento florestal.

As estratégias de melhoramento genético florestal consideram a seleção de espécies/procedências e a seleção individual dentro de populações-base, beneficiando-se da variabilidade natural existente entre populações e entre indivíduos (FERREIRA, 1992). Esta alternativa está em concordância com Konzen et al. (2017) que afirmam que experimentos de estabelecimento de espécies podem ser utilizados

para compor populações para produção de sementes para ensaios de progênies ou para resgate de matrizes para propagação clonal, ou seja, escolha e seleção de clones. Os clones selecionados devem ser submetidos a testes clonais, visando confirmar a superioridade do material genético, em diversas situações ambientais que possibilitem a seleção para resistência contra pragas e doenças (ALFENAS et al., 2009).

Este capítulo objetivou identificar o desempenho de 9 espécies de eucalipto, em sobrevivência e tolerância a geada, e baseando-se em parâmetros genéticos, e indicar a espécie mais produtiva para a condução de um programa de melhoramento genético para a região do estudo.

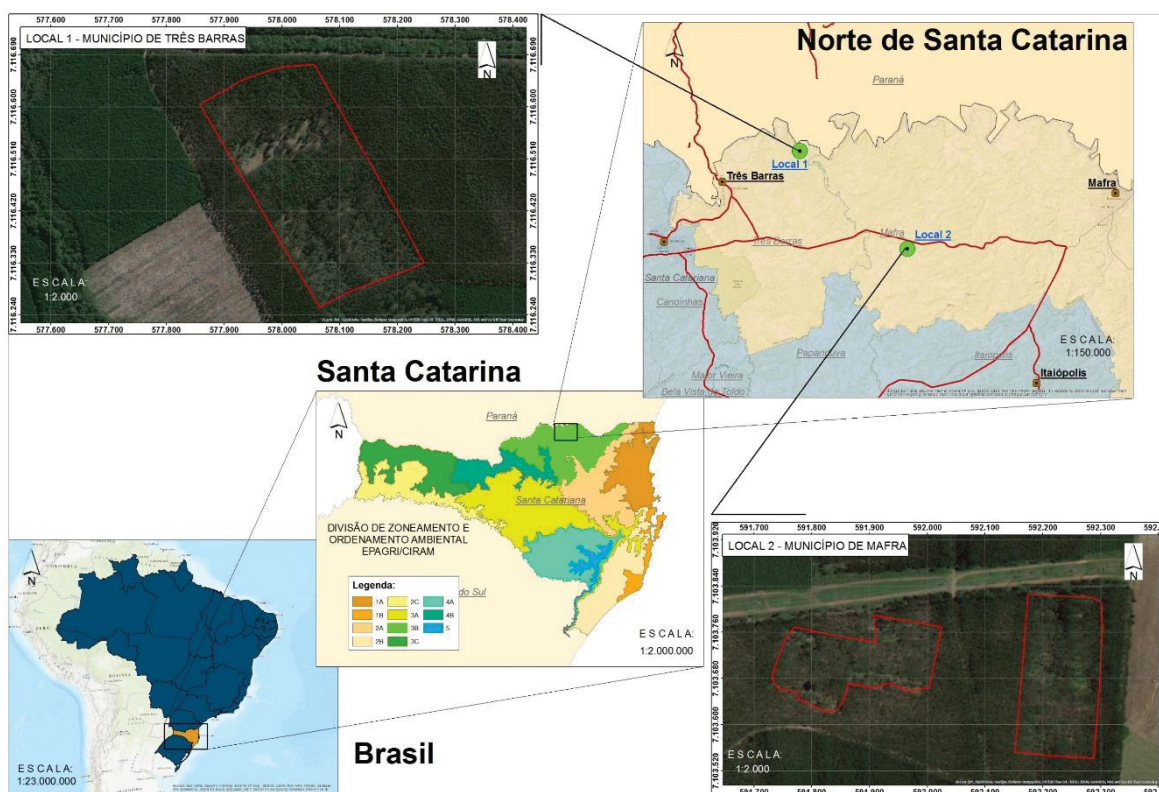
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 LOCAL DE ESTUDOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

#### 2.1.1 Experimentos de introdução de espécies

Os experimentos de introdução de espécies foram estabelecidos em dezembro de 1999, nas coordenadas geográficas 26° 10' S e 50° 04' W no município de Mafra e 26° 04' S e 50° 13' W no município de Três Barras, ambos no Planalto Norte, estado de Santa Catarina (Figura 2).

Figura 1 – Área de realização dos experimentos de desempenho e produtividade de eucaliptos nos municípios de Mafra e Três Barras, estado de Santa Catarina, Brasil.



Fonte: O Autor (2018).

Nestes locais o clima, segundo KÖPPEN modificado por Braga e Ghellere (1999), é mesotérmico brando, superúmido sem seca, temperado tipo 3B, com temperatura média do mês mais frio (junho/julho) entre 11,5 e 13 °C, registrando a ocorrência de cinco a 14 geadas anuais (PANDOLFO et al., 2002). Em Mafra a 800 m de altitude, o solo foi classificado como Cambissolo Álico TbA Moderado, e em Três

Barras a 795 m, o solo foi classificado como Latossolo Bruno/Vermelho Escuro Álico A Húmico.

Foram avaliados dois experimentos de introdução de espécies de *Eucalyptus* (Tabela 1) provenientes de populações naturais da Austrália. Os lotes de sementes das nove espécies foram compostos por famílias de polinização aberta, totalizando 129 famílias.

Tabela 1 – Espécies, número de progênies e procedências de *Eucalyptus* utilizadas nas avaliações de desempenho e produtividade, nos municípios de Mafra e Três Barras, estado de Santa Catarina, Brasil.

Espécie de eucalipto	Nº de Progênies	Procedências/Origem das Sementes
<i>E. amplifolia</i>	05	Austrália
<i>E. badjensis</i>	20	Austrália
<i>E. benthamii</i>	20	Kedumba Valley/Austrália
<i>E. dorrigoensis</i>	14	Austrália
<i>E. macarthurii</i>	28	Austrália
<i>E. nobilis</i>	10	Austrália
<i>E. saligna</i>	12	Gibraltar e Kangaroo River /Austrália
<i>E. teriticornis</i>	10	Austrália
<i>E. viminalis</i>	10	Austrália

Fonte: O Autor (2018).

Os experimentos foram delineados em blocos ao acaso, em quatro repetições, onde as nove espécies foram dispostas em parcelas quadradas de 16 plantas em espaçamento de 2,0 m x 3,0 m e bordadura dupla no entorno.

#### 2.1.1.1 Descrição das espécies de eucalipto utilizadas no estudo

*Eucalyptus amplifolia* Naudin - tem distribuição e ocorrência dominante, principalmente nos estados de Nova Gales do Sul e Queensland, na Austrália (Figura 3), em solos argilosos profundos, geralmente em locais baixos ou ao longo de cursos de água (AUSTRALIAN GOVERNMENT, 2018).

*Eucalyptus badjensis* Beuzev & Welch é uma espécie resistente a geada, que ocorre em regiões de altitude entre 800 a 1200m e latitude 36° S, ao Sudoeste do estado de Nova Gales do Sul, na Austrália. Na região de distribuição natural da espécie, o clima é frio e subúmido, com temperatura máxima média entre 22 e 25 °C e média mínima

do mês mais frio entre  $-4$  a  $0$  °C (HARRAND; MARCO, 2012). Pode chegar a mais de 100 geadas por ano, podendo nevar durante o inverno. Com distribuição relativamente uniforme de chuvas, a precipitação média anual é cerca de 800 a 1.200 mm. As árvores podem crescer até 45 m de altura nos melhores sítios. Ainda, de acordo com Higa et al. (2002), a espécie apresenta alto potencial para plantios no Sul do Brasil, com alta taxa de crescimento e alta resistência a geada (Figura 3).

*Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage - é uma espécie de ocorrência natural bastante restrita (Figura 3), cresce ao Sudoeste da cidade de Sydney, Nova Gales do Sul, e em planícies ao longo do rio Nepean e seus afluentes, em altitudes que variam de 30 a 155 m. O clima é quente e úmido com a média anual de chuvas de 720 a 890 mm e o mês mais seco tem aproximadamente 80 mm de chuva. A espécie apresenta boa adaptabilidade a diversos sítios e ambientes, com temperaturas entre  $13$  a  $17$  °C, no inverno oscilando entre  $1$  e  $3$  °C, com incidência de três a 10 geadas anuais (HIGA; PEREIRA, 2003; HARRAND; MARCO, 2012).

*Eucalyptus dorrigoensis* (Blakely) L.A.S. Johnson & K.D. Hill - possui uma distribuição muito restrita, ocorrendo em várias pequenas áreas a Noroeste do estado de Nova Gales do Sul (Figura 3), latitude de  $30^{\circ} 16''$  S e longitude  $152^{\circ} 37''$  E, com altitude média de 680 m. No mês mais quente a temperatura máxima média é de  $27$  °C e no mês mais frio a temperatura mínima média é de  $0$  °C, com geadas frequentes, em média 62 geadas por ano. No verão a precipitação mínima chega a 1.378 mm embora a precipitação média anual seja superior, chegando a 2.000 mm em algumas partes da distribuição geográfica (HARRAND; MARCO, 2012).

*Eucalyptus macarthurii* H. Deane & Maiden - tem sua ocorrência natural restrita ao Sudeste de Nova Gales do Sul (Figura 3), entre  $33$  e  $35$  °S, a uma altitude de 500 a 1.200 m. Nesta região o clima é temperado subúmido a úmido, com temperatura média máximas do mês mais quente entre  $23$  e  $25$  °C, e média mínima no mês mais frio, entre  $-1$  e  $2$  °C, ocorrendo de 30 a mais de 100 geadas por ano. Anualmente, a precipitação média varia de 800 a 1.100 mm, com raros meses com menos de 40 mm de chuva. Amplamente cultivado na África do Sul e Nova Zelândia, é classificado entre as espécies mais resistentes ao frio, resistindo a até  $-10$  °C e a mais de 80 eventos de geada ao ano. Adequado para quebra-ventos, sendo suas folhas utilizados na produção de óleos essenciais para perfumaria (AUSTRALIAN GOVERNMENT, 2018).

*Eucalyptus nobilis* L. A. S. Johnson & K. D. Hill - presente em relevos altos ou floretas úmidas com solos argilosos férteis, ocorre principalmente nos estados de Nova Gales

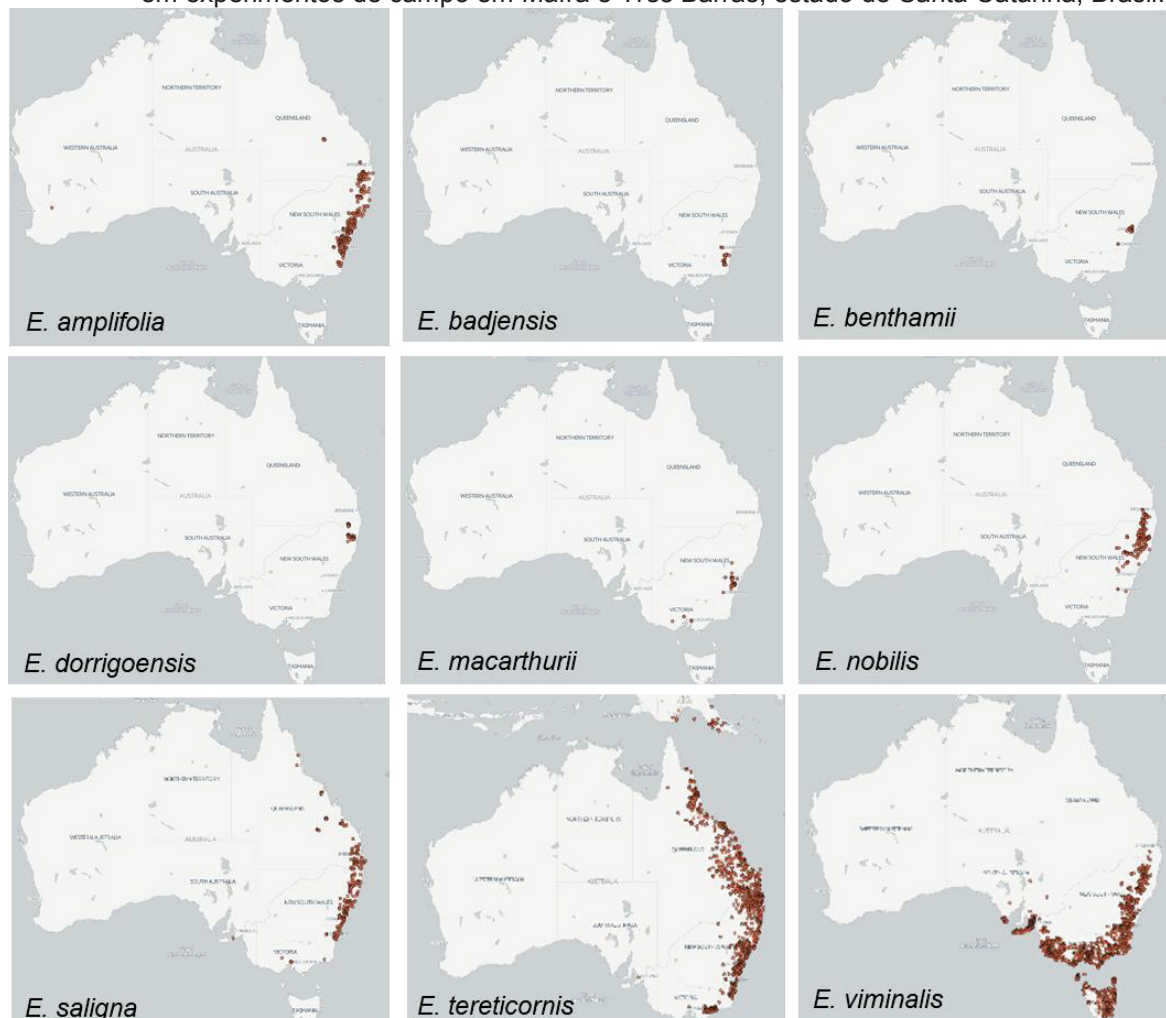
do Sul e Queensland (Figura 3). Provavelmente a árvore mais alta em crescimento em Nova Gales do Sul, com 50 a 70 m de altura. Cresce em altitudes acima de 3.000m, exposta a neve e geadas pesadas. É praticamente desconhecido o seu cultivo (AUSTRALIAN GOVERNMENT, 2018).

*Eucalyptus saligna* Smith - ocorre principalmente na costa Sul de Nova Gales do Sul até Maryborough, no Sudeste de Queensland, até 120 km da costa do mar (Figura 3). A sua distribuição varia entre 21 a 36 °S, em clima temperado ao Sul e subtropical ao Norte. A temperatura média máxima do mês mais quente varia de 24 a 33 °C e a média das mínimas do mês mais frio de -2 a 8 °C. As geadas, ausentes nas altitudes próximas ao nível do mar, podem ocorrer em número superior a 60 por ano, nos planaltos ao Norte de Nova Gales do Sul. Ao Sul, a precipitação média anual varia de 900 a 1.800 mm, com distribuição uniforme durante o ano, e ao norte é concentrada no verão (HARRAND; MARCÓ, 2012).

*Eucalyptus tereticornis* Smith - encontrada em grande parte do Leste da Austrália, desde a costa Sul, parte de Nova Gales do Sul até o Norte de Queensland (Figura 3). As temperaturas variam entre 23 a 35 °C até mais frias de 1 a 17 °C, com áreas livres de geada até regiões com mais de 20 geadas por ano. A precipitação média anual é de 500 a 1.500 mm, com chuvas no verão ou no inverno, e períodos secos de até sete meses. (HARRAND; MARCÓ, 2012).

*Eucalyptus viminalis* Labill - encontra-se amplamente distribuído no sudeste australiano, abrangendo uma área com grandes variações de longitude de 29 a 43°S, desde o Sul da Austrália, estendendo-se por Victoria até Nova Gales do Sul (Figura 3), sendo a subespécie *E. viminalis viminalis* encontrada também na Tasmânia. A altitude varia desde o nível do mar até 150 a 1.300 m. O clima da faixa de ocorrência natural da espécie varia amplamente, com poucas geadas na região costeira até 60 por ano nas regiões de maiores altitudes, nos vales e montanhas, podendo nevar nestas últimas na maioria dos invernos. O índice pluviométrico oscila de 400 a 1.700 mm anuais, concentrado no verão, ao Norte. É uma espécie potencial para o Sul do Brasil, tendo em vista seu rápido crescimento, resistência a geada e ao excesso de umidade, qualidade da madeira para celulose e forma retilínea do fuste (FONSECA et al., 2010).

Figura 2 - Distribuição da ocorrência natural de espécies do gênero *Eucalyptus* na Austrália, testadas em experimentos de campo em Mafra e Três Barras, estado de Santa Catarina, Brasil.



Fonte: Atlas of Living Australia (2018).

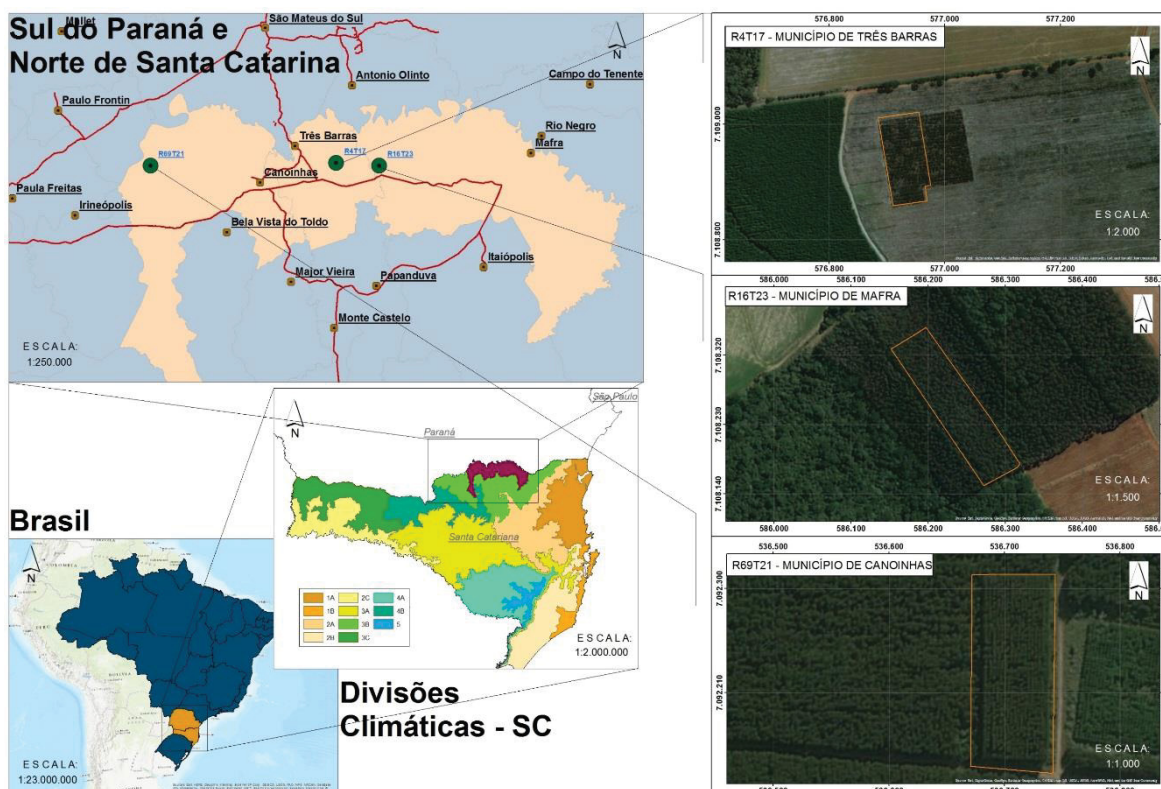
### 2.1.2 Experimentos clonais de *Eucalyptus benthamii*

O material genético, composto por 20 clones, representando 13 famílias de *E. benthamii* (65% famílias estabelecidas no experimento de introdução de espécies), foi avaliado em experimentos clonais, delineados em blocos ao acaso, com três repetições dispostas em parcelas quadradas de 25 plantas em espaçamento de 2,0 m x 3,0 m e bordadura dupla no entorno dos experimentos.

Os experimentos clonais foram estabelecidos no Planalto Norte do estado de Santa Catarina (Figura 4), em novembro de 2009 nos municípios de Canoinhas a 26° 08'N e 50° 13'E, a 790 m de altitude e solo classificado como Alissolo crômico e Três Barras, a 26° 08' N e 50° 13' E, a 820 m de altitude e solo classificado como Alissolo

crômico; e em janeiro de 2012 em Mafra, a 26° 08' N e 50° 08' E, a 800 m de altitude e solo classificado como Argissolo vermelho.

Figura 3 – Localização dos experimentos clonais de *Eucalyptus benthamii* nos municípios de Canoinhas, Mafra e Três Barras, estado de Santa Catarina, Brasil.



Fonte: O Autor (2018).

Nestes locais, o clima, segundo Köppen modificado por Braga e Ghellere (1999), é mesotérmico brando, superúmido sem seca, temperado tipo 3, com temperatura média do mês mais frio (junho/julho) entre 11,5 e 13 °C, registrando a ocorrência de cinco a 14 geadas anuais (PANDOLFO et al., 2002).

## 2.2 AVALIAÇÕES DE DANOS POR GEADA E SOBREVIVÊNCIA

### 2.2.1 Experimentos de introdução de espécies

As árvores foram avaliadas aos nove meses, em setembro de 2000, quanto a danos ocasionados por geada, no início da estação da primavera, e sobrevivência após doze meses de idade. Aos 60 meses de idade, em dezembro de 2004, novamente foram avaliadas a sobrevivência, e também mensuradas as variáveis

altura total (m) e o diâmetro à altura do peito (DAP, 1,30 cm do solo). Para esta avaliação, optou-se pela utilização da variável DAP, em virtude da sua fácil mensuração e pelo volume ser estimado diretamente dessa variável.

Os danos por geada foram avaliados adaptando-se o sistema de notas proposto por Eloy et al. (2013) e Higa et al (2000). Nesse sistema, atribuiu-se uma nota de 0 a 5 para cada planta (Tabela 2) baseando-se na avaliação visual dos danos foliares da planta. A sobrevivência e os danos por geada foram obtidos por médias simples.

Tabela 2 – Escala de notas adotadas para avaliação dos danos causados por geada nas nove espécies de *Eucalyptus* nos municípios de Mafra e Três Barras, estado de Santa Catarina, Brasil.

Nota	Dano (%)
0	morta
1	100
2	75
3	50
4	25
5	0 (sem dano)

Fonte: Adaptada de Eloy et al. (2013) e Higa et al (2000).

### 2.2.2 Experimentos clonais de *Eucalyptus benthamii*

Foram avaliados os efeitos de danos causado por geada no início da primavera, aos sete meses de idade. As avaliações medindo-se a altura total (m) e DAP (cm) foram realizadas nas idades em que se encontravam cada experimento durante este estudo. Na localidade Canoinhas, aos 36 e 67 meses, em Mafra aos 36 e 60 meses, e em Três Barras a mensuração foi aos 36 meses de idade. Optou-se pela utilização do variável volume para as análises, utilizando-se a Equação 1, adaptada de Spurr (1952).

$$Vol = 0,00003 * Dap^2 * H \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: *Vol* = volume individual (m<sup>3</sup>), *Dap* = diâmetro a altura do peito (1,30 m) e *H* = altura individual (m).

Foram estimadas correlações entre as idades de mensuração somente para os estudos de Canoinhas e Mafra, pois o estudo de Três Barras possuía apenas medição aos 36 meses de idade. Em Canoinhas a correlação foi estimada para a variável DAP entre 36 e 67 meses, em Mafra considerando altura entre doze e 60 meses, utilizando o pacote estatístico *Performance Analytics* (PETERSON et al., 2018).

### 2.3 ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS

As estimativas dos parâmetros genéticos para a variável DAP, foram obtidas utilizando o pacote estatístico *lme4* (BATES et al., 2015), por meio do ambiente estatístico R (R Core Team, 2017), para a avaliação individual das espécies e progênies por local foi utilizado a Equação 2.

$$y = Xr + Z_1g + Z_2rg + e \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:  $\mathbf{y}$  = vetor de dados;  $\mathbf{r}$  = vetor de efeitos fixos associados ao bloco;  $\mathbf{g}$  = vetor de efeitos aleatórios associados às procedências;  $\mathbf{rg}$  = vetor de efeitos aleatórios associados à interação bloco x procedências;  $\mathbf{e}$  = vetor de erros aleatórios,  $\mathbf{X}$ ,  $\mathbf{Z}$  = matrizes de incidência para os referidos efeitos.

A análise conjunta dos locais de estudo, para cada espécie e também para as progênies, foi realizada com base no modelo misto sendo semelhante ao primeiro modelo, com a inclusão do vetor aleatório  $\mathbf{i}$ , que se refere aos efeitos dos ambientes (Equação 3).

$$y = Xr + Z_1g + Z_2rgi + e \quad \text{Equação (3)}$$

Por meio dos componentes de variâncias obtidas com o *software* estatístico R, pacote *Imm minque* (WU, 2014), foi possível estimar os parâmetros genéticos, sendo a estimativa da variância genética aditiva ( $\hat{\sigma}_A^2$ ) considerando-se que apenas meios-irmãos ( $\hat{\sigma}_A^2 = 4\hat{\sigma}_p^2$ ) dentre as espécies, presentes nas parcelas. Os coeficientes de herdabilidades foram estimadas ao nível individual no sentido restrito ( $\hat{h}_{ai}^2$ ),

herdabilidade média entre progênies ( $\hat{h}_m^2$ ) e herdabilidade dentro de progênies ( $\hat{h}_d^2$ ) (Equações 4 a 6).

$$\hat{h}_{ai}^2 = \frac{4\hat{\sigma}_p^2}{\hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_d^2} \quad \text{Equação (4)}$$

$$\hat{h}_m^2 = \frac{\hat{\sigma}_p^2}{\hat{\sigma}_p^2 + \frac{\hat{\sigma}_e^2}{b} + \frac{\hat{\sigma}_d^2}{nb}} \quad \text{Equação (5)}$$

$$\hat{h}_d^2 = \frac{3\hat{\sigma}_p^2}{\hat{\sigma}_d^2} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde: ( $\hat{\sigma}_g^2$ ) = variância genotípica; ( $\hat{\sigma}_e^2$ ) = variância do erro entre progênies; ( $\hat{\sigma}_d^2$ ) = variância do erro dentro progênies;  $b$  = número de repetições;  $n$  = plantas/parcela.

Para a avaliação dos clones selecionados, procedeu-se de maneira similar ao utilizado para a seleção das espécies com a diferença em que o coeficiente de herdabilidade estimado foi a no sentido amplo ( $\hat{h}_g^2$ ), (Equação 7), a qual deve ser considerada quando se trabalha com clones.

$$\hat{h}_g^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_p^2 + \sigma_e^2} \quad \text{Equação (7)}$$

Para a estimativa do ( $C\hat{V}_g$ ) coeficiente de variação genético, a equação utilizada foi a seguinte (Equação 8):

$$C\hat{V}_g(\%) = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_g^2}}{\bar{x}} \cdot 100 \quad \text{Equação (8)}$$

A Equação 9 determinou o coeficiente de variação ambiental ( $C\hat{V}_e$ ).

$$C\hat{V}_e(\%) = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_e^2}}{\bar{x}} \cdot 100 \quad \text{Equação (9)}$$

Para amparar a seleção das melhores progênes foi estimada a acurácia na seleção das progênes ( $\hat{r}_{aa}$ ) (Equação 10).

$$\hat{r}_{aa} = \sqrt{\hat{h}_m^2} \quad \text{Equação (10)}$$

#### 2.4 PRODUTIVIDADE, ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE (MHPRVG)

A seleção de progênes e clones de *E. benthamii*, considerando produtividade, adaptabilidade e estabilidade, foi realizada com a variável volume, pelo método da média harmônica da performance relativa dos valores genéticos (MHPRVG) (modelo 51), empregando-se o programa SELEGEN – REML/BLUP. Para esta análise foi utilizado o modelo estatístico representado pela Equação 11 (RESENDE, 2007).

$$y = Xr + Zg + Wp + Ti + e \quad \text{Equação (11)}$$

Em que:  $y$ ,  $r$ ,  $g$ ,  $i$  e  $e$  são os vetores de dados referentes aos efeitos de repetição (fixos), genotípico (aleatórios), parcelas (aleatórios), da interação G x E (aleatórios) e do resíduo (aleatório), respectivamente,  $X$ ,  $Z$ ,  $W$  e  $T$  representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Os valores de MHPRVG foram comparados com os BLUPS da variável volume (VOL) aos 60 meses de idade, obtidos por meio do pacote estatístico *Imm minque* (WU, 2014).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 TESTE DE INTRODUÇÃO DE ESPÉCIES

##### 3.1.1. Sobrevivência e dano por geada

Aos doze meses após a implantação, evidenciou-se que o número de mudas mortas por causa da geada, ao final da estação fria, foi baixo, porém a porcentagem de plantas com danos por geada, próximo de 100%, foi muito elevada para a maioria das espécies nos dois locais (Tabela 3).

Tabela 3 – Danos decorrentes de geada nas espécies de *Eucalyptus* testadas, após doze meses de implantação, em Mafra e Três Barras, estado de Santa Catarina, Brasil.

Espécie de eucalipto	Incidência de dano por geada (%)					
	Mafra			Três Barras		
	Com dano	Sem dano	Mudas mortas	Com dano	Sem dano	Mudas mortas
<i>E. amplifolia</i>	98,44	0,31	1,25	95,00	5,00	0,00
<i>E. badjensis</i>	90,08	0,08	9,92	97,81	0,16	2,03
<i>E. benthamii</i>	76,88	18,36	4,77	88,98	8,52	2,50
<i>E. dorrigoensis</i>	92,75	3,13	4,13	91,29	8,37	0,33
<i>E. macarthurii</i>	66,96	26,04	7,00	11,66	82,92	5,41
<i>E. nobilis</i>	97,19	0,00	2,81	95,31	1,72	2,97
<i>E. saligna</i>	97,83	0,00	2,17	99,87	0,00	0,13
<i>E. tereticornis</i>	96,88	0,00	3,13	99,06	0,78	0,16
<i>E. viminalis</i>	66,19	23,56	10,26	58,91	29,22	11,88
<b>Médias</b>	83,00	11,09	5,92	73,96	22,95	3,09

Fonte: O Autor (2018).

Todas as espécies apresentaram incidência de danos por geada que variaram entre 11,66% a 99,87%. A espécie que se destacou pela maior tolerância a geada nos dois locais foi *E. macarthurii* com 26% das plantas sem danos em Mafra e 82,92% em Três Barras, seguidas por *E. viminalis* e *E. benthamii* (Tabela 3). A espécie *E. macarthurii* é classificada entre as espécies mais tolerantes ao frio, resistindo a até -10 °C (FORESTRY-GIT, 2014).

A sobrevivência em ambos os locais foi alta para todas as espécies testadas, variando entre 88 e 100%, indicando que os efeitos da geada não afetaram fortemente a sobrevivência das espécies após doze meses (Tabela 4).

Tabela 4 – Número inicial de mudas e sobrevivência (%) das espécies de *Eucalyptus* testadas, após doze meses e 60 meses de implantação, de acordo com o local de plantio.

Sobrevivência (%)						
Localidade		Mafra			Três Barras	
Espécie de eucalipto	N	Plantas vivas aos 12 meses	Plantas vivas aos 60 meses	N	Plantas vivas aos 12 meses	Plantas vivas aos 60 meses
<i>E. amplifolia</i>	320	98,75	66,25	320	100,00	77,81
<i>E. badjensis</i>	1280	90,08	17,11	1280	97,97	8,52
<i>E. benthamii</i>	1280	95,23	76,64	1280	97,50	77,42
<i>E. dorrigoensis</i>	896	95,87	80,69	896	99,67	89,06
<i>E. macarthurii</i>	1728	93,00	62,33	1792	94,59	51,95
<i>E. nobilis</i>	640	97,19	57,34	640	97,03	59,69
<i>E. saligna</i>	368	97,83	82,34	752	99,87	76,06
<i>E. tereticornis</i>	640	96,88	39,06	640	99,84	74,69
<i>E. viminalis</i>	624	89,74	42,63	640	88,13	28,59
<b>Médias</b>		98,75	58,26		97,18	60,43

Fonte: O Autor (2018).

Legenda: N = número inicial de mudas plantadas.

A sobrevivência média das espécies aos 60 meses de idade foi de 58% e 60% para as localidades de Mafra e Três Barras, respectivamente. A espécie que apresentou maior destaque, com as maiores taxas de sobrevivência em ambas as localidades foi *E. dorrigoensis* (80,69 e 89,06%, respectivamente em Mafra e Três Barras), seguida por *E. saligna* e *E. benthamii* e as menores taxas foram observadas para *E. badjensis* e *E. tereticornis*, indicando que estas espécies apresentaram baixa adaptação ao ambiente. A avaliação da adaptabilidade das espécies ao clima do local, pode ser medida pela sobrevivência, porém nem sempre se pode interpretar os dados sobre esta ótica, pois a mortalidade das plantas pode ser decorrente de outros fatores como ataque de doenças ou pragas e falhas no plantio das mudas (ARAÚJO, 1993).

Estudando espécies de *Eucalyptus*, estabelecidos na região Norte do estado de Santa Catarina, Frigotto (2016) obteve resultados similares, em que as maiores taxas de sobrevivência após sofrerem danos por geadas foram das espécies *E. dorrigoensis* (59%) e *E. benthamii* (56%). Embora *E. badjensis* esteja exposto ao frio intenso na região de origem, neste estudo apresentou alto índice de plantas

danificadas pelo frio nos primeiros doze meses (90,08 e 97,97%) e baixa sobrevivência aos 60 meses. As melhores taxas de sobrevivência encontradas para *E. dorrigoensis* e *E. benthamii*, podem ser justificadas pela adaptação da espécie a regiões de clima frio com presença de geadas. Ainda de acordo com Frigotto (2016), *E. benthamii* suporta temperatura mínima absoluta de -6 °C, temperatura comumente atingida em vários municípios dos estados da região Sul do país.

Foi observado que a sobrevivência não se manteve ao longo do tempo, indicando pouca adaptação das espécies, seja pelos efeitos das geadas frequentes e temperaturas negativas ou alguma doença ou ataque de pragas não dentro dos 60 meses de estabelecimento deste estudo.

As espécies com maiores taxas de sobrevivência não foram as mais tolerantes aos danos causados por geada, porém apresentaram resiliência aos danos sofridos. Um exemplo é *E. dorrigoensis*, que apresentou elevado percentual de danos por geada, e percentual elevado de sobrevivência aos 60 meses (Tabelas 3 e 4).

Realizando o ordenamento das espécies com maior taxa sobrevivência e tolerância a geada, três espécies se destacaram: *E. dorrigoensis*, *E. saligna* e *E. benthamii*, o que corrobora com outras pesquisas (HIGA, 1999; HIGA; PEREIRA, 2003; ARNOLD et al., 2015; FRIGOTTO, 2016). *E. dorrigoensis* em testes estabelecidos na América do Sul demonstrou tolerância ao frio e grande potencial para crescimento (FRIGOTTO, 2016), devido a semelhança botânica com *E. benthamii* a qual foi considerada como uma subespécie desta (HIGA, 1999).

Estudos comprovam a aptidão da espécie *E. benthamii* como sendo tolerante a geada, com rápido crescimento e boa forma de fuste, em regiões de clima frio e com ocorrências de geadas (HIGA; PEREIRA, 2003). Segundo Benin (2014), a espécie suporta uma temperatura mínima absoluta de até -6 °C sem sofrer danos irreversíveis. Essas características fizeram desta espécie uma excelente opção para reflorestamentos em regiões com incidência de fortes geadas, como no Sul do Brasil (GRAÇA et al., 1999).

Considerando os fatores tolerância a geada e sobrevivência avaliados neste estudo, recomenda-se *E. benthamii* para plantios em regiões mais frias, permitindo ampliar a fronteira florestal para o gênero, no Sul do Brasil. No sul da África e em partes da América do Sul, destaca-se o interesse pela espécie para a produção de celulose e papel (FAO et al., 2004; BALDIN et al., 2017).

Para a escolha de material genético mais adequado além de avaliar sua adaptabilidade e sobrevivência na região de estudo, deve-se priorizar outras características desejáveis como rápido crescimento, boa forma de fuste, alta produtividade volumétrica, tolerância a pragas e doenças e a fatores abióticos como frio, seca e vento.

As espécies *E. badjensis* e *E. tereticornis* apresentaram as piores taxas de sobrevivência e pouca tolerância ao frio, caracterizando-se como não recomendadas para as regiões do estudo. Estas duas espécies foram desconsideradas nas análises para o caractere DAP, em função dos índices de sobrevivência reduzidos.

### 3.1.2 Estimativa de parâmetros genéticos para cada local

Em Três Barras, não foi observada grande heterogeneidade para DAP em termos de  $CV_e\%$ , para as diferentes espécies nas condições ambientais de geada dos dois locais. Estes coeficientes de variação experimental ( $CV_e\%$ ) são considerados altos (Tabela 5), segundo a classificação de Garcia (1989). Valores similares de coeficientes de variação experimental podem ser encontrados na literatura para introdução de espécies de *Eucalyptus* (ALVES et al., 2003; FREITAS et al., 2005; MIRANDA, 2012; MORAES et al., 2015).

A acurácia seletiva ( $\hat{r}_{aa}$ ) representa a relação entre o valor genético verdadeiro e o estimado, ou seja, quanto maior a  $\hat{r}_{aa}$ , maior a precisão da seleção e conseqüentemente, maior o ganho genético (RESENDE et al., 1995). A acurácia apresentou valores considerados baixos até altos (Tabela 5), devido as altas taxas de mortalidade de algumas espécies. Acurácias entre 0,25 e 0,75 são classificadas como ideais (RESENDE; ROSA-PEREZ, 1999), indicando alta precisão na variação genética verdadeira a partir da variação fenotípica (MORAES et al., 2007).

Tabela 5 – Estimativas de parâmetros genéticos para as espécies de *Eucalyptus* aos 60 meses de idade, em Mafra e Três Barras no estado de Santa Catarina, Brasil.

Três Barras						
Espécie de eucalipto	$C\hat{V}_e$ %	$\hat{h}_{ai}^2$	$\hat{h}_m^2$	$\hat{h}_d^2$	$\hat{r}_{aa}$	Média DAP (cm)
<i>E. amplifolia</i>	34,21	0,13	0,54	0,11	0,74	8,73
<i>E. benthamii</i>	32,22	0,11	0,57	0,09	0,75	14,66
<i>E. dorigoriensis</i>	31,21	0,14	0,68	0,11	0,82	12,43
<i>E. macarthuri</i>	39,75	0,15	0,76	0,12	0,87	13,97
<i>E. nobilis</i>	34,56	0,15	0,76	0,12	0,87	14,31
<i>E. saligna</i>	23,74	0,43	0,88	0,37	0,94	13,66
<i>E. viminalis</i>	41,97	0,46	0,62	0,55	0,79	11,21
Mafra						
<i>E. amplifolia</i>	37,45	0,08	0,32	0,07	0,56	6,49
<i>E. benthamii</i>	33,84	0,13	0,50	0,11	0,71	14,19
<i>E. dorigoriensis</i>	31,00	0,20	0,78	0,16	0,88	13,13
<i>E. macarthuri</i>	37,51	0,18	0,78	0,14	0,88	13
<i>E. nobilis</i>	40,68	0,12	0,65	0,09	0,81	11,54
<i>E. saligna</i>	22,51	0,28	0,77	0,23	0,88	13,7
<i>E. viminalis</i>	43,98	0,28	0,86	0,22	0,93	10,14

Fonte: O Autor (2018).

Legenda: Coeficiente de variação experimental ( $C\hat{V}_e$  %), herdabilidade aditiva individual ( $\hat{h}_{ai}^2$ ), herdabilidade média entre progênies ( $\hat{h}_m^2$ ) e herdabilidade dentro de progênies ( $\hat{h}_d^2$ ), acurácia seletiva ( $\hat{r}_{aa}$ ) e diâmetro médio (DAP).

Segundo Resende et al. (1995), valores de herdabilidade entre 0,01 a 0,15 figuram como baixas; entre 0,15 a 0,50 como medianas; e acima de 0,50 altas. Observou-se valores baixos a medianos para a herdabilidade, pois para a herdabilidade individual no sentido restrito ( $\hat{h}_{ai}^2$ ), os valores variaram entre 0,11 a 0,46 (Três Barras) e 0,08 a 0,28 (Mafra) (Tabela 5).

A herdabilidade média de progênies ( $\hat{h}_m^2$ ) apresentou grande amplitude de variação entre as espécies, 0,54 a 0,88 para Três Barras e 0,32 a 0,86 para Mafra, entretanto, em geral, a  $\hat{h}_m^2$  foi considerada alta para a variável DAP. Isso permite inferir que há boa chance de sucesso na seleção do programa de melhoramento, presumindo que grande parte da variação fenotípica total e média entre progênies é de origem genética e, portanto, o controle genético do caractere é alto ao nível de médias de progênies (MIRANDA, 2012).

As espécies *E. dorrigoensis*, *E. saligna* e *E. benthamii* se destacaram pelas altas taxas de sobrevivência e tolerância a geadas, com altos coeficientes de herdabilidade, indicando que estas espécies podem incrementar ganhos genéticos dentro de programas de melhoramento genético. Dentre as três, a *E. saligna* apresentou o maior coeficiente de  $\hat{h}_{ai}^2$  com 0,43 e 0,28 na localidade de Três Barras (SC) e na localidade de Mafra (SC), respectivamente, e *E. benthamii* com  $\hat{h}_{ai}^2$  de 0,11 e 0,13 para Três Barras e Mafra, respectivamente. Mori et al. (1986) encontraram, para *E. saligna* em diferentes locais,  $\hat{h}_{ai}^2$  entre 0,75 a 0,71. Silva (2008), estudando progênies de *E. benthamii* no estado de Santa Catarina em diferentes locais encontrou  $\hat{h}_{ai}^2$  medianas a baixas, diferindo dos resultados deste estudo.

### 3.1.3 Estimativa de parâmetros genéticos para interação entre genótipo *versus* ambiente

Segundo a classificação de Resende et al. (1995), os valores de herdabilidade individual no sentido restrito ( $\hat{h}_{ai}^2$ ), considerando a interação entre as duas localidades, foram de baixos a medianos variando entre 0,023 para *E. viminalis* e 0,482 para *E. nobilis* (Tabela 6).

Os coeficientes de herdabilidade média  $\hat{h}_m^2$  apresentaram grande amplitude variando entre 0,143 a 0,910 entre as espécies, sendo estes valores normalmente encontrados para espécies de *Eucalyptus* (BERTI, 2010; MARTINS et al., 2001; MIRANDA, 2012; SILVA, 2008; SATO et al., 2007).

Dentre as espécies com maiores taxas de sobrevivência e tolerância a geadas, foi observado que a espécie com maior média de DAP foi *E. benthamii* com 14,46 cm, seguida por *E. saligna* com 13,63 cm e *E. dorigoriensis* com 12,78 cm (Tabela 6). *E. benthamii* com a maior média de DAP apresentou  $\hat{h}_{ai}^2$  de 0,15 e  $\hat{h}_m^2$  de 0,58. Segundo a classificação de Resende et al. (1995), essas magnitudes de herdabilidade, demonstram um bom indicativo para o progresso genético em um programa de melhoramento.

Tabela 6 – Parâmetros genéticos, para as espécies de *Eucalyptus*, aos 60 meses de idade, combinando os dados de Mafra e Três Barras, no estado de Santa Catarina, Brasil.

Espécie de eucalipto	$\hat{h}_{ai}^2$	$\hat{h}_m^2$	$\hat{h}_d^2$	$\hat{r}_{aa}$	DAP médio (cm)
<i>E. amplifolia</i>	0,11	0,41	0,12	0,64	7,96
<i>E. benthamii</i>	0,15	0,58	0,12	0,76	14,46
<i>E. dorrigoriensis</i>	0,18	0,75	0,15	0,87	12,78
<i>E. macarthurii</i>	0,06	0,52	0,05	0,72	13,43
<i>E. nobilis</i>	0,48	0,91	0,43	0,95	12,98
<i>E. saligna</i>	0,35	0,81	0,31	0,90	13,63
<i>E. viminalis</i>	0,02	0,14	0,02	0,38	10,54

Fonte: O Autor (2018).

Legenda: Herdabilidade aditiva individual ( $\hat{h}_{ai}^2$ ), herdabilidade média entre progênes ( $\hat{h}_m^2$ ), herdabilidade dentro de progênes ( $\hat{h}_d^2$ ), acurácia seletiva ( $\hat{r}_{aa}$ ) e diâmetro médio (DAP).

Com ênfase no interesse econômico, optou-se pela escolha da espécie que combinasse sobrevivência, tolerância ao frio, elevadas herdabilidades e melhor DAP para a condução de um programa de melhoramento. De acordo com estas premissas, *E. benthamii* foi indicado para a continuidade de uma estratégia de melhoramento.

#### 3.1.4 Produtividade, adaptabilidade e estabilidade (MHPRVG)

A avaliação de produtividade, adaptabilidade e estabilidade entre Mafra e Três Barras para a variável volume de *E. benthamii*, pelo método MHPRVG, indicou correlação genética das progênes igual a 0,97. Valores de correlação genética entre locais, compreendidos entre 0,70 e 0,90, de acordo com Resende (2002) indicam que uma população de melhoramento única pode ser adotada, com seleção de materiais estáveis (seleção pela média de locais).

Como a correlação entre os locais foi alta, pode-se inferir que, se respeitando o ordenamento (Tabela 7), isso indica o padrão de interação dos experimentos contemplando os três atributos: produção, estabilidade e adaptabilidade, algumas progênes e/ou indivíduos poderiam ser considerados para compor uma população base para a continuidade de um programa de melhoramento.

Tabela 7 – Ordenamento das progênies de *Eucalyptus benthamii* do experimento de introdução de espécies de *Eucalyptus* resultantes da análise de estabilidade e adaptabilidade (MHPRVG e MHPRVG\*MG) comparativamente ao BLUP de volume, com base nos dados de Mafra e Três Barras, no estado de Santa Catarina, Brasil.

Ordem	Progênie	MHPRVG	MHPRVG*MG	Ordem	BLUP (VOL)
1	JSL846	1,1462	0,1551	4	0,478434735
2	JSL844	1,1452	0,1549	5	0,472651869
3	JSL864	1,1256	0,1523	1	0,963069274
4	JSL869	1,1173	0,1511	3	0,675664009
5	JSL872	1,1076	0,1498	2	0,729045685
6	JSL829	1,0867	0,1470	10	0,079548236
7	JSL840	1,0708	0,1449	7	0,235471150
8	JSL867	1,0513	0,1422	9	0,104829033
9	JSL859	1,0235	0,1385	6	0,353201129
10	JSL866	1,0111	0,1368	13	-0,185984532
11	JSL833	1,0035	0,1358	15	-0,265375160
12	JSL835	0,9964	0,1348	16	-0,302913889
13	JSL851	0,9722	0,1315	8	0,113988917
14	JSL848	0,9696	0,1312	14	-0,262468667
15	JSL862	0,9426	0,1275	11	0,038278606
16	JSL837	0,9078	0,1228	17	-0,363595727
17	JSL863	0,8905	0,1205	12	-0,030037392
18	JSL855	0,8530	0,1154	19	-0,772884723
19	JSL871	0,8027	0,1086	18	-0,660131870
20	JSL831	0,7759	0,1050	20	-1,400790683

Fonte: O Autor (2018).

Legenda: MHPRVG: média harmônica do desempenho relativo dos valores genotípicos; MHPRVG\*MG: refere-se à MHPRVG multiplicada pela média geral em todos os ambientes.

Ganhos de seleção, na análise conjunta livre do efeito da interação G x E podem ser adicionados, de acordo com o ordenamento das onze melhores progênies para volume, que indicam ganho genético, portanto é válido recomendar estas progênies para compor um programa de melhoramento, independentemente do efeito do ambiente.

Com o conhecimento adquirido a partir do estudo de introdução de espécies e visando acelerar o processo de disponibilização de material genético produtivo, optou-se por selecionar árvores para resgate, na população de *E. benthamii* de Três Barras, que apresentou maior produtividade em DAP (Tabela 6), visto que a alta correlação para MHPRVG indica que a seleção poderia ocorrer em ambos os estudos.

Considerando o ordenamento do volume individual das árvores de *E. benthamii* aos 60 meses, em Três Barras, foi realizada uma avaliação fenotípica das árvores aos 96 meses de idade, considerando uma árvore perfeita (ausência de tortuosidade, bifurcação ou copa quebrada e sanidade). Esta avaliação identificou 55

árvores de *E. benthamii* com potencial para seleção e resgate pelo método de clonagem por estaquia, como parte da condução de um programa de melhoramento para esta espécie.

O ordenamento para o volume e outras características fenotípicas, quando comparado ao ordenamento BLUP para DAP aos 60 meses, apresentou coincidência de seleção em 85,45% dos indivíduos (Tabela 8), de 55 árvores selecionadas, 54 árvores ficaram entre os 70 melhores indivíduos indicados pelo BLUP - DAP.

O resgate de indivíduos foi realizado pela técnica de anelamento na base do tronco e resgate por estaquia, resultando em 23 árvores (41,8%) resgatadas. Os clones resgatados foram multiplicados por miniestaquia para estabelecimento de testes clonais de campo com a finalidade de avaliação de performance em produtividade. Com esta técnica foi possível multiplicar e produzir mudas de 20 clones (87%) para o estabelecimento dos testes clonais.

Tabela 8 – Comparação da seleção fenotípica de indivíduos de *Eucalyptus benthamii* aos 60 e 96 meses de idade e ordenamento BLUP para volume e DAP no estudo de introdução de espécies em Três Barras, estado de Santa Catarina, Brasil.

Progênie	Bloco	Parcela	Árvore	BLUP Volume (m <sup>3</sup> ) 60 meses	Ordenamento Fenotípico 96 meses	Ordenamento BLUP DAP 60 meses
JSL829	4	38	4	0,612	1	1
JSL867	2	100	12	0,614	2	2
JSL829	4	38	12	0,577	3	8
JSL859	2	107	3	0,571	4	3
JSL846	3	34	14	0,575	5	12
JSL866	2	104	9	0,566	6	6
JSL829	4	38	6	0,560	7	9
JSL869	2	36	14	0,558	8	4
JSL855	4	100	8	0,552	9	5
JSL872	2	106	16	0,535	10	18
JSL844	3	31	7	0,528	11	10
JSL869	3	105	15	0,525	12	7
JSL848	4	29	13	0,516	13	13
JSL840	3	29	1	0,487	14	11
JSL846	4	96	7	0,486	15	15
JSL846	3	34	13	0,489	16	24
JSL837	4	104	13	0,476	17	22
JSL840	3	29	13	0,474	18	17
JSL837	4	104	4	0,468	19	26
JSL863	2	108	15	0,470	20	14
JSL837	3	107	9	0,472	21	23
JSL872	2	106	8	0,473	22	31
JSL864	3	36	4	0,468	23	41
JSL871	4	101	3	0,450	24	20

Continua...

Progênie	Bloco	Parcela	Árvore	BLUP Volume (m <sup>3</sup> ) 60 meses	Ordenamento Fenotípico 96 meses	Ordenamento BLUP DAP 60 meses
JSL833	3	98	7	0,457	25	21
JSL863	3	30	10	0,452	26	25
JSL872	3	106	2	0,455	27	44
JSL872	3	106	1	0,443	28	46
JSL862	2	99	10	0,440	29	29
JSL867	3	101	2	0,436	30	28
JSL844	3	31	13	0,436	31	27
JSL872	4	109	7	0,435	32	64
JSL864	3	36	9	0,434	33	49
JSL851	2	98	14	0,432	34	19
JSL862	2	99	15	0,432	35	39
JSL872	2	106	2	0,426	36	55
JSL871	3	109	13	0,426	37	35
JSL872	4	109	8	0,430	38	63
JSL829	4	38	10	0,426	39	45
JSL872	3	106	10	0,431	40	58
JSL867	2	100	5	0,421	41	48
JSL866	2	104	3	0,421	42	40
JSL869	3	105	11	0,422	43	38
JSL866	1	96	10	0,413	44	16
JSL864	2	28	8	0,415	45	30
JSL859	4	108	10	0,411	46	36
JSL864	3	36	15	0,412	47	70
JSL855	4	100	12	0,399	48	37
JSL837	3	107	11	0,402	49	59
JSL862	1	28	8	0,393	50	32
JSL869	2	36	7	0,392	51	43
JSL833	4	97	5	0,393	52	42
JSL848	3	38	16	0,394	53	56
JSL846	3	34	1	0,396	54	61
JSL864	3	36	11	0,397	55	104

Fonte: O Autor (2018).

### 3.2 EXPERIMENTOS CLONAIIS DE *Eucalyptus benthamii*

O período de maior frequência de geadas ocorre de maio a setembro, quando as temperaturas caem abaixo de zero, causando danos nas plantas menos resistentes a este fenômeno. Nos primeiros doze meses de condução dos estudos clonais, durante avaliação dos efeitos da geada, não foram registrados danos nos clones.

### 3.2.1 Estimativa de parâmetros genéticos para cada local

Os coeficientes de herdabilidade no sentido amplo ( $\hat{h}_g^2$ ) obtidos nas três localidades, variaram de 0,32 em Mafra a 0,65 em Três Barras (Tabela 9) sendo considerados os valores como medianos a altos, indicando grande progresso dentro do programa de melhoramento genético.

O coeficiente de herdabilidade médio ( $\hat{h}_m^2$ ) dos clones foi elevado (Tabela 9) e enaltece a possibilidade de ganhos. Observa-se que a seleção baseada na  $\hat{h}_m^2$  dos clones apresenta um nível mais elevado de precisão experimental do que baseada em parcelas ou árvores individuais (REIS, 2014). Biometricamente, os valores de  $\hat{h}_m^2$  normalmente são maiores do que  $\hat{h}_g^2$ , desta forma, informação importante para o melhoramento, pois altos valores de herdabilidade média de clones são indicados para a seleção de materiais genéticos de interesse (TAMBARUSSI et al., 2017). Valores próximos foram encontrados por Rosado et al. (2012) em *Eucalyptus* para a variável volume.

Tabela 9 – Estimativa de parâmetros genéticos para os clones de *Eucalyptus benthamii*, para o caractere Volume (Vol) em diferentes idades, em Mafra, Três Barras e Canoinhas, no estado de Santa Catarina, Brasil.

Característica	Local / idade		
	Três Barras – 36 meses	Canoinhas – 48 meses	Mafra – 60 meses
$\hat{h}_g^2$	0,65	0,50	0,32
$\hat{h}_m^2$	0,83	0,81	0,93
$\hat{r}_{aa}$	0,91	0,90	0,96
$C\hat{V}_e$ (%)	19,64	11,17	41,34

Fonte: O Autor (2018).

Legenda: Herdabilidade no sentido amplo ( $\hat{h}_g^2$ ); Herdabilidade média ( $\hat{h}_m^2$ ); Acurácia seletiva ( $\hat{r}_{aa}$ ); Coeficiente de variação experimental ( $C\hat{V}_e$  %).

Valores de acurácia seletiva ( $\hat{r}_{aa}$ ) maiores ou iguais a 0,90 indicam precisão experimental muito alta, conforme a classificação de Resende e Duarte (2007), indicando a boa qualidade experimental e precisão na seleção. Isso representa uma boa relação entre o valor genético verdadeiro e o predito.

Os três experimentos reproduziram a tendência de  $\hat{h}_m^2$  alta, encontrada em testes clonais de espécies ou híbridos de eucalipto, demonstrando a possibilidade de uma efetiva seleção entre os clones (RESENDE, 2007). Os coeficientes de variação experimental ( $c\hat{v}_e\%$ ) encontrados indicam boa condução do experimento.

Coefficientes de correlação genotípica elevados confirmam a associação linear positiva entre os caracteres avaliados (BELTRAME et al., 2012). Ficou evidente a forte correlação dos parâmetros fenotípicos, no experimento conduzido em Canoinhas para variável DAP entre 36 e 67 meses (0,87) e para Mafra considerando altura entre doze e 60 meses (0,83), sugerindo a possibilidade de seleção precoce de clones tanto considerando a variável DAP quanto volume, com expressiva assertividade. Para todos os materiais genéticos de eucalipto avaliados por Tambarussi et al. (2017), foram encontrados para os caracteres DAP e altura na idade de 36 e 60 meses, coeficientes de correlação fenotípica altos, sugerindo que clones na fase adulta tem comportamento semelhante ao observado em idades juvenis. A seleção precoce possibilitaria a redução de tempo e custo nos programas de melhoramento.

### 3.2.2 Produtividade, adaptabilidade e estabilidade (MHPRVG)

O ordenamento da avaliação de produtividade, adaptabilidade e estabilidade (MHPRVG) entre Canoinhas e Três Barras, para a variável volume aos 36 meses está apresentada na Tabela 10.

Tabela 10 – Ordenamento dos clones de *Eucalyptus benthamii* resultantes da análise de estabilidade e adaptabilidade (MHPRVG e MHPRVG\*MG), para a variável volume individual (m<sup>3</sup>) aos 36 meses de idade, com base em dados de Canoinhas e Três Barras, estado de Santa Catarina, Brasil.

Ordem	Identidade	MHPRVG	MHPRVG*MG
1	B3 840 AR1	1,4557	0,0929
2	B3 840 AR13	1,1376	0,0726
3	B4 837 AR4	1,1112	0,0709
4	B2 864 AR8	1,1053	0,0706
5	B3 837 AR11	1,0384	0,0663
6	B3 844 AR7	0,9461	0,0604
7	B3 872 AR10	0,923	0,0589
8	B3 869 AR15	0,8961	0,0572
9	B3 871 AR13	0,7648	0,0488

Fonte: O Autor (2018).

O ordenamento demonstrou que os maiores ganhos devem ser esperados com clone B3 840 AR1, seguido dos clones B3 840 AR13, B4 837 AR4 e B2 864 AR8, indicando o bom desempenho destes clones. De acordo com Rosado et al. (2012), o método MHPRVG permite seleção otimizada e deve fazer parte dos critérios seletivos de clones de eucalipto para construir populações de melhoramento.

## 4 CONCLUSÕES

As espécies que demonstraram maiores taxas de sobrevivência e tolerância a geada foram *E. dorrigoensis*, *E. saligna* e *E. benthamii*.

Considerando a interação entre as duas localidades (Mafra e Três Barras), *E. benthamii* apresentou a maior média de DAP e coeficiente de herdabilidade individual no sentido restrito e herdabilidade média entre progênies indicando o potencial desta espécie para o progresso genético dentro de um programa de melhoramento. A avaliação de produtividade, adaptabilidade e estabilidade entre os dois locais, para a variável volume pelo método MHPRVG, indicou alta correlação genética das progênies indicando que uma população de melhoramento única pode ser adotada para a espécie, com a seleção de progênies e/ou indivíduos para compor uma população de melhoramento.

Estudos clonais conduzidos a partir da população de *E. benthamii* sugerem a possibilidade de seleção precoce de clones, tanto considerando as variáveis DAP aos 36 meses e altura aos 12 meses, com expressiva assertividade pelas altas correlações fenotípicas com o volume aos 67 meses e 60 meses, respectivamente. A seleção otimizada pelo método MHPRVG para a variável volume aos 36 meses, sugere ganhos expressivos utilizando os clones selecionados na população de *E. benthamii*.

## REFERÊNCIAS

- ALFENAS, A.C.; ZAUZA, E.A.V.; MAFIA, R.G.; ASSIS, T.F. de. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2ª ed. Viçosa: UFV, 2009. 500p.
- ALVES, R. M.; ARTERO, A. S.; SEBBENN, A. M.; FIGUEIRA, A. Mating system in a natural population of *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum., by microsatellite markers. **Genetics and Molecular Biology**. Ribeirão Preto. v. 26, n. 3, p. 373-379, 2003.
- ANGELI, A. Indicações para escolha de espécies de *Eucalyptus*. **IPEF**. 2005. Disponível em: <[www.ipef.br/identificacao/eucalyptus/indicacoes.asp](http://www.ipef.br/identificacao/eucalyptus/indicacoes.asp)>. Acesso em: 22 maio 2018.
- ARAÚJO, M. S. **Avaliação de espécies e procedências de eucalipto na região de Imbuzeiro, PB**. 1993. 75 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1993.
- ARNOLD, R.; LI, B.; LUO, J.; BAI, F.; BAKER, T. Selection of cold-tolerant *Eucalyptus* species and provenances for inland frost-susceptible, humid subtropical regions of southern China. **Australian Forestry**, 78:3, p. 180-193. 2015.
- ATLAS OF LIVING AUSTRALIA. Disponível em: <[www.bie.ala.org.au/species/](http://www.bie.ala.org.au/species/)>. Acesso em: 18 maio 2018.
- AUSTRALIAN GOVERNMENT. Department of the Environment and Energy. *Eucalyptus macarthurii*. Disponível em: <[www.environment.gov.au/biodiversity/threatened/species/pubs/7827-conservation-advice-05052016.pdf](http://www.environment.gov.au/biodiversity/threatened/species/pubs/7827-conservation-advice-05052016.pdf)>. Acesso em: 17 junho 2018.
- BALDIN, T.; MARCHIORI, J. N. C.; TALGATTI, M. Anatomia da madeira de *Eucalyptus Benthamii* Maiden & Cabbage, espécie promissora para o setor de celulose no sul do Brasil. **BALDUINIA**, n. 59, p.10-18, Santa Maria, RS. 2017.
- BARROS, N. F. DE; NOVAIS, R. F. de. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa. 1990. 330 p.
- BELTRAME, R.; BISOGNIN, D.A.; MATTOS, B.D.; CARGNELUTTI FILHO, A.; HASELEIN, C.R.; GATTO, D.A.; SANTOS, G.A. Desempenho silvicultural e seleção precoce de clones de híbridos de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 6, p. 791-796, 2012.
- BENIN, C. C. **Efeito do espaçamento na produção, variáveis dendrométricas e propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii***. 2014. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Estadual do Centro Oeste. Irati. 2014.
- BERTI, C. L. F. **Variação genética, herdabilidades e ganhos na seleção para caracteres de crescimento e forma, em teste de progênies de polinização aberta**

de *Eucalyptus cloeziana*, aos 24 anos de idade em Luiz Antônio-SP. 69 p. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. 2010. Disponível em: <[www.hdl.handle.net/11449/98770](http://www.hdl.handle.net/11449/98770)>. Acesso em: 18 maio 2018.

BATES, D.; MAECHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. Fitting Linear Mixed Effects Models Using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67(1), p. 1-48, 2015.

BRAGA, H.J.; GHELLERE, R. Proposta de diferenciação climática para o Estado de Santa Catarina. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 11 e Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, 2. Florianópolis, SC. **Anais ...**, Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia SBA, 1999. CD-ROM.

BURGOS, J. J. **Las heladas em la Argentina**. Colección Científica del Inta. 1963. 389 p.

CARAMORI, P.H.; MANETTI FILHO, J.; MORAIS, H.; LEAL, A.C. **Geada – Técnicas para proteção dos cafezais**. Londrina, IAPAR, 2000. 35 p. (IAPAR, Circular, 112).

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2004. 480 p.

DEL QUIQUI, M. E.; MARTINS, S. S.; SHIMIZU, Y. J. Avaliação de espécies e procedências de *Eucalyptus* para o Noroeste do estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 23, n. 5, p. 1173-1177, 2001.

ELOY, E.; CARON, B.O.; TREVISAN, R.; ELLI, E.F.; MONTEIRO, G.C. Ocorrência de geada nas espécies florestais *Acacia mearnsii* e *Eucalyptus grandis* na região norte do Rio Grande do Sul. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.16, p.1626-1633, 2013.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (Colombo, PR). **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina**. Curitiba, 1988. 113p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 21).

FERNÁNDEZ LONG, M. E.; BARNATÁN, I.; SPESCHA, L.; HURTADO, R.; MURPHY, G. Caracterización de las heladas em la región pampeana y su variabilidad em los últimos 10 años. **Anais...IX Congreso Argentino de Meteorología**. 2004.

FERREIRA, M. Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal. **IPEF**, n. 45, p. 22-30. 1992.

FLORES, T. B.; ALVARES, C. A.; SOUZA, V. C.; STAPE, J. L. **Eucalyptus no Brasil: zoneamento climático e guia para identificação**. Piracicaba: IPEF, 2016. 448p.

FONSECA, S. M. D. F.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. DA S.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético de eucalipto**. Viçosa: Ed. UFV, 2010. 200 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Forest & Landscape Denmark – FLD. International Plant Genetic Resources Institute

– IPGRI. Forest genetic resources conservation and management. Rome: **International Plant Genetic Resources Institute**. 2004.

FORESTRY – GIT. *Eucalyptus macarthurii*. **Camden Woollybutt Highland Forests in North western Iberia**. 2014. Disponível em: <[www/gitforestry.com/EucalyptHighlandForests02.htm](http://www.gitforestry.com/EucalyptHighlandForests02.htm)>. Acesso em: 19 maio 2017.

FREITAS, M. M.; SEBBENN, A. M.; MARAIS, E.; ZANATTO, A. C. S.; SOUSA, C. M. R.; LEMOS, S. V. Parâmetros genéticos em progênies de polinização aberta de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, aos 22 anos de idade. **Revista do Instituto Florestal**, v. 17, n. 1, p. 103-111. 2005.

FRIGOTTO, T. **Seleção de espécies/procedências e propagação vegetativa de *Eucalyptus* spp. na Região Norte de Santa Catarina**. 94 p. Dissertação. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages. 2016.

GARCIA, C. H. Tabelas para classificação do coeficiente de variação. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n,171, 11 p. 1989.

GARRÁN, S. M.; GARÍN, R. O.; MARCÓ, M. A. El clima de la región de Concordia y sus heladas. Em: **Actas XXII Jornadas Forestales de Entre Rios**. Concordia. Entre Rios, Argentina. Outubro, 2007.

GRAÇA, M. E. C.; SHIMIZU, J. Y.; TAVARES, F. R. Capacidade de rebrota e de enraizamento de *Eucalyptus benthamii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo. n. 39. p. 135-138, 1999.

HARRAND, L., MARCÓ, M. A. Investigación hacia el desarrollo de material genético tolerante al frío. **Anais... XXVI - Jornadas Forestales de entre Rios**. Concordia, Outubro, 2012.

HIGA, R.C.V. Aspectos ecológicos e silviculturais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo. v. 38. p. 121-123, 1999.

HIGA, R. C. V. HIGA, A. R., ALVES, E. C. A. *Eucalyptus badjensis* Beuzev. & Welch Espécie Potencial para Produção de Madeira e Óleos Essenciais no Sul do Brasil. Colombo, PR, (Comunicado Técnico, n.65). 2002.

HIGA, R. C. V.; HIGA, A. R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M. V. R. DE. Comportamento de vinte espécies de *Eucalyptus* em área de ocorrência de geadas na Região Sul do Brasil. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPT, 1997, Salvador. Proceedings. Colombo: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, p.106-110, 1997.

HIGA, R. C. V.; HIGA, A. R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M. V. R. Resistência e resiliência a geadas em *Eucalyptus dunnii* Maiden plantados em Campo do Tenente, PR. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo. v. 40. p.67-76, 2000.

HIGA R. C. V, PEREIRA J. C. D. **Usos potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. Colombo: Embrapa Florestas. 2003.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório 2017. 2017. Disponível em:<[www.iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](http://www.iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf)>. Acesso em: 22 maio 2018.

KONZEN, E. R.; NAVROSKI, M. C.; PEREIRA, M. De O.; NASCIMENTO, B.; MENEGUZZI, A.; DE SOUZA, P. F. Genetic variance components for growth variables of *Eucalyptus benthamii* and *E. smithii* provenances cultivated in Southern Brazil. **Cerne**, Lavras, v. 23, n. 3, p. 359-366. 2017.

MARTINS, I. S.; MARTINS, R. de C. C.; CORREIA, H. de S. Comparação entre seleção combinada e seleção direta em *Eucalyptus grandis*, sob diferentes intensidades de seleção. **Floresta e Ambiente**, v.8, p.36-43, 2001.

MIRANDA, A. **Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de *Eucalyptus grandis***. 64 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, 2012.

MORAES, C. B.; DE CARVALHO, E. V.; ZIMBACK, L.; LUZ, O. D. S. L.; PIERONI, G. B., MORI, E. S.; LEAL, T. C. A. B. Variabilidade genética em progênies de meios-irmãos de *Eucalyptos* para tolerância ao frio. **Revista Árvore**, v. 39, n. 6, p. 1047-1054, 2015.

MORAES, M. A.; ZANATTA, A. C. S.; MORAES, E.; FREITAS, M. L. M. Variação genética para caracteres silviculturais em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus camaldulensis* em Luiz Antonio-SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo. v.19, n.2, p.113-118. 2007.

MORI, E. S; LELLO, L. D; KAGEYAMA, P. Y. Efeitos da interação genótipo x ambiente em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith. **IPEF**, Piracicaba, v. 33, p. 19-26, 1986.

NUNES, G. H. S.; REZENDE, G. D. S. P. M.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. S.; Implicações da interação genótipos x ambientes na seleção de clones de eucalipto. **Cerne**, v. 8, n. 1, p 49-58, 2002.

ORO, T. H.; DEL QUIQUI, E. M.; ORO, P. Desempenho inicial de espécies de *Eucalyptus* no Noroeste do Paraná. **Cultivando o Saber**. Cascavel, v.5, n.2, p.140-148. 2012.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T.; FERREIRA, C. A. ***Eucalyptus* indicados para plantio no Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas. 2006.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JR, V. P. DA; MASSIGNAM, A. M., PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VALCI, F.V. **Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-Rom.

PRADO, E. E. P.; HIRIMOTO, D. M.; GODINHO, V. P. C.; UTUMI, M. M. RAMALHO, A. R. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em cinco épocas de plantio no cerrado de Rondônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v. 36, n. 4, p. 625-635, 2001.

REIS, C. A. F., DOS SANTOS, P. E. T., & PALUDZYSZYN FILHO, E. Avaliação de clones de eucalipto em Ponta Porã, Mato Grosso do Sul. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 80, p. 263-269, 2014.

RESENDE, M. D. V. **Genética Biométrica e Estatística no Melhoramento de Plantas Perenes**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 975 p.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 562 p.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182- 194, 2007.

RESENDE, M. D. V. de; ROSA-PEREZ, J. R. H. **Genética quantitativa e estatística no melhoramento animal**. Curitiba: Imprensa Universitária, 1999. 496 p.

RESENDE, M. D. V DE; VENCOSKY, R.; FERNANDES, J. S. C. Selection and genetic gains in populations of *Eucalyptus* with a mixed mating system. In: **IUFRO CONFERENCE**. 1995. p. 191-193.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 7, p.964-971, julho 2012.

SANTOS, A. F.; AUER, S. G.; GRICOLETTI JR, A. **Doenças do eucalipto no Sul do Brasil: identificação e controle**. Circular técnica 45, Embrapa Florestas, 19 p. 2001.

SATO, A. S.; MORAES, E.; ZANATTO, A. C. S.; FREITAS, M. L. M. Seleção dentro de progênies de *Eucalyptus resinifera* aos 21 anos de idade em Luiz Antônio-SP. **Revista do Instituto Florestal**, v. 19, n. 1, p. 93-100, 2007.

SILVA, L. D. **Melhoramento genético de *Eucalyptus benthamii* Maiden et. Cabbage visando a produção de madeira serrada em áreas de ocorrência de geadas severas**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008. 275 p.

SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v. 41, n. 1, p. 23-30, 2006.

SOUZA, V. Q.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D.; BEHLING, A.; BAMBERG, R.; VIAN, A. L. Resistência de espécies arbóreas submetidas a extremos climáticos de geada em diferentes sistemas agroflorestais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 6, p. 972-977, 2011.

SPURR, S. H. **Forest inventory**. New York: The Ronald Press, 1952. 476p.

TAMBARUSSI, E. V.; LIMA, B. M.; QUEIROZ, R. C.; PERES, F. S. B.; DIAS, D. C.; PAGLIARINI, M. K.; PEREIRA, F. B.; ROSA, J. R. B. F.; REZENDE, G. D. S. P. Estimativas de parâmetros genéticos para a seleção precoce em clones de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 45, n. 115, p. 507-517, set. 2017.

WU, Jixiang. **Package 'minque'**, 2014. 8p.

## CAPÍTULO II

### COMPORTAMENTO DE PROCEDÊNCIAS E PROGÊNIES DE *Eucalyptus benthamii* EM LOCAIS DE GEADA NA REGIÃO SUL DO BRASIL

#### RESUMO

O fato de *Eucalyptus benthamii* apresentar grande tolerância à geada, impulsionou o uso desta espécie nas regiões de clima frio, especialmente nos estados do Paraná e Santa Catarina. O interesse em *E. benthamii* tem incentivado a busca por conhecimentos em qualidade da madeira, crescimento e produção. Com o conhecimento obtido no primeiro capítulo, tornou-se oportuno conduzir um estudo para orientar a condução de um programa de melhoramento para a espécie. Neste sentido, experimentos de procedências e progênies de *Eucalyptus benthamii*, foram conduzidos em três áreas geográficas; duas no Planalto Norte Catarinense e uma no Sul do Paraná. Em cada local, o experimento foi estabelecido em blocos casualizados, com 91 tratamentos (procedências e progênies), cinco repetições e cinco plantas por parcela, avaliados quanto aos danos ocasionados por geada aos doze meses e aos 36 meses, o volume individual ( $m^3/\text{árvore}$ ). Foram avaliados os parâmetros genéticos e a interação genótipos x ambientes para o caractere volume individual ( $m^3/\text{árvore}$ ) estimando os ganhos genéticos indiretos quanto a densidade da madeira, utilizando a resistência da madeira à penetração do Resistograph®. Nas três áreas do estudo não foram observados efeitos danosos ocasionados por geada, durante os 36 meses de condução do estudo, evidenciando a tolerância da espécie ao frio. Os valores estimados para a herdabilidade média de progênies foram classificados como altos para Mafra e São Mateus do Sul (0,55 e 0,59 respectivamente) e as acurácias para os mesmos locais foram consideradas de alta magnitude, na análise individual. Entretanto, a análise conjunta permitiu a seleção de progênies com alto potencial produtivo predito, pois resultou em herdabilidade média de progênies (0,64) e acurácia (0,80), ambas com alta magnitude, indicando ser este o melhor método de seleção para otimizar o ganho genético. A interação genótipos x ambientes foi do tipo simples, em função da alta correlação genotípica para volume aos 36 meses, entre as progênies selecionadas pelos critérios de adaptabilidade, estabilidade e produtividade. A seleção entre e dentro mostrou-se superior, quando comparada à seleção individual, mantendo diversidade genética e tamanho efetivo populacional ( $N_e = 54$ ), indicando perspectivas de progressos genéticos, em gerações avançadas com seleção baseada no caractere avaliado. A avaliação indireta da densidade básica pela resistência medida com o resistógrafo, indica que este método não destrutivo, permite a seleção indireta de progênies, resultando em herdabilidade e acurácia de alta magnitude. Os resultados obtidos evidenciam a importância de análises genéticas com vistas a obtenção de resultados práticos, que gerem conceitos e estratégias para nortear a tomada de decisão pelo melhorista, auxiliando no desenvolvimento de programas de melhoramento genético de *E. benthamii*.

**Palavras-chave:** Eucalipto, densidade de básica, seleção, variação genética, correlação genética.

## ABSTRACT

The fact that the *Eucalyptus benthamii* species presents a good tolerance to the frost, promoted the use of this species in the regions with cold climate, especially in the states of Paraná and Santa Catarina. Interest in the species has encouraged the search for knowledge on wood quality, growth and productivity. Based on what we learn from chapter one, it was opportune to conduct a study to guide the establishment of a breeding program for the species. Thus, provenance and progenies tests of *Eucalyptus benthamii* were established in three geographic areas; two in the North Plateau of Santa Catarina State and one in the South of Parana. At each site, the experiment was established in randomized blocks, with 91 treatments (provenances and progenies), five replications and five plants per plot. We evaluated frost damage at 1- year of age and individual tree volume ( $m^3/tree$ ) at 3-years of age. Genetic parameters and genotype by environment interaction were evaluated for individual tree volume. We also estimated genetic gains for basic wood density, measuring the wood resistance using the Resistograph®. No frost damage was observed at the three study areas during the three years of study, which evidences the tolerance of the species to the cold environments. For single site analysis, the estimated values for the family mean heritability were classified as high for Mafra and São Mateus do Sul (0.55 and 0.59, respectively) with high accuracies. Additionally, the combined analysis allowed the selection of progenies with high predicted productivity potential, obtaining a family heritability of 0.64 and accuracy 0.80, both with high magnitude, indicating that this is the best selection method to optimize the genetic gain. The genotype by environment interaction were of simple type, due the high genotypic correlation for volume at 3 years between progenies performance to those selected by adaptability, stability and productivity standards. The selection between and within progenies showed to be superior when compared to the individual selection, maintaining genetic diversity and effective population size ( $N_e = 54$ ), indicating genetic progress in advanced generations. The indirect evaluation of the basic wood density measuring resistance, indicates that this non-destructive method allowed the selection of progenies, for this trait we obtained in high values of heritability and accuracy. The results obtained here evidenced the importance of genetic analysis in order to obtain practical results, to define strategies and to guide decisions by the geneticist, helping to develop genetic tree improvement programs for *E. benthamii*.

**Key words:** Eucalyptus, basic wood density, selection, genetic variances, genetic correlation.

## 1 INTRODUÇÃO

Com um número significativo de geadas, o Sul do Brasil apresenta áreas com clima subtropical, onde o *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage surge como espécie alternativa para plantios comerciais por apresentar boa tolerância as geadas (FONSECA et al., 2010; BACCARIN et al., 2015). Nestes locais a espécie é encontrada em plantios recentes, que se encontram em estágio inicial de melhoramento genético (KONZEN et al., 2017). Como a capacidade específica de aclimação para resistência as geadas é determinada geneticamente (LARCHER; BAUER, 1981), a resistência a geada pode ser explorada no programa de melhoramento genético, identificando as diferenças genéticas entre procedências, famílias e indivíduos (SILVA, 2008).

Iniciar um programa de melhoramento requer a composição de uma base genética e é nesta etapa que a pesquisa de procedências é fundamental, pois fornece condições para a seleção de materiais genéticos de qualidade superior permitindo a identificação dos componentes genéticos e ambientais da variação fenotípica entre árvores de diferentes origens geográficas (TORGGGLER, 1987). Selecionar fenótipos superiores, sejam indivíduos ou famílias, é elementar para o melhoramento, pois as populações melhoradas são obtidas a partir de seleção e recombinação de indivíduos ou famílias (MARTINS et al., 2005).

De acordo com Ferreira e Araujo (1981), os componentes genéticos e ambientais da variabilidade fenotípica existente entre povoamentos de origens geográficas distintas, são avaliados por meio de estudos de procedências, detectando a expressão das diferentes populações quando estabelecidas em outro ambiente. Entretanto, alguns autores concordam que estudos com progênies são mais adequados para seleção, pois permitem avaliar os componentes de variância e a estimação da herdabilidade dos caracteres desejados, principalmente para seleção precoce, diminuindo ciclos de melhoramento (ZOBEL; TALBERT, 1984; RESENDE, 2002), uma vez que, o estudo com procedências avalia a localização geográfica e ambiental dos povoamentos estudados (FERREIRA; ARAUJO, 1981).

Em testes combinados de procedências e progênies, para a seleção de genótipos, ganha-se em eficiência de seleção, e quando os estudos são abrangidos por muitas progênies o sucesso na seleção é maior (FALCONER, 1987; SAMPAIO et al., 2000). Desta forma, a principal fonte de variabilidade a ser explorada pelos

melhoristas em programas de melhoramento é a variação genética existente em nível de espécie, para as procedências e as progênies (SANTOS et al., 2012).

Em um programa de melhoramento, a avaliação de genótipos em diferentes ambientes, é uma das etapas primordiais para a definição e recomendação de materiais genéticos superiores (CRUZ; CARNEIRO, 2003; SILVA; DUARTE, 2006; RESENDE, 2007).

Uma estratégia de melhoramento interessante é a seleção entre e dentro de famílias (SAMPAIO et al., 2002), pois permite selecionar tanto as melhores famílias quanto os melhores indivíduos dentro das famílias. Neste modelo de seleção, por vezes, indivíduos superiores de famílias intermediárias ou indivíduos intermediários de famílias superiores, podem ficar fora da seleção (SANTOS et al., 2008). Como alternativa, pode-se utilizar a seleção combinada, que permite que a escolha seja baseada no desempenho individual associado ao desempenho da família. Martins et al. (2005), consideram que a seleção combinada acarreta melhores resultados que a seleção entre e dentro de famílias, por aportar mais informações. No entanto, vale ressaltar que para a seleção combinada, o tamanho efetivo populacional diminui. O importante em um programa de melhoramento é a correta identificação de critérios de seleção capazes de promover os avanços esperados nas características de interesse estabelecidas (REIS et al., 2004).

Os programas de melhoramento utilizam-se de características fenotípicas tais como forma do fuste e copa, espessura e ângulo de galhos, altura, diâmetro, sanidade das plantas, entre outras para a seleção de indivíduos, negligenciando por vezes, as características de qualidade da madeira. A seleção baseada somente em características fenotípicas pode não atender de maneira eficiente um programa de melhoramento, por não ter considerado o uso e finalidade da madeira produzida nas gerações subsequentes. Neste sentido, a densidade básica é um dos atributos mais utilizados para a qualidade da madeira, nos diversos setores da produção madeireira. Sem dúvida é das mais importantes propriedades da madeira, sendo considerada um índice de qualidade que indica o uso final da madeira (RODRIGUES et al., 2008).

Técnicas para a determinação da densidade sem a necessidade do abate da árvore vêm sendo estudadas e aprimoradas (GONÇALVES et al., 2007), além de serem consideradas como importante alternativa para predições das características da madeira (MANTILLA et al., 2013). A amostragem destrutiva da árvore impossibilita que esta sirva como matriz nos programas de melhoramento, e impede o uso para

futuras observações. Outro fator negativo das amostras destrutivas, é o tempo consumido em amostragem em relação a um método não-destrutivo, pois este acarreta rapidez e confiabilidade nos resultados, de pode representar um ganho significativo aos programas de melhoramento (LIMA et al., 2007).

Entre os vários métodos de avaliação não destrutiva de densidade da madeira destaca-se o uso do resistógrafo, que pode ser utilizado em seleção indireta de árvores em testes genéticos, para avaliação da densidade da madeira (GANTZ, 2002; RODRIGUES et al., 2008). O Resistograph® (também conhecido por resistógrafo) é um instrumento de fácil utilização, rápido e confiável para a avaliação das características da madeira em campo (LIMA et al., 2007; MANTILLA et al., 2013; DIAS et al., 2017). A determinação da densidade da madeira com o uso do resistógrafo baseia-se na resistência à penetração de uma haste ao perfurar a madeira a uma determinada velocidade. Os valores dessa resistência são registrados na memória do aparelho, gerando um gráfico entre a amplitude e a distância percorrida pela haste, onde, posteriormente, pode-se fazer associações entre a amplitude e a densidade da madeira (ISIK; LI, 2003).

Diante do exposto, visando auxiliar na estratégia e definição de uma população para a condução de um programa de melhoramento genético para *E. benthamii*, objetivou-se, avaliar parâmetros genéticos e interação genótipo x ambiente para o caractere volume individual (VOL m<sup>3</sup>/árvore) estimando os ganhos genéticos indiretos quanto ao crescimento, utilizando a densidade básica da madeira, por inferência indireta pela resistência desta à penetração do Resistograph® como ferramenta de seleção.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 LOCAL DE ESTUDO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foram analisados 91 tratamentos, provenientes de seis procedências, distribuídos em 85 progênes e de polinização aberta, três clones e três *bulk* de *E. benthamii*, delineados em blocos ao acaso, com vinte repetições por tratamento (Tabela 1) em 5 plantas por parcela, em espaçamento de 2,0 m x 3,0 m e bordadura dupla no entorno dos experimentos.

Tabela 1 – Progênes e procedências de *Eucalyptus benthamii* utilizadas nas avaliações de desempenho e produtividade, em Mafra e Porto União, no estado de Santa Catarina, e São Mateus do Sul, no estado do Paraná, Brasil.

Tratamento	Nº Famílias	Procedência	Origem
Progênie	54	Candói-PR	Bents Basin - Austrália
Progênie	28	Jaguariaíva-PR	Kedumba Valley - Australia
Progênie	3	Bio Bio-Chile	Kedumba Valley - Australia
Clone	3	Guarapuava-PR	APS Candói - PR - Brasil
<i>Bulk</i>	1	Candói-PR	Bents Basin - Austrália
<i>Bulk</i>	1	Campo Alegre-SC	Oeste de Sydney - Austrália
<i>Bulk</i>	1	Vargem Bonita-SC	Oeste de Sydney - Austrália

Fonte: O Autor (2018).

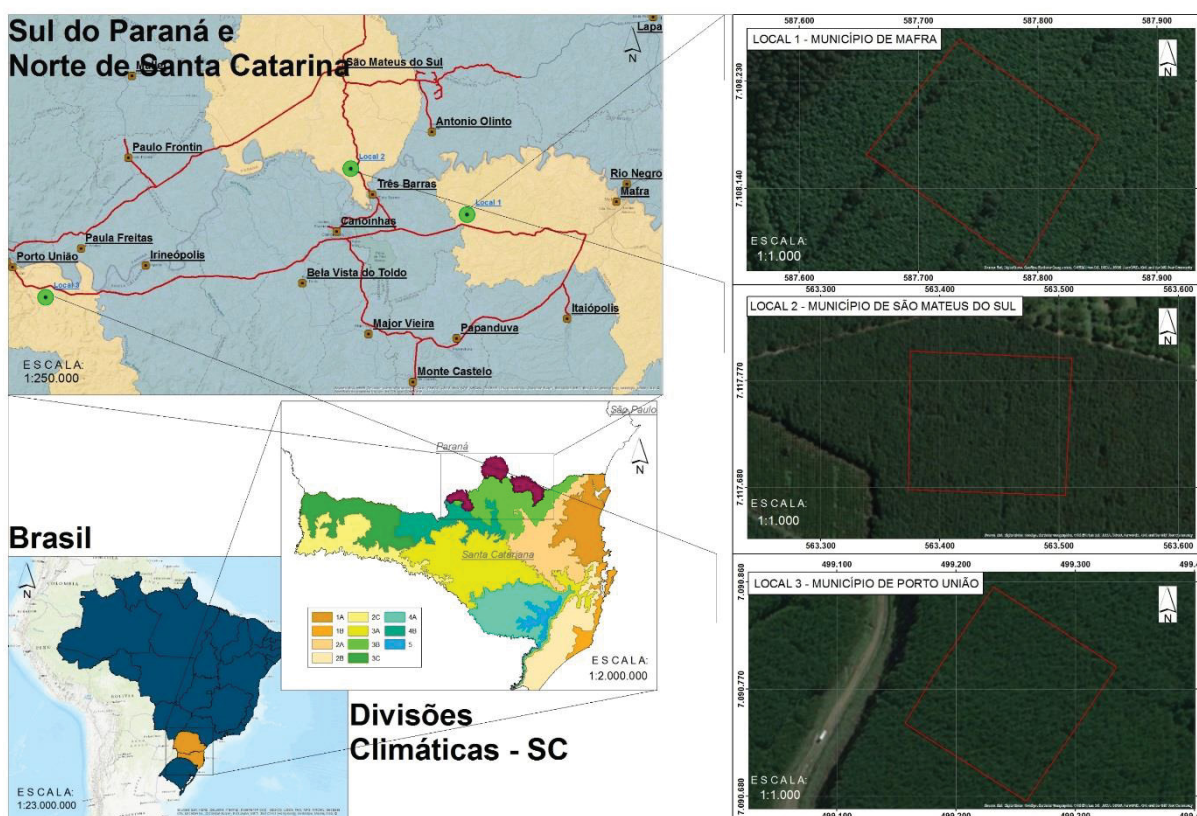
Os experimentos foram estabelecidos em fevereiro de 2015, nos municípios de Mafra a 26°10'N e 50°04'E, a 800 m de altitude e solo argissolo vermelho distrófico típico; Porto União a 26°18'N e 50°00'E, a 775 m de altitude e solo plintossolo háplico distrófico típico, ambos no estado de Santa Catarina, e em São Mateus do Sul no Paraná, a 26°03'N e 50°21'E, a 785 m de altitude e solo nitossolo vermelho distrófico típico (Figura 1).

Os solos de cada local foram analisados, identificados e classificados de acordo com a produtividade, para se avaliar a interação genótipos *versus* ambientes. Desta forma, os sítios foram classificados, em São Mateus do Sul (PR) como o melhor, seguido de Mafra (SC) e Porto União (SC) o pior sítio. Nestes locais o clima, segundo KÖPPEN modificado por Braga e Ghellere (1999), é mesotérmico brando, superúmido sem seca, temperado tipo 3B com temperatura média do mês mais frio (junho/julho)

entre 11,5 e 13 °C, registrando a ocorrência de cinco a 14 geadas anuais (Figura 1) (PANDOLFO et al., 2002).

O *E. benthamii* é classificado como uma espécie indicada para plantio em regiões de clima frio, podendo ser exposto a geada severa e baixas temperaturas. Na Figura 1, são apresentados os locais de condução dos experimentos de progênes de *E. benthamii*, classificados como locais de alta aptidão climática para os municípios de São Mateus do Sul no Paraná, Mafra e Porto União em Santa Catarina (FLORES et al., 2016).

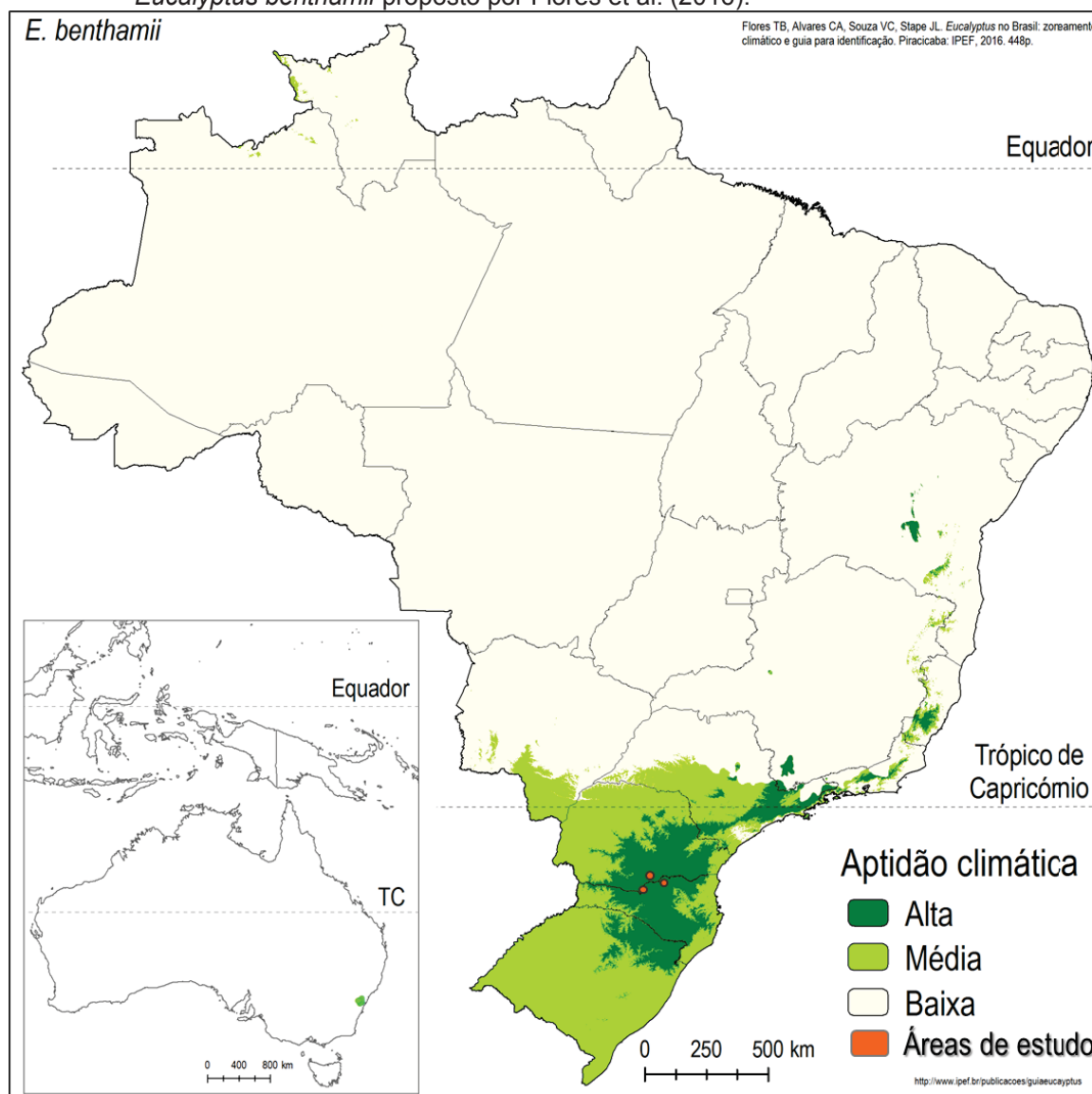
Figura 1 – Áreas de realização dos experimentos de desempenho e produtividade de progênes de *Eucalyptus benthamii*, nos municípios de Mafra e Porto União, no estado de Santa Catarina, e São Mateus do Sul, no estado do Paraná, Brasil.



Fonte: O Autor (2018).

Legenda: Clima classificação segundo KÖPPEN modificado por Braga e Ghellere (1999).

Figura 2 – Localização dos sítios do estudo, de acordo com o zoneamento da aptidão climática para *Eucalyptus benthamii* proposto por Flores et al. (2016).



Fonte: Adaptado de Flores et al. (2016).

Legenda: Pontos laranja indicam a localização dos experimentos.

## 2.2 AVALIAÇÃO DE DANOS POR GEADA E SOBREVIVÊNCIA

As avaliações de sobrevivência foram realizadas aos doze e aos 36 meses, os danos por geada foram avaliados dos doze aos 36 meses e as mensurações do diâmetro à altura do peito (DAP, 1,30 cm do solo) e da altura total (m) das plantas foram realizadas aos 36 meses de idade. Os dados mensurados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparados por meio do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o software *Statgraphics18*®. Foi

realizada estatística descritiva dos dados. A variável volume individual (VOL m<sup>3</sup>/árvore) foi obtida com a Equação 1, adaptada de Spurr (1952).

$$Vol = 0,00003 * Dap^2 * H^2 \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: *Vol*=volume; *Dap*= diâmetro à altura do peito (DAP, 1,30 cm do solo); *H*=altura total (m).

### 2.3 ANÁLISE INDIVIDUAL

As estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos para a variável volume individual (VOL m<sup>3</sup>/árvore) foram obtidas pelo método da máxima verossimilhança restrita e melhor predição linear não viciada (REML/BLUP), (RESENDE, 2007). Além de estimar os parâmetros genéticos por meio do REML, também foram estimados os valores genotípicos ou médias genotípicas ajustadas de progênies e os valores genéticos aditivos e genotípicos individuais pelo procedimento BLUP, assumindo que as progênies são de meias-irmãs, utilizando-se o modelo linear misto (modelo 1) conforme descrito por Resende (2007) de acordo com a Equação 2:

$$y = Xb + Za + Wc + e \quad \text{Equação (2)}$$

Onde: **y** = vetor de dados; **b** = vetor dos efeitos das repetições (assumidos como fixos) somados à média geral; **a** = vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios); **c** = vetor dos efeitos de parcela; **e** = vetor do efeito dos erros ou resíduos; **X**, **Z**, **W** = matrizes de incidência para os referidos efeitos.

### 2.4 ANÁLISE CONJUNTA – INTERAÇÃO GENÓTIPO *versus* AMBIENTE

Para a análise conjunta dos três locais de estudo, avaliando as progênies como sendo meias-irmãs, foi utilizado o modelo linear misto (modelo 4) descrito por Resende (2007) representado pela Equação 3:

$$y = Xr + Za + Wp + Ti + e \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:  $\mathbf{y}$  = o vetor de dados;  $\mathbf{r}$  = o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral;  $\mathbf{a}$  = o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios);  $\mathbf{p}$  = o vetor dos efeitos de parcela (assumidos como aleatórios);  $\mathbf{i}$  = vetor dos efeitos da interação genótipos x ambientes (aleatórios);  $\mathbf{e}$  = o vetor de erros ou resíduos (aleatórios).

As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. O vetor  $\mathbf{r}$  contempla todas as repetições de todos os locais (ajusta combinações repetição-local). Nesse caso, esse vetor contempla os efeitos de locais e de repetições dentro de locais.

## 2.5 ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS

As expressões que serviram como base para a estimativa dos parâmetros genéticos foram a Equação 4, para a estimativa da variância genética aditiva ( $\hat{\sigma}_a^2$ ), Equação 5 para a variância ambiental entre parcelas ( $\hat{\sigma}_c^2$ ) e Equação 6 para a variância residual (ambiental + não aditiva) ( $\hat{\sigma}_e^2$ ):

$$\hat{\sigma}_a^2 = \frac{\hat{\mathbf{a}}' \mathbf{A}^{-1} \hat{\mathbf{a}} + \hat{\sigma}_e^2 + \text{tr}(\mathbf{A}^{-1} \mathbf{C}^{22})}{q} \quad \text{Equação (4)}$$

$$\hat{\sigma}_c^2 = \frac{\hat{\mathbf{c}}' \hat{\mathbf{c}} + \hat{\sigma}_e^2 + \text{tr} \mathbf{C}^{33}}{s_1} \quad \text{Equação (5)}$$

$$\hat{\sigma}_e^2 = \frac{\hat{\mathbf{y}}' \mathbf{y} - \hat{\mathbf{r}}' \mathbf{X}' \mathbf{y} - \hat{\mathbf{a}}' \mathbf{Z}' \mathbf{y} - \hat{\mathbf{c}}' \mathbf{W}' \mathbf{y}}{N - r(\mathbf{x})} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:  $\mathbf{C}^{22}$  e  $\mathbf{C}^{33}$  vêm da inversa de  $\mathbf{C}$ ;  $\mathbf{C}$  = matriz dos coeficientes das equações de modelo misto;  $\text{tr}$  = operador traço matricial;  $r(\mathbf{x})$  = posto da matriz  $\mathbf{X}$ ;  $\mathbf{N}$ ,  $q$ ,  $s_1$  = número de observações, de indivíduos e de parcelas referentes a progênies, respectivamente;  $\mathbf{A}^{-1}$  = matriz de parentesco genético aditivo;  $\mathbf{c}$  = efeitos de parcela;  $\mathbf{y}$  = vetor de observações.

A variância fenotípica individual ( $\hat{\sigma}_f^2$ ), herdabilidade individual no sentido restrito ( $\hat{h}_a^2$ ), herdabilidade individual no sentido restrito, ajustado para os efeitos de parcela ( $\hat{h}_{aj}^2$ ), herdabilidade da média de progênies ( $\hat{h}_{mp}^2$ ) e Herdabilidade aditiva dentro de parcela ( $\hat{h}_{ad}^2$ ), foram estimados com as Equações 7 a 11, respectivamente:

$$\hat{\sigma}_f^2 = \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_c^2 + \hat{\sigma}_e^2 \quad \text{Equação (7)}$$

$$\hat{h}_a^2 = \frac{\hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_f^2} \quad \text{Equação (8)}$$

$$\hat{h}_{aj}^2 = \frac{\hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2} \quad \text{Equação (9)}$$

$$\hat{h}_{mp}^2 = \frac{0,25 \hat{\sigma}_a^2}{0,25 \hat{\sigma}_a^2 + \frac{\hat{\sigma}_c^2}{r} + \frac{0,75 \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2}{nr}} \quad \text{Equação (10)}$$

$$\hat{h}_{ad}^2 = \frac{0,75 \hat{\sigma}_a^2}{0,75 \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2} \quad \text{Equação (11)}$$

Onde:  $n$  = número de plantas por parcela;  $r$  = número de repetições.

O coeficiente de herdabilidade 0,25 é frequentemente usado para famílias de meias-irmãs de árvores individuais pois famílias de muitas espécies de eucalipto, em polinização aberta, geralmente assumem um grau de parentesco resultante da autofecundação e endogamia da vizinhança e, portanto, não seriam verdadeiros meios-irmãos (ELDRIDGE et al., 1993; BURGESS et al., 1996; ARNOLD et al., 2004).

As Equações 12 a 17 foram utilizadas para estimar respectivamente, coeficiente de variação genética aditiva individual ( $CV_{gi}(\%)$ ), coeficiente de variação genético entre progênies ( $CV_{gp}(\%)$ ), coeficiente de variação experimental ( $CV_e(\%)$ ), coeficiente de variação relativa ( $CV_r$ ), acurácia da seleção de progênies, assumindo sobrevivência completa ( $A_{cprog}$ ), coeficiente de determinação dos efeitos de parcela ( $\hat{C}_p^2$ ).

$$CV_{gi}(\%) = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_a^2}}{\hat{m}} \times 100 \quad \text{Equação (12)}$$

$$CV_{gp}(\%) = \frac{\sqrt{r_{xy} \hat{\sigma}_a^2}}{\hat{m}} * 100 \quad \text{Equação (13)}$$

$$CV_e(\%) = \frac{\sqrt{\frac{0,75 \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2}{n} + \hat{\sigma}_c^2}}{\hat{m}} * 100 \quad \text{Equação (14)}$$

$$\hat{b} = \frac{CV_g}{CV_e} \quad \text{Equação (15)}$$

$$A_{cprog} = \sqrt{\hat{h}_{mp}^2} \quad \text{Equação (16)}$$

$$\hat{C}_p^2 = \frac{\hat{\sigma}_c^2}{\hat{\sigma}_f^2} \quad \text{Equação (17)}$$

Onde:  $\hat{m}$  = média geral do caráter.

## 2.6 GANHO ESPERADO COM A SELEÇÃO E TAMANHO EFETIVO POPULACIONAL

Fundamentado na premissa de que estratégias de melhoramento via sexuada, podem selecionar progênies/genótipos superiores com a finalidade de estabelecimento de plantios comerciais e pomares de sementes, baseando-se em seleção utilizando valores genéticos aditivos (RESENDE, 2002), as estimativas de ganhos genéticos foram baseadas na seleção de indivíduos com valores positivos para os efeitos genéticos aditivos para a variável volume individual (VOL m<sup>3</sup>/árvore).

As estimativas de ganho genético mediante a seleção para cada local, para os três locais simultaneamente e a seleção considerando os atributos produtividade, estabilidade e adaptabilidade, foram estabelecidas de acordo com a Equação 18, utilizando-se os parâmetros genéticos estimados com *software* SELEGEN para volume. O ganho esperado com a seleção de procedências pelo volume foi estimado em função dos indivíduos selecionados no ordenamento individual.

$$GS\% = \frac{\bar{X}_a}{\hat{m}} * 100 \quad \text{Equação (18)}$$

Onde,  $\bar{X}_a$  = média dos valores genéticos aditivos dos indivíduos selecionados;  $\hat{m}$  = corresponde à média geral do experimento.

Para estabelecer uma estratégia de seleção, que vise evitar a perda excessiva de variabilidade genética, é importante considerar o tamanho efetivo populacional ( $N_e$ ). Foram estimados os tamanhos efetivos populacionais (Equação 19) com base em Resende (2002):

$$N_e = \frac{4N_f\bar{K}_f}{K_f+3+(\sigma_{K_f}^2/K_f^2)} \quad \text{Equação (19)}$$

Onde,  $\bar{K}_f$  = número médio de indivíduos selecionados por progênie;  $\sigma_{K_f}^2$  = variância do número de indivíduos selecionados por progênie;  $N_f$  = número de progênies selecionadas.

A diversidade genética ( $\hat{D}$ ), após a seleção, foi quantificada conforme Wei e Lindgren (1996) pela Equação 20:

$$\hat{D} = \frac{N_{ef}}{N_{fo}} \quad \text{Equação (20)}$$

Onde:  $0 < \hat{D} \leq 1$ ;  $N_{fo}$  = número original de progênies,  $N_{ef}$  = número efetivo de progênies selecionadas, sendo dado pela equação 21:

$$N_{ef} = (\sum K_f)^2 / \sum K_f^2 \quad \text{Equação (21)}$$

Para comparação entre as formas de seleção para a variável volume individual (VOL m<sup>3</sup>/árvore) foram observadas três condições: seleção individual (SI) onde ( $K_f = K \neq 0$ ), seleção entre e dentro de progênies (SED) onde ( $K_f = \forall K \neq 0$ ) e seleção massal (SM) ( $K_f \leq 3$ ) para a análise conjunta.

## 2.7 PRODUTIVIDADE, ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE (MHPRVG)

A seleção das progênies de *E. benthamii*, considerando simultaneamente a produtividade, adaptabilidade e estabilidade foi realizada pelo método da média harmônica da performance relativa dos valores genéticos (MHPRVG) (modelo 51), empregando-se o programa SELEGEN – REML/BLUP (RESENDE, 2007), em função

da sua importância e vantagens que propicia à predição de ganhos genéticos. De acordo com o método, a estabilidade corresponde à Média Harmônica dos Valores Genotípicos nos locais (MHVG); a adaptabilidade refere-se à Performance Relativa dos Valores Genotípicos em relação à média de cada local (PRVG) e a estabilidade, adaptabilidade e produtividade simultaneamente (representada pelo caráter volume aos 36 meses), corresponde à Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genotípicos (MHPRVG). Para esta análise foi utilizado o modelo estatístico representado pela Equação 22.

$$y = Xr + Zg + Wp + Ti + e \quad \text{Equação (22)}$$

Em que:  $y$ ,  $r$ ,  $g$ ,  $p$ ,  $i$  e  $e$  são os vetores de dados referentes aos efeitos de repetição (fixos), genotípico (aleatórios), parcelas (aleatórios), da interação G x A (aleatórios) e do resíduo (aleatório), respectivamente,  $X$ ,  $Z$ ,  $W$  e  $T$  representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

## 2.8 RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO COM RESISTÓGRAFO

Como ferramenta auxiliar a seleção de progênies, para a condução de um programa de melhoramento, decidiu-se estimar a densidade básica em função da resistência à penetração com a broca de um resistógrafo (Resistograph®) aos 36 meses para a variável volume individual (VOL m<sup>3</sup>/árvore). Para esta análise foram consideradas progênies com resultado positivo na análise BLUP do volume individual, amostrando-se 30 árvores de cada progênie, escolhidas ao acaso entre as dominantes e codominantes nos três locais.

As árvores escolhidas foram identificadas e amostradas pelo Resistograph®, modelo IML-RESI, sempre a altura de 1,30 m do solo (DAP), com o equipamento ajustado para 100 cm/minutos e 2.500 rpm. Manteve-se o cuidado com a orientação da broca do resistógrafo no tronco, de maneira que ela atravessasse o mais proximamente possível da região da medula (Figura 3).

Figura 3 – Coleta de dados com o resistógrafo em árvores de *Eucalyptus benthamii*.



Fonte: O Autor (2018).

O resistógrafo, a cada centímetro de avanço da broca no sentido radial do tronco, registra 100 pares de profundidade e amplitude. Desta maneira, mede a resistência à penetração a cada 0,1 mm registrando detalhadamente o perfil de resistência da árvore (DIAS et al., 2017).

O aparelho registra as informações na forma de gráficos, que podem ser visualizados no aparelho durante e após a coleta dos dados (Figura 4).

Figura 4 – Aparelho Resistograph®.



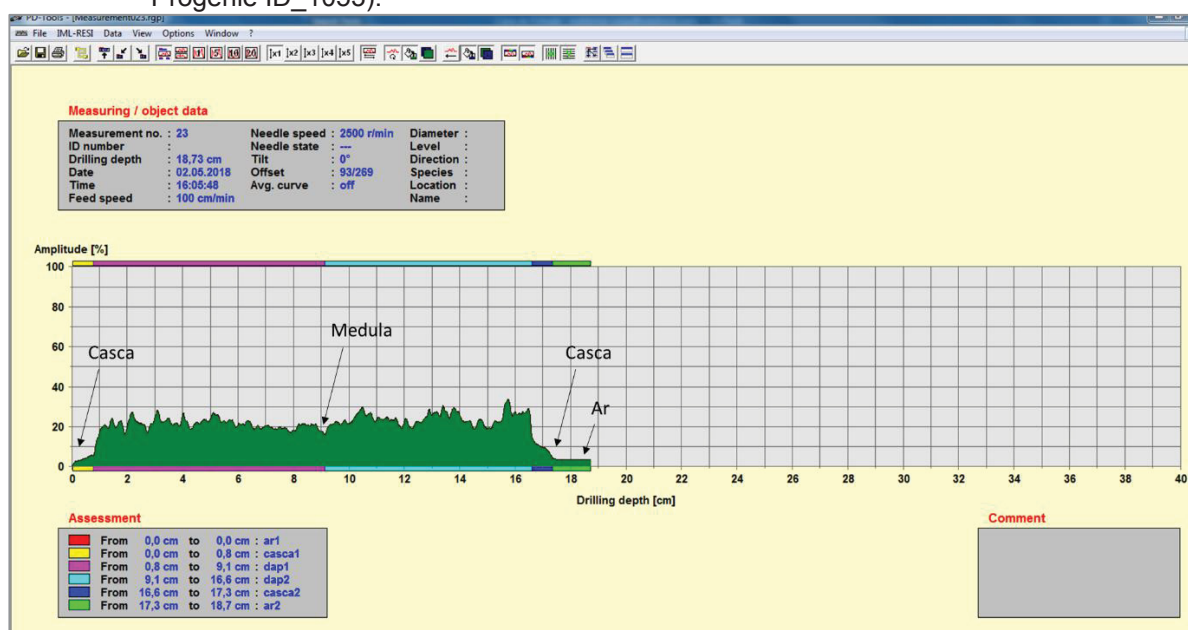
Fonte: O Autor (2018).

Variações inerentes à própria madeira, como presença de nós e bolsas de resina, ou decorrentes do processo de amostragem, tais como passagem da broca pela casca da árvore ou leitura feita com a broca fora da madeira, podem gerar dados

não representativos da estrutura do tronco (GONÇALVES et al. 2007; DIAS et al., 2017). Os perfis gráficos registram toda a movimentação da broca através do tronco, sendo os valores de amplitude iguais a “zero”, os que indicam a movimentação da broca antes de iniciar penetração na árvore e o final da broca, quando ela não toca mais a madeira após atravessar o tronco, também, as amplitudes iguais a 0,5% referem-se à passagem da broca pela casca da árvore.

Na Figura 5, observa-se um exemplo da saída de dados do resistógrafo, com o registro do perfil do tronco em casca, zonas da madeira com variações de resistência, medula, zonas da madeira com variações de resistência, casca e ar (quando a agulha sai do tronco). Estes dados, são armazenados na unidade eletrônica do aparelho e posteriormente descarregados no programa *PD-Tools Pro*.

Figura 5 – Reprodução de um perfil gráfico produzido pelo Resistograph, modelo IML-RESI e pelo programa PD-Tools Pro, após coleta em árvores de *Eucalyptus benthamii*. (Exemplo: Progênie ID\_1053).

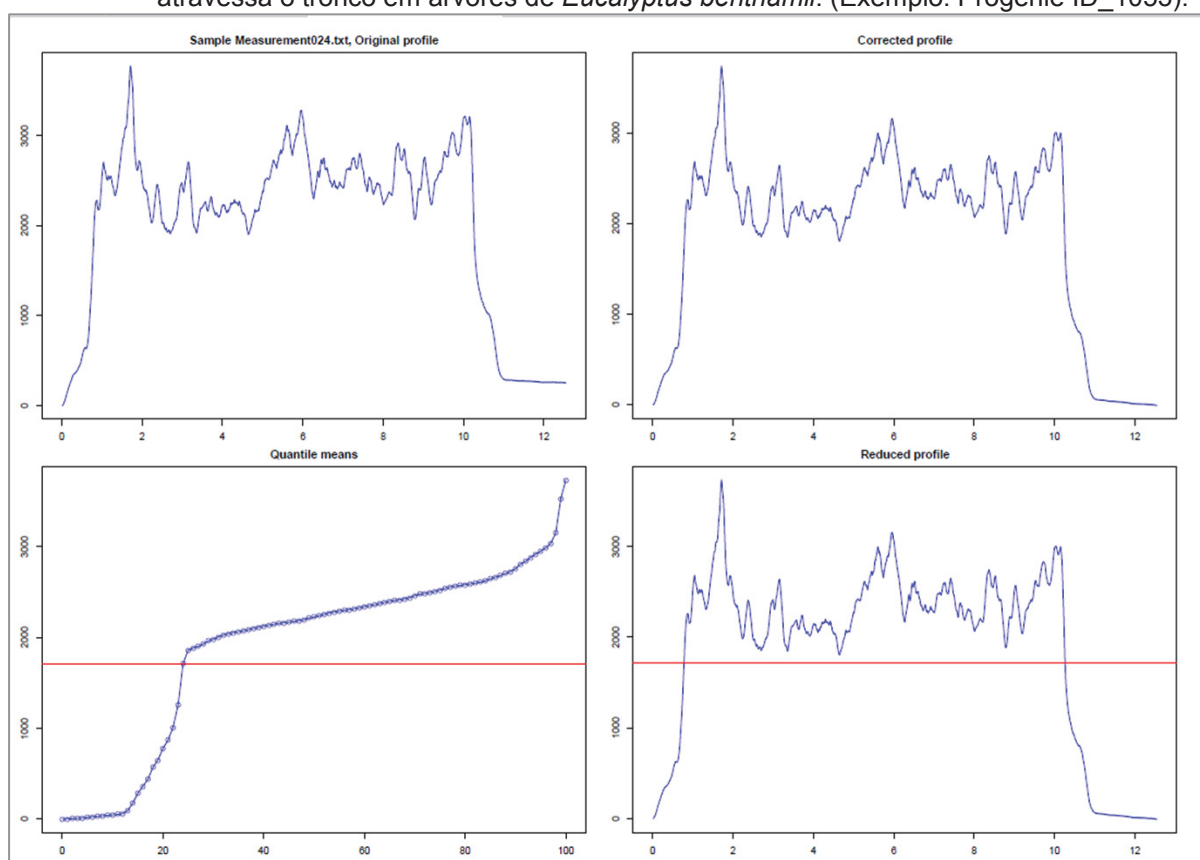


Fonte: O Autor (2018).

Por meio do ambiente estatístico R (R Core Team, 2017), com um *script* desenvolvido pela Cooperativa Internacional de Melhoramento Genético Florestal (Camcore), na Universidade Estadual da Carolina do Norte, usado para calcular a resistência média para cada amostra (dados não publicados). O *script* trata os dados, desconsiderando a movimentação inicial e final da broca, quando ela não toca a madeira, e à penetração da casca, calculando a média geral da amplitude por amostra,

considerando cada centímetro de penetração da broca, estabelecendo a amplitude média (%), e transformando os valores de amplitudes em dados numéricos. O programa fornece uma apresentação gráfica de cada amostra (Figura 6) e os dados numéricos, em uma planilha excel segregados em: diâmetro interno sem casca, em cm (DIB), *Core\_Resistance* e *Disk\_Resistance*

Figura 6 – Reprodução gráfica da resistência média observada quando a agulha do resistógrafo atravessa o tronco em árvores de *Eucalyptus benthamii*. (Exemplo: Progénie ID\_1053).



Fonte: O Autor (2018).

Onde: Diâmetro interno sem casca, em cm (DIB): estimado pelo número de observações usadas para calcular resistência. O programa exclui automaticamente as medidas de resistência do ar e da casca.

*Core\_Resistance*: resistência média observada ao a agulha atravessar o tronco. Esta é a resistência média de todos valores no perfil da madeira.

*Disk\_Resistance*: resistência média circular ponderada. O programa atribui a cada observação um peso baseado em sua contribuição relativa em termos de sua circunferência. Assume-se que a medula está no centro do perfil.

Os valores de amplitudes transformados em dados numéricos, foram avaliados utilizando-se o pacote estatístico R (R Core Team, 2017) e Selegen para obtenção das estimativas dos parâmetros genéticos das variáveis CORE e DISK, para a avaliação individual da densidade indireta das progênies por local (EQUAÇÃO 1).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 DANOS POR GEADA E SOBREVIVÊNCIA

Nas três áreas do estudo não foram observados efeitos danosos ocasionados por geada, durante os 36 meses de condução do estudo, embora mínimas absolutas negativas, tenham sido registradas (Tabela 2), evidenciando a tolerância da espécie ao frio. A sobrevivência variou entre 75 a 100% (Tabela 2), com sobrevivência média entre locais de 92% aos 36 meses, indicando boa adaptação das procedências aos diferentes locais de estudo. Este resultado é superior ao encontrado por Silva (2008) em estudo com progênies de *E. benthamii* aos 42 meses, em Santa Catarina, onde a sobrevivência media variou de 60,2% a 91,7%, e entre os locais, aos 42 meses, a média foi de 73,8%.

Em progênies de *E. benthamii*, Costa et al. (2016), relataram sobrevivência média de 78,1% aos sete anos de idade, e Oliveira et al. (2018) em progênies de *E. saligna*, relataram sobrevivência média de 76%. Diferentes valores de sobrevivência entre as procedências, podem ser explicados por diferenças nas condições ambientais (SILVA et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2018) entre o local de origem das procedências/progênies e os locais dos experimentos onde elas foram implantadas, pois parte dos indivíduos acabam não sobrevivendo por não se adaptarem as novas condições ambientais. Maior variabilidade genética expressa maior sobrevivência.

Tabela 2 – Sobrevivência (%) das procedências de *Eucalyptus benthamii* com 12 e 36 meses de idade, em Mafra e Porto União, no estado de Santa Catarina, e São Mateus do Sul, no estado do Paraná, Brasil.

Localidade		Plantas Vivas (%)					
		Mafra		Porto União		São Mateus do Sul	
		12 meses	36 meses	12 meses	36 meses	12 meses	36 meses
Candói-PR	Progênies	98	95	98	95	99	93
Jaguariaíva-PR	Progênies	97	94	98	97	99	92
Bio Bio-Chile	Progênies	97	92	98	95	98	92
Guarapuava-PR	Clones	97	97	100	100	97	93
Candói-PR	Bulk Progênies	95	95	100	100	95	80
Campo Alegre-SC	Bulk Progênies	100	95	90	90	90	75
Vargem Bonita-SC	Bulk Progênies	100	100	95	90	100	85
<b>Média</b>		98	95	97	95	97	87

Fonte: O Autor (2018).

### 3.2 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Para a variável volume, a procedência Jaguariaíva apresentou o melhor desempenho e para DAP, as procedências Jaguariaíva, Bio Bio e os clones de Guarapuava foram estatisticamente iguais e superiores em relação as demais procedências (Tabela 3).

Tabela 3 – Diâmetro à altura do peito (cm) e altura total (m) de *Eucalyptus benthamii*, para as procedências Candi-PR, Jaguariaíva-PR, Bio-Bio Chile, Guarapuava-PR, Campo Alegre-SC e Vargem Bonita-SC, aos 36 meses de idade, combinando os dados de Mafra e Porto União, estado de Santa Catarina e São Mateus do Sul, estado do Paraná, Brasil.

Procedência		Volume médio		DAP médio		Altura média	
Jaguariaíva (PR)	Progênes	0,0507	a	10,44	ab	12,61	a
Bio Bio (Chile)	Progênes	0,0448	ab	10,44	ab	12,48	a
Guarapuava (PR)	Clones	0,0455	ab	9,83	ab	12,28	a
Candi (PR)	Progênes	0,0448	b	9,70	b	12,27	a
Candi (PR)	<i>Bulk</i>	0,0422	bc	9,68	b	12,02	ab
Campo Alegre (SC)	<i>Bulk</i>	0,0418	bc	9,53	bc	11,64	ab
Vargem Bonita (SC)	<i>Bulk</i>	0,0263	c	7,67	c	11,15	c

Fonte: O Autor (2018).

Legenda: Valores médios seguidos pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A estatística descritiva para o DAP, altura e volume individual (VOL m<sup>3</sup>/árvore) aos 36 meses de idade, combinada para os três locais de estudo Mafra, Porto União e São Mateus do Sul podem ser observados na Tabela 4, e para cada local separadamente, estão apresentados no Apêndice 1. Para a variável DAP, é possível verificar as seguintes variações entre as procedências e materiais genéticos: Jaguariaíva/PR, progênes (10,44 ± 3,35 cm), Bio Bio/Chile, progênes (10,44 ± 3,30 cm), Candi/PR, progênes (9,84 ± 3,24 cm), Candi/PR, *bulk* progênes (9,70 ± 3,32 cm), clones de Guarapuava/PR (9,68 ± 3,30 cm), Campo Alegre/SC, *bulk* progênes (9,53 ± 3,33 cm) e Vargem Bonita/SC, *bulk* progênes (7,67 ± 2,91 cm). Observou-se que o desvio padrão para DAP foi muito similar entre as procedências, com exceção de Vargem Bonita. As procedências Bio Bio/Chile e Jaguariaíva/PR, maior DAP médio e o maior indivíduo em DAP com 19,50 cm era da procedência Jaguariaíva/PR.

Tabela 4 – Estatísticas descritivas para diâmetro à altura do peito (cm) e altura total (m) de *Eucalyptus benthamii*, das procedências Candoi-PR, Jaguariaiva-PR, Bio-Bio no Chile, Guarapuava-PR, Campo Alegre-SC e Vargem Bonita-SC, aos 36 meses de idade, combinando os dados de Mafra e Porto União no estado de Santa Catarina e São Mateus do Sul no estado do Paraná, Brasil.

Procedência							
	Jaguariaiva PR	Bio Bio Chile	Candói PR	Candói PR	Guarapuava PR	Campo Alegre SC	Vargem Bonita SC
	Progênie	Progênie	Progênie	Bulk Progênies	Clones	Bulk Progênies	Bulk Progênies
<b>DAP</b>							
$\bar{x}$	10,44	10,44	9,84	9,70	9,68	9,53	7,67
EP	0,09	0,26	0,06	0,45	0,25	0,46	0,39
$\sigma$	3,35	3,30	3,24	3,32	3,30	3,33	2,91
Mínimo	1,10	2,90	1,10	2,80	1,00	1,90	1,80
Máximo	19,50	17,90	18,90	16,00	16,00	16,40	12,60
<b>Altura</b>							
$\bar{x}$	12,48	12,28	12,27	11,65	12,61	12,02	11,15
EP	0,09	0,25	0,06	0,43	0,27	0,47	0,45
$\sigma$	3,39	3,21	3,37	3,20	3,56	3,37	3,31
Mínimo	2,00	2,80	2,10	5,00	1,50	1,90	3,80
Máximo	19,90	18,10	20,00	18,00	19,70	18,80	17,10
<b>Volume</b>							
$\bar{x}$	0,0507	0,0496	0,0448	0,0422	0,0455	0,0418	0,0263
EP	0,0009	0,0723	0,1418	0,0539	0,0707	0,0464	0,0346
$\sigma$	0,0373	0,0366	0,0345	0,0360	0,0354	0,0315	0,0216
Mínimo	0,0001	0,0007	0,0001	0,0012	0,0000	0,0002	0,0004
Máximo	0,2000	0,1682	0,2054	0,1367	0,1498	0,1517	0,0802

Fonte: O Autor (2018).

Legenda:  $\bar{x}$  = média; EP = erro padrão;  $\sigma$  = desvio padrão

Em um estudo com *E. benthamii* aos 42 meses, Andrade e Angelo (2016), relataram DAP de mudas clonais de  $9,7 \pm 3,29$  cm e mudas seminais de  $9,15 \pm 3,15$  cm. Estes resultados são similares aos encontrados neste estudo para as mudas clonais. No estado do Paraná, Costa (2014) relatou DAP médio de 10,04 cm aos 36 meses de idade, com DAP médio variando de 11,73 a 8,84 cm. Em diferentes locais de Santa Catarina, Silva (2008) observou para progênies de *E. benthamii*, aos 42 meses, DAP médio de 8,74 cm variando de 4,33 a 10,87 cm. Com exceção dos clones de Guarapuava, as demais procedências, por utilizarem mudas seminais, registraram diferenças entre elas, com potencial de seleção e ganho com as diferentes procedências, que apresentaram resultados superiores

Para a variável altura total, observou-se as seguintes variações: Jaguariaíva/PR, progênies ( $12,48 \pm 3,39$  cm), Bio Bio/Chile, progênies ( $12,28 \pm 3,21$  cm), Candói/PR, progênies ( $12,27 \pm 3,37$  cm), Candói/PR, *bulk* progênies ( $11,65 \pm 3,20$  cm), clones de Guarapuava/PR, ( $12,61 \pm 3,56$  cm), Campo Alegre/SC, *bulk* progênies ( $12,02 \pm 3,37$  cm) e Vargem Bonita/SC, *bulk* progênies ( $11,15 \pm 3,31$  cm) (Tabela 4). Os resultados deste estudo foram superiores para mudas clonais e seminais em relação ao relatado por Andrade e Angelo (2016) com *E. benthamii* aos 42 meses, onde a altura total das mudas clonais foi de  $11 \pm 3,9$  m e das mudas seminais foi de  $12,35 \pm 3,18$  m, pois neste estudo as mudas eram seis meses mais novas. Em estudo com progênies de *E. benthamii* no estado do Paraná, Costa (2014) encontrou altura média de 10,75 m aos 36 meses de idade variando entre 8,98 e 13,68 m.

Com relação ao volume individual das progênies, citam-se Jaguariaíva/PR, progênies ( $0,0507 \pm 0,0373$  m<sup>3</sup>/árvore) com a maior média de volume, seguida por Bio Bio/Chile, progênies ( $0,0496 \pm 0,0366$  m<sup>3</sup>/árvore), Candói/PR, progênies ( $0,0448$  m<sup>3</sup>/árvore  $\pm 0,0345$  m<sup>3</sup>/árvore), Candói/PR, *bulk* progênies ( $0,0422 \pm 0,0360$  m<sup>3</sup>/árvore), clones de Guarapuava/PR ( $0,0455 \pm 0,0354$  m<sup>3</sup>/árvore), Campo Alegre/SC, *bulk* progênies ( $0,0418 \pm 0,0315$  m<sup>3</sup>/árvore) e Vargem Bonita/SC, *bulk* progênies com a menor média ( $0,0263 \pm 0,0216$  m<sup>3</sup>/árvore) visualizados na Tabela 4. Estes valores foram menores que os relatados por Costa (2014) em seu estudo com progênies de *E. benthamii* aos 36b meses.

A análise descritiva dos dados permite observar a variação existente entre as procedências para os limites máximos e mínimos de volume individual, inclusive para as mudas clonais. Em ensaio localizado em Guarapuava (PR) e em comparação com *E. dunnii*, Paludzyszyn et al. (2006), concluíram que o *E. benthamii* é mais resistente as geadas e melhor adaptado as condições de clima frio, justificando assim o maior desenvolvimento.

Seria razoável esperar maior homogeneidade no material clonal, entretanto o estudo compreendeu três diferentes clones. Higashi et al. (2000), citam que podem existir variações fenotípicas quando comparadas mudas de um mesmo material genético, ocasionadas por variações ambientais ou por fatores relacionados com o tamanho da estaca, formação radicial, entre outros.

Mudas clonais compreendem material genético melhorado que deveria expressar crescimento superior em relação as mudas provenientes de sementes com

variabilidade genética ampla, entretanto este fato não foi observado neste estudo. Os materiais clonais apresentaram valores próximos ou inferiores aos resultados das progênies. A interação “clone x ambiente” tende a ser bem específica, quando o clone é selecionado em uma região e utilizado em ambientes diferenciados, resultando que genótipos superiores podem não apresentar os mesmos resultados positivos em ambientes diversos ao da seleção. O crescimento das árvores é diretamente influenciado pelos fatores genéticos que interagindo com o meio ambiente expressam-se em crescimento (FINGER, 1992).

### 3.3 ANÁLISE INDIVIDUAL - ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS

Foi observado que o volume individual (VOL m<sup>3</sup>/árvore) apresentou média de 0,0478 m<sup>3</sup>/árvore para os três locais avaliados, aos 36 meses de idade (Tabela 5), sendo que a maior média de volume foi observada em São Mateus do Sul (0,0705 m<sup>3</sup>/árvore) classificado como melhor local, o que pode ter contribuído para a maior produtividade neste local.

A variação no volume total com casca entre famílias de *E. benthamii*, em diferentes locais, pode estar relacionada à fertilidade do solo, clima e/ou com o efeito da interação genótipo x ambiente (SILVA, 2008). Em Porto União foi o local que apresentou a menor média de volume (0,0274 m<sup>3</sup>/árvore) (Tabela 5). Estes valores foram inferiores às médias descritas por Costa (2014) em *E. benthamii* aos 36 meses, que relatou volume individual médio de 0,056 m<sup>3</sup>/árvore com maior média de volume em 0,086 m<sup>3</sup>/árvore e menor média de 0,038 m<sup>3</sup>/árvore

Tabela 5 – Estimativas de volume médio de progênies, coeficiente de determinação dos efeitos de parcela e coeficiente de variação experimental para o caráter volume individual em *Eucalyptus benthamii*, aos 36 meses de idade, em Mafra e Porto União no estado de Santa Catarina e São Mateus do Sul no estado do Paraná, Brasil.

Local	Volume Médio (m <sup>3</sup> )	$\hat{C}_p^2$	CV <sub>e</sub> (%)
Mafra	0,0424	0,1500	38,77
Porto União	0,0274	0,1599	43,07
São Mateus do Sul	0,0705	0,0754	26,58

Fonte: O Autor (2018).

Legenda: coeficiente de determinação dos efeitos de parcela ( $\hat{C}_p^2$ ) e coeficiente de variação experimental (CV<sub>e</sub>(%)).

Os coeficientes de variação experimental (CV<sub>e</sub>(%)) indicaram haver variação entre os locais (Tabela 5). O estudo em São Mateus do Sul (PR) apresentou o menor

valor (26,58%) e em Porto União (SC) o maior valor (43,07%). Embora, Etori et al. (1995) terem considerado valores do  $CV_e(\%)$  na faixa de 20 a 30% como médios, os valores de maior magnitude, desta experimentação para a variável volume, estão dentro do aceitável. Houle (1992), cita que caracteres que são compostos, que são calculados por meio de outros caracteres, como o volume, apresentam maior coeficiente de variação experimental. Estes valores também foram semelhantes aos encontrados no trabalho com *E. benthamii* realizado por Costa (2014) para o volume.

Os coeficientes de determinação dos efeitos de parcela ( $\hat{C}_p^2$ ) observados indicaram que o ambiente teve expressiva influência nos experimentos de Mafra e Porto União, pois houve variação maior que 10% entre as parcelas nestes locais. Uma estimativa de variação dos efeitos de parcela de no máximo 10% não interfere na estimativa dos parâmetros genéticos (RESENDE, 2002). Desta forma é possível afirmar que o ambiente teve pouca influência no experimento de São Mateus do Sul, onde  $\hat{C}_p^2$  foi menor que 10%, portanto houve baixa variação entre as parcelas para o caráter volume. Resultado similar ao observado para este local, foi relatado por Oliveira et al. (2018) em seu estudo com *E. saligna*.

O coeficiente de variação genético aditivo ( $CV_{gi}(\%)$ ) apresentou média de 34,72%, variando de 29,26% a 43,18%, para Porto União e Mafra, respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6 – Estimativas da variância genética aditiva, variância ambiental entre parcelas, variância fenotípica individual, coeficiente de variação genética aditiva individual, coeficiente de variação genético entre progênies e coeficiente de variação relativa, para o caráter volume individual, aos 36 meses de idade, em Mafra e Porto União no estado de Santa Catarina e São Mateus do Sul no estado do Paraná, Brasil.

Local	$\hat{\sigma}_a^2$	$\hat{\sigma}_c^2$	$\hat{\sigma}_f^2$	$CV_{gi}(\%)$	$CV_{gp}(\%)$	$\hat{b}$
Mafra	0,00034	0,00013	0,00090	43,18	21,59	0,56
Porto União	0,00006	0,00007	0,00044	29,26	14,63	0,34
São Mateus do Sul	0,00050	0,00011	0,00145	31,73	15,87	0,60

Fonte: O Autor (2018).

Legenda: estimativa da variância genética aditiva ( $\hat{\sigma}_a^2$ ), variância ambiental entre parcelas ( $\hat{\sigma}_c^2$ ), variância fenotípica individual ( $\hat{\sigma}_f^2$ ), coeficiente de variação genética aditiva individual ( $CV_{gi}(\%)$ ), coeficiente de variação genético entre progênies ( $CV_{gp}(\%)$ ) e coeficiente de variação relativa ( $\hat{b}$ ).

Esses valores observados demonstram que existe variabilidade genética entre os indivíduos, com isso é possível obter ganhos por meio de métodos de seleção. De modo geral, as estimativas do coeficiente de variação genética individual ( $CV_{gi}(\%)$ ) foram maiores que os coeficientes de variação genética de progênies

( $CV_{gp}(\%)$ ), para todos os locais. A magnitude de variação genética das progênes para o caráter volume indica que existe variabilidade genética mediana na espécie, nas condições experimentais do presente trabalho.

Quanto maior o valor de coeficiente de variação relativa, maior é o controle genético dos caracteres e menor é a influência dos fatores ambientais no fenótipo (KAGEYAMA; VENCOVSKY, 1983; SEBBENN et al., 2009). Neste trabalho esse coeficiente apresentou valores medianos, sendo que Porto União apresentou o menor valor (0,34) e São Mateus do Sul apresentou o maior valor (0,60), indicando a menor influência do ambiente para este experimento. Este resultado, permite afirmar que a seleção realizada neste local será mais efetiva do ponto de vista genético, se comparada aos outros dois locais. Este valor apresenta maior magnitude em relação ao relatado de Costa et al. (2016) em estudo com *E. benthamii* aos sete anos (0,41) considerado mediano. A relação  $CV_{gi}(\%)/CV_e(\%)$  ou potencial de seleção para os locais Mafra e São Mateus do Sul, apresentou valores medianos, indicando que a seleção no ensaio poderá ser efetiva para a variável avaliada. Relação entre o coeficiente de variação genética aditiva individual ( $CV_{gi}(\%)$ ) e o coeficiente de variação experimental ( $CV_e(\%)$ ) próximos a um, indicam ganhos genéticos com a seleção de progênes (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

As estimativas de herdabilidade individual no sentido restrito ( $\hat{h}_a^2$ ) foram consideradas medianas pois,  $0,15 \leq (\hat{h}_a^2) \leq 0,50$  (RESENDE, 2002), sendo que aos 36 meses de idade, a média observada foi de 0,29, sendo o menor valor para Porto União (0,15), Mafra (0,37) e São Mateus do Sul (0,35) medianos (TABELA 7).

Tabela 7 – Estimativas de herdabilidade individual no sentido restrito, herdabilidade individual no sentido restrito, ajustado para os efeitos de parcela, herdabilidade da média de progênes, herdabilidade aditiva dentro de parcela, acurácia na seleção de progênes, para volume individual (VOL m<sup>2</sup>/árvore) de procedências de *Eucalyptus benthamii*, aos 36 meses de idade, para Mafra e Porto União no estado de Santa Catarina e São Mateus do Sul no estado do Paraná, Brasil.

Local	$(\hat{h}_a^2)$	$(\hat{h}_{aj}^2)$	$(\hat{h}_{mp}^2)$	$(\hat{h}_{ad}^2)$	$(A_{cprog})$
Mafra	0,37	0,44	0,55	0,37	0,744
Porto União	0,15	0,18	0,16	0,14	0,562
São Mateus do Sul	0,35	0,37	0,59	0,31	0,767

Legenda: herdabilidade individual no sentido restrito ( $\hat{h}_a^2$ ), herdabilidade individual no sentido restrito, ajustado para os efeitos de parcela ( $\hat{h}_{aj}^2$ ), herdabilidade da média de progênes ( $\hat{h}_{mp}^2$ ) e Herdabilidade aditiva dentro de parcela ( $\hat{h}_{ad}^2$ ), acurácia da seleção de progênes, assumindo sobrevivência completa ( $A_{cprog}$ ).

Herdabilidade individual no sentido restrito ( $\hat{h}_a^2$ ) variando entre média magnitude (0,15 a 0,50) a alta ( $> 0,50$ ) foram reportados por Oliveira et al. (2018) em progênies de *E. saligna* e por Tambarussi et al. (2018) em progênies de *Corymbia* sp. Em progênies de *E. benthamii* aos 36 meses de idade, Costa (2014) para o caráter volume, encontraram valores inferiores a este estudo, sendo que a  $\hat{h}_a^2$  média observada foi 0,13 variando de 0,10 a 0,15.

A seleção individual em São Mateus do Sul, seguida por Mafra, podem gerar ganhos de maior magnitude em virtude dos valores superiores de herdabilidade individual. As herdabilidades individuais no sentido restrito, ajustada para os efeitos de parcela ( $\hat{h}_{aj}^2$ ), foram ligeiramente superiores as herdabilidades individuais, ambas classificadas em média magnitude, demonstrando a acurácia da estimativa de herdabilidade individual no sentido restrito.

Herdabilidade média de progênies ( $\hat{h}_{mp}^2$ ) elevada favorece a seleção inicial entre progênies, e a seleção dentro das melhores progênies selecionadas. Neste estudo, os valores observados para a herdabilidade média de progênies ( $\hat{h}_{mp}^2$ ) foram classificados como altos para Mafra e São Mateus do Sul (0,55 e 0,59 respectivamente). Para o caráter volume, Costa (2014) em seu estudo com *E. benthamii* aos 36 meses de idade, relatou resultado igual (0,59) e Oliveira et al. (20018) obteve 0,69 em *E. saligna*. Esses valores de herdabilidade indicam que a seleção baseada nas médias das famílias pode gerar ganhos de grande magnitude devido ao alto controle genético deste caráter nos experimentos avaliados nestes locais. Resultado evidenciando em outros estudos com espécies de *Eucalyptus* (ROSADO et al., 2009; SOUZA et al., 2011; PUPIN et al., 2015), onde a seleção com base no valor genético de famílias apresentou maior eficiência em detrimento do valor individual. A herdabilidade aditiva dentro de parcela ( $\hat{h}_{ad}^2$ ) apresentou valores muito similares a herdabilidade individual ( $\hat{h}_a^2$ ), igualmente considerados de baixa magnitude.

Os valores de acurácia ( $A_{cprog}$ ) para os locais Mafra (SC) e São Mateus Sul (PR), foram consideradas de alta magnitude, porque o ideal é que os valores de acurácia sejam  $\geq 0,70$  (RESENDE, 2002). Valores maiores que 0,50 (RESENDE, 2002) indicam que existe um bom acesso à variação genética real, avaliando-se fenótipos, observando-se o caráter em estudo. Para *E. benthamii*, Konzen et al. (2017)

relataram acurácia de 0,555 e Costa et al. (2016) 0,780 para o caráter volume, resultados inferior e superior aos valores encontrados neste estudo.

### 3.4 ANÁLISE CONJUNTA – INTERAÇÃO GENÓTIPO *versus* AMBIENTE PARA A VARIÁVEL VOLUME (VOL)

A análise conjunta dos três locais de experimentação, para a variável volume, apresentou baixa variância ambiental entre parcelas ( $\hat{\sigma}_c^2$ ), embora o coeficiente de determinação dos efeitos de parcela ( $\hat{C}_p^2$ ) tenha apresentado valor superior ao estabelecido como normal e ideal (0,11), essa magnitude indica pouca influência do ambiente na experimentação. Resende (2002), expressa que uma estimativa de até 10% do  $\hat{C}_p^2$  não chega a interferir na estimativa dos parâmetros genéticos (Tabela 8).

Tabela 8 – Componentes de variâncias e herdabilidade para o desempenho das progênies de *Eucalyptus benthamii*, para volume individual (VOL m<sup>3</sup>/árvore) aos 36 meses de idade, na avaliação conjunta das localidades Mafra e Porto União no estado de Santa Catarina e São Mateus do Sul no estado do Paraná, Brasil.

Parâmetros Genéticos											VOL
$(\hat{\sigma}_a^2)$	$(\hat{\sigma}_c^2)$	$(\hat{\sigma}_i^2)$	$(\hat{\sigma}_e^2)$	$(\hat{\sigma}_f^2)$	$(\hat{h}_a^2)$	$(\hat{h}_{mp}^2)$	$(\hat{C}_p^2)$	$(\hat{C}_{int}^2)$	$(A_{cprog})$	$(\hat{r}_{gloc})$	Médio
											(m <sup>3</sup> )
0,0002	0,0001	0,00002	0,00059	0,00092	0,22	0,64	0,11	0,026	0,80	0,68	0,047

Fonte: O Autor (2018).

Legenda: Estimativas de variância genética aditiva ( $\hat{\sigma}_a^2$ ), variância ambiental entre parcelas ( $\hat{\sigma}_c^2$ ), variância da interação genótipo x ambiente ( $\hat{\sigma}_i^2$ ), variância residual ( $\hat{\sigma}_e^2$ ), variância fenotípica individual ( $\hat{\sigma}_f^2$ ), herdabilidade individual no sentido restrito ( $\hat{h}_a^2$ ), herdabilidade da média de progênies ( $\hat{h}_{mp}^2$ ), coeficiente de determinação dos efeitos de parcela ( $\hat{C}_p^2$ ), coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x ambiente ( $\hat{C}_{int}^2$ ), acurácia da seleção de progênies, assumindo sobrevivência completa ( $A_{cprog}$ ), correlação genotípica entre o desempenho das progênies nos vários ambientes ( $\hat{r}_{gloc}$ ), volume individual (VOL m<sup>3</sup>/árvore).

O baixo coeficiente de efeitos da interação genótipo x ambiente ( $\hat{C}_{int}^2$ ), representado pela variação da interação G x E foi de 2,6%, refletindo em alta estimativa (68%) da correlação genotípica entre o desempenho das progênies ( $\hat{r}_{gloc}$ ) nos três locais, indicando que a interação foi do tipo simples, pois quanto maior for  $\hat{r}_{gloc}$  menor será a interação GxE. Interação do tipo simples permite que a seleção possa ser conduzida no local onde os parâmetros genéticos foram mais favoráveis,

possibilitando ganhos para todos os locais, facilitando a condução de um programa de melhoramento. Interação de tipo simples foi relatado em progênies de *E. grandis* (MIRANDA et al., 2015), *E. urophylla* (PUPIN et al., 2015) e em *E. tereticornis* (MACEDO et al., 2013).

A herdabilidade da média das progênies ( $\hat{h}_{mp}^2$ ) apresentou valor alto, conduzindo a expressiva acurácia seletiva ( $A_{cprog}$ ). Acurácia com valor de 0,80, segundo a classificação proposta por Resende (2002) atesta a precisão e o controle das causas de variação ambiental, pois de acordo com este autor, quanto maior a magnitude da acurácia (mais próxima de um), melhor a qualidade do experimento, sendo maior a confiabilidade nas informações experimentais (RAMALHO et al., 2012). Este resultado permite estimar ganhos genéticos com a seleção de progênies, em virtude da excelente experimentação conduzida.

A herdabilidade no sentido restrito ( $\hat{h}_a^2$ ) foi considerada média. A herdabilidade pode ser considerada como de baixa magnitude quando  $\hat{h}_a^2 < 0,15$ , média magnitude entre  $0,15 < \hat{h}_a^2 < 0,50$  e alta magnitude com  $\hat{h}_a^2 > 0,50$  (RESENDE, 2002). Os valores obtidos indicam que o controle genético é médio para o carácter volume e, portanto, a seleção praticada em nível de progênies possibilitará ganhos no carácter. Resultados similares foram relatados em *Eucalyptus urophylla* (PUPIN et al., 2015) e *P. caribaea* var. *bahamensis* (TAMBARUSSI et al., 2010). Herdabilidade de alta magnitude a variável volume, em *E. benthamii* foi relatada por Costa et al. (2016). Os coeficientes de herdabilidade expressam a proporção das características dos indivíduos que poderão ser transmitidas entre gerações, auxiliando na seleção em nível de indivíduo, com base na média das progênies ou dentro das progênies, para a predição do ganho a ser alcançado por diferentes métodos de seleção, portanto uma importante ferramenta auxiliar para a tomada de decisão dos melhoristas (RAMALHO et al., 2012; SOUZA et al., 2017). Para Tambarussi *et al.* (2010) em programas de melhoramento, é importante compreender as relações entre herdabilidades e suas correlações para a seleção de plantas superiores, além da origem da semente e do sistema reprodutivo da espécie.

Na Tabela 9 são apresentadas as 45 progênies com valores positivos para os efeitos genéticos aditivos, da variável volume individual. Estas mesmas progênies, foram as progênies eleitas para condução da avaliação com o resistógrafo.

Tabela 9 – Ordenamento das progênies de *Eucalyptus benthamii* de acordo com o volume médio individual combinando os três locais do estudo, aos 36 meses de idade.

<b>Progênie</b>	<b>Volume médio individual</b>	<b>Progênie</b>	<b>Volume médio individual</b>
ID_8-3	0,0780	ID_12-3	0,0600
ID_15-3	0,0735	ID_1236	0,0597
ID_6-3	0,0712	ID_4-3	0,0594
ID_23-3	0,0699	ID_910	0,0592
ID_14-3	0,0689	ID_1024	0,0589
ID_1139	0,0683	ID_19-3	0,0587
ID_20-3	0,0678	ID_16-3	0,0585
ID_1-3	0,0672	ID_1311	0,0583
ID_22-3	0,0666	ID_29-3	0,0581
ID_13-3	0,0659	ID_993	0,0579
ID_129-2	0,0653	ID_952	0,0577
ID_1053	0,0648	ID_1234	0,0575
ID_7-3	0,0642	ID_921	0,0573
ID_852	0,0637	ID_1229	0,0571
ID_613	0,0632	ID_982	0,0569
ID_934	0,0628	ID_6-1	0,0567
ID_433	0,0624	ID_903	0,0565
ID_1	0,0620	ID_23-1	0,0563
ID_783	0,0617	ID_437	0,0561
ID_1055	0,0613	ID_131-2	0,0560
ID_30-3	0,0609	ID_786	0,0558
ID_28-3	0,0606	ID_950	0,0556
ID_1140	0,0603		

Fonte: O Autor (2018).

### 3.5 PRODUTIVIDADE, ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE (MHPRVG)

A seleção de progênies (Tabela 10) considerando simultaneamente a produtividade, adaptabilidade e estabilidade foi determinada pelo método da média harmônica da performance relativa dos valores genéticos para volume (VOL), considerando estabilidade (MHVG), adaptabilidade (PRVG) e produtividade, estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (MHPRVG \* MG).

Tabela 10 – Ordenamento da adaptabilidade de valores genéticos (PRVG), estabilidade de valores genéticos (MHVG) e estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (MHPRVG) para o carácter volume médio individual das progênes de *Eucalyptus benthamii* combinando os três locais de estudo, aos 36 meses de idade.

Ordem	Produtividade, Estabilidade e Adaptabilidade		Produtividade e Estabilidade		Produtividade e Adaptabilidade	
	Genótipo	MHPRVG*MG	Genótipo	MHVG	Genótipo	PRVG*MG
1	ID_8-3	0,0670	ID_8-3	0,0607	ID_8-3	0,0681
2	ID_15-3	0,0600	ID_23-3	0,0529	ID_15-3	0,0600
3	ID_23-3	0,0594	ID_6-3	0,0526	ID_23-3	0,0598
4	ID_6-3	0,0594	ID_14-3	0,0524	ID_6-3	0,0596
5	ID_14-3	0,0588	ID_15-3	0,0522	ID_14-3	0,0592
6	ID_1139	0,0580	ID_1139	0,0511	ID_1139	0,0582
7	ID_20-3	0,0576	ID_20-3	0,0502	ID_20-3	0,0577
8	ID_1-3	0,0570	ID_1-3	0,0500	ID_1-3	0,0572
9	ID_22-3	0,0565	ID_22-3	0,0497	ID_22-3	0,0566
10	ID_13-3	0,0543	ID_1053	0,0477	ID_1053	0,0545
11	ID_1053	0,0543	ID_613	0,0468	ID_13-3	0,0545
12	ID_129-2	0,0538	ID_13-3	0,0467	ID_129-2	0,0541
13	ID_613	0,0534	ID_7-3	0,0463	ID_613	0,0535
14	ID_7-3	0,0531	ID_129-2	0,0463	ID_7-3	0,0531
15	ID_934	0,0529	ID_934	0,0460	ID_934	0,0529
16	ID_783	0,0523	ID_783	0,0456	ID_783	0,0524
17	ID_852	0,0523	ID_1055	0,0452	ID_852	0,0523
18	ID_433	0,0519	ID_433	0,0451	ID_433	0,0520
19	ID_1 CLONE	0,0516	ID_852	0,0450	ID_1055	0,0517
20	ID_1055	0,0515	ID_30-3	0,0449	ID_1 CLONE	0,0516
21	ID_30-3	0,0514	ID_4-3	0,0448	ID_30-3	0,0514
22	ID_4-3	0,0509	ID_1024	0,0446	ID_4-3	0,0511
23	ID_1024	0,0508	ID_29-3	0,0444	ID_910	0,0509
24	ID_12-3	0,0508	ID_1 CLONE	0,0444	ID_1024	0,0509
25	ID_28-3	0,0508	ID_910	0,0442	ID_29-3	0,0508
26	ID_910	0,0507	ID_1311	0,0442	ID_12-3	0,0508
27	ID_29-3	0,0507	ID_12-3	0,0442	ID_28-3	0,0508
28	ID_1311	0,0506	ID_28-3	0,0439	ID_1311	0,0506
29	ID_19-3	0,0503	ID_19-3	0,0436	ID_19-3	0,0504
30	ID_16-3	0,0501	ID_1234	0,0434	ID_1236	0,0501
31	ID_1140	0,0499	ID_23-1	0,0434	ID_16-3	0,0501
32	ID_1236	0,0497	ID_16-3	0,0432	ID_1140	0,0500
33	ID_1234	0,0496	ID_1236	0,0431	ID_1234	0,0497
34	ID_952	0,0493	ID_921	0,0428	ID_921	0,0494
35	ID_921	0,0491	ID_1140	0,0428	ID_952	0,0493
36	ID_23-1	0,0491	ID_952	0,0427	ID_23-1	0,0493
37	ID_993	0,0490	ID_903	0,0423	ID_993	0,0490
38	ID_903	0,0486	ID_993	0,0420	ID_903	0,0487
39	ID_1229	0,0484	ID_6-1	0,0417	ID_1229	0,0484
40	ID_6-1	0,0483	ID_1229	0,0416	ID_6-1	0,0484
41	ID_982	0,0482	ID_437	0,0416	ID_982	0,0483
42	ID_437	0,0480	ID_982	0,0415	ID_437	0,0480
43	ID_786	0,0473	ID_786	0,0408	ID_131-2	0,0475
44	ID_131-2	0,0472	ID_136-2	0,0406	ID_786	0,0473
45	ID_950	0,0469	ID_25-3	0,0405	ID_950	0,0469

Fonte: O Autor (2018).

No ordenamento das melhores progênies baseadas na produtividade, adaptabilidade e estabilidade em Mafra (SC), Porto União (SC) e São Mateus do Sul (PR) pelo método MHPRVG, observa-se que a progênie ID\_8-3 apresentou a melhor produtividade, estabilidade e adaptabilidade de acordo com esta seleção, indicando que independentemente do ambiente, essa progênie tem bom desempenho. Comparativamente, para as análises de MHPRVG e PRVG, esse mesmo padrão também foi observado para a maioria das progênies selecionadas (Tabela 9), onde todas as progênies coincidiram e em relação a seleção MHVG somente as duas últimas progênies (ID\_136-2 e ID\_25-3) do ordenamento não coincidiram.

Esse resultado indica a alta magnitude envolvendo o comportamento genotípico para a variável volume individual ao longo dos ambientes e uma correlação positiva, pois o critério de seleção simultânea (com dados de adaptabilidade, estabilidade e produção) é eficaz para selecionar as melhores progênies pelo seu valor genotípico (produção) considerando que as progênies apresentam pequena variação na interação genótipo x ambiente.

Estudos envolvendo análises de adaptabilidade e estabilidade sobre a interação genótipo-ambiente (G x E) são considerados essenciais para programas de melhoramento genético (LAVORANTI, 2002) com *Eucalyptus* por fornecerem avaliação da interação entre diferentes materiais nos diversos ambientes onde foram experimentados (PINTO JUNIOR et al., 2006; SANTOS et al. 2013). Estes critérios consideram a estabilidade do material genético e sua adaptabilidade, ao mesmo tempo em que capitalizam a produtividade de cada genótipo em todos os ambientes avaliados. Para estabelecer populações de melhoramento o método MHPRVG proporciona seleção otimizada, devendo fazer parte dos critérios seletivos de clones de eucalipto (ROSADO et al., 2012).

Como uma estratégia baseada em MHPRVG é superior à seleção baseada apenas na produtividade média de vários ambientes (SANTOS et al., 2016), foram comparados os resultados de MHPRVG e PRVG (Tabela 10) com os resultados da análise conjunta (TABELA 10), resultado corroborado pelo estudo de Pupin et al. (2015) com *E. urophylla*. Houve 100 % de concordância com as 45 progênies listadas na análise conjunta dos três locais de estudo, cujas estimativas de ganhos genéticos foram baseadas na seleção de indivíduos com valores positivos para os efeitos genéticos aditivos do caractere volume, permitindo inferir seleção segura utilizando-

se o método da análise conjunta, com predição de ganhos considerando produtividade, estabilidade e adaptabilidade.

### 3.6 GANHO ESPERADO COM A SELEÇÃO E TAMANHO EFETIVO POPULACIONAL

Prevendo adequada conservação da diversidade genética para *E. benthamii*, e considerando que um  $N_e=50$  é o suficiente (PIRES et al., 2011) e que  $N_e$  entre 30 a 60 é recomendado como teto seletivo (LEONARDECZ-NETO et al., 2003), estimativas foram feitas para obter um  $N_e$  mínimo de 50. Desta forma, na Tabela 11 são apresentadas a seleção por local, seleção para os três locais simultaneamente e seleção considerando os atributos produtividade, estabilidade e adaptabilidade, baseados em ganhos genéticos com a seleção de indivíduos com valores positivos para os efeitos genéticos aditivos para o caractere volume.

Tabela 11 – Comparação entre os métodos de seleção pela análise individual de progênies em São Mateus do Sul (PR), Mafra (SC) e Porto União (SC), seleção pela análise conjunta dos três locais e seleção pelo método MHPRVG para o caráter volume médio individual das progênies de *Eucalyptus benthamii*, aos 36 meses de idade.

Variável	São Mateus do Sul	Mafra	Porto União	Análise conjunta	MHPRVG
$N$	95	89	113	184	90
$N_{fo}$	91	91	91	91	91
$N_f$	35	37	38	45	45
$N_{ef}$	21	22	19	16	45
$\bar{K}_f$	3	2	3	4	2
$\sigma_{kf}^2$	4,97	4,08	9,05	31,13	0
$N_e$	50,4	50,1	50,1	50,1	72,0
$\hat{a}$	0,030	0,028	0,008	0,020	0,020
$G_s(\%)$	42,9	66,2	30,5	42,0	40,0
$\hat{D}$	0,23	0,24	0,21	0,17	0,50
Média VOL (m <sup>3</sup> )	0,0705	0,0424	0,0274	0,0467	0,0467
Nova média (VOL (m <sup>3</sup> ))	0,1007	0,0704	0,0358	0,0674	0,0655

Fonte: O Autor (2018).

Legenda: número de indivíduos selecionados ( $N$ ); número de famílias originais ( $N_{fo}$ ); número de famílias selecionadas ( $N_f$ ); número efetivo de famílias ( $N_{ef}$ ); número médio de indivíduos selecionados por família ( $\bar{K}_f$ ); variância do nº de indivíduos selecionados por família ( $\sigma_{kf}^2$ ); tamanho efetivo ( $N_e$ ); efeito genético aditivo ( $\hat{a}$ ); ganho na seleção ( $G_s(\%)$ ); diversidade genética ( $\hat{D}$ ) e volume individual (VOL (m<sup>3</sup>)).

Estes métodos de seleção, permitiram otimizar os ganhos, pois foi baseada na seleção dos indivíduos com os maiores valores positivos, para os efeitos genéticos

aditivos, do caractere volume. O ganho com a seleção ocorre quando se dá pela seleção dos indivíduos com melhores genótipos, independente da família (AZEVEDO, et al, 2015). Observa-se que o percentual do ganho de seleção ( $G_s(\%)$ ) com todos os métodos propostos é muito elevado, entretanto isso é esperado em populações sem melhoramento.

Em termos do melhoramento, dependendo do que se pretende obter, as seleções propostas (Tabela 12), permitem estabelecer diferentes estratégias para condução do programa de melhoramento, otimizando ganhos com a seleção e mantendo variabilidade para as próximas gerações.

Tabela 12 – Comparação entre os métodos de seleção individual de progênies (SI), seleção entre e dentro de progênies (SED) e seleção massal de progênies (SM) baseada na análise conjunta para o caráter volume médio individual das progênies de *Eucalyptus benthamii* combinando aos três locais de estudo, aos 36 meses de idade.

Variável	Seleção Individual (SI) ( $K_f = \forall k \neq 0$ )	Seleção Entre e Dentro (SED) ( $K_f = 3$ )	Seleção Massal (SM) ( $K_f \leq 3$ )
$N$	81	81	81
$N_{fo}$	91	91	91
$N_f$	26	27	41
$N_{ef}$	11	27	18
$\bar{K}_f$	3	3	2
$\sigma_{kf}^2$	13,87	0	0,72
$N_e$	31	54	61
$\hat{a}$	0,023	0,020	0,021
$G_s(\%)$	48,7	42,4	45,2
$\hat{D}$	0,12	0,30	0,20

Fonte: O Autor (2018).

Legenda: número de indivíduos selecionados ( $N$ ); número de famílias originais ( $N_{fo}$ ); número de famílias selecionadas ( $N_f$ ); número efetivo de famílias ( $N_{ef}$ ); número médio de indivíduos selecionados por família ( $\bar{K}_f$ ); variância do nº de indivíduos selecionados por família ( $\sigma_{kf}^2$ ); tamanho efetivo ( $N_e$ ); efeito genético aditivo ( $\hat{a}$ ); ganho na seleção  $G_s(\%)$ ; diversidade genética ( $\hat{D}$ ).

A implantação de Pomares de Sementes por Mudas (PSM) nas áreas São Mateus do Sul e Mafra conservando os melhores indivíduos ( $N = 95$  e  $89$  respectivamente), de acordo com a análise individual de cada local, permitem alcançar os maiores ganhos com seleção. Com esta estratégia, Mafra poderia ser indicado para utilização das sementes no estabelecimento de plantios comerciais, por apresentar o maior ganho de seleção ( $G_s(\%)$ ), a segunda melhor diversidade genética ( $\hat{D}$ ) e tamanho efetivo ( $N_e$ ) recomendado também para conservação, poderia compor um banco de germoplasma, para a condução de futuros testes de progênies. E São

Mateus do Sul que corresponde ao maior ganho em volume ( $m^3$ ), poderia ser indicado para seleção de clones.

De acordo com o que foi discutido anteriormente, a seleção considerando produtividade, estabilidade e adaptabilidade (MHPRVG) permitiu inferir que a seleção baseada no método da análise conjunta para os três locais de estudo, com predição de ganhos, pode ser utilizada para a composição de uma única população de melhoramento. Assim sendo, ganhos genéticos podem ser capturados com este método, aplicando-se uma intensidade de seleção de 1,5%, considerando os 81 melhores indivíduos (Apêndice 2), mantendo diversidade genética na população base, com condições ideais para a condução de um programa de melhoramento genético. Desta forma, alcançaríamos o objetivo de potencializar os ganhos genéticos, mantendo tamanho efetivo populacional adequado para as seleções futuras, minimizando o risco de endogamia e restrição da base genética.

Entre os métodos de seleção de progênes, propostos para a seleção conjunta, foram observadas diferenças entre a seleção individual (SI), seleção entre e dentro (SED) e seleção massal (SM) (Tabela 12).

Os maiores percentuais de ganhos genéticos com a seleção de progênes ( $G_s(\%)$ ) podem ser obtidos na seleção SI (48,7%), seguida da SM (45,2%) e pela SED (42,4%). Avaliando progênes de *E. urophylla*, Rosado et al. (2009), relataram maiores ganhos para a SI quando comparado a SED concordando com os resultados deste estudo. Avaliando progênes de *E. benthamii*, Costa et al. (2016) obtiveram maiores ganhos para SM e menores ganhos para SI, quando comparado a este estudo. Realizando seleções para progênes híbridas *E. grandis* x *E. urophylla*, Freitas et al. (2009) não obtiveram diferenças significativas entre os métodos de seleção.

A diminuição da variabilidade genética, é outro fator importante a ser considerado na seleção genética, pois é ela que permite a manutenção dos ganhos genéticos ao longo das gerações de melhoramento. Neste sentido, SM que foi o método onde o tamanho efetivo populacional ( $N_e$ ) foi maior (60,65) e também foi maior o número de progênes selecionadas ( $N_f$ ). A SI resultou nos menores valores de  $N_e$  e  $N_f$ , pois em algumas progênes muitos indivíduos foram selecionados e outras progênes poucos ou nenhum. Para a diversidade genética ( $\hat{D}$ ), SED apresentou o maior valor (0,297) portanto conservando aproximadamente 30% da diversidade genética inicial existente no estudo. O método SM apresentou valor intermediário

(0,195) e SI o menor valor (0,120), similar ao observado por Souza et al. (2017) em *P. caribaea* var. *hondurensis*. Entretanto, a  $\hat{D}$  observada para SI neste estudo foi muito abaixo dos valores relatados por Costa et al. (2016) em seu estudo com progênies de *E. benthamii*.

De acordo com este estudo, a seleção pelo método SED pode ser considerada a mais eficiente como estratégia de melhoramento, pois oferece a maior diversidade genética ( $\hat{D}=0,297$ ) e maior número efetivo de famílias ( $N_{ef}=27$ ), com 27% das progênies testadas ( $N_f=27$ ), com relevante tamanho efetivo populacional ( $N_e= 54$ ), embora o ganho com a seleção ( $G_s= 42,4\%$ ) não seja o mais alto. A SED neste estudo, prioriza os critérios relevantes para a continuidade e manutenção de um programa de melhoramento, em detrimento da produtividade. Aumentar a produtividade é o objetivo dos programas de melhoramento, mantendo variabilidade genética que suporte ganhos continuados ao longo de ciclos reprodutivos (SOUZA et al., 2017).

Na seleção entre e dentro, a seleção é feita inicialmente considerando as melhores famílias e depois o melhor indivíduo da família, o que resulta por vezes, na eliminação de um bom genótipo (pela exclusão da família ou por não ter sido a melhor árvore da família), ou na seleção de um genótipo de menor valor, porém selecionado pelo elevado valor da família ou a não seleção de um indivíduo com elevado valor, devido média da família ser de menor valor (AZEVEDO et al., 2015).

Entre as progênies selecionadas, houve coincidência de 89%, 77% e 58% para SED, SI e SM, respectivamente e entre SI e SM a coincidência de progênies foi de 100%, corroborando com o resultado discutido anteriormente de que uma única população de melhoramento pode ser conduzida para esta população.

A seleção individual (SI) permitiu também propor duas tabelas de ordenamento de indivíduos selecionados, uma para propagação sexuada e outra para propagação assexuada (Apêndices 3 e 4, respectivamente). Para as estratégias de melhoramento via sexuada (sementes) foram utilizados valores de efeitos aditivos ( $a$ ) e genéticos aditivos preditos ( $\mu + a$ ) e para o melhoramento via assexuada (sementes) foram utilizados valores genotípicos ( $g$ ) e genotípicos preditos ( $\mu + g$ ) (RESENDE, 2002). De posse destas informações o melhorista pode escolher a melhor linha para continuação do programa de melhoramento, reprodução sexuada ou assexuada, a partir do ordenamento de indivíduos superiores para o caráter volume

médio, sendo a sexuada, uma estratégia para o estabelecimento de um pomar clonal (PCS) para propagação sexuada, por meio de sementes. E a assexuada, para seguir com a confirmação fenotípica em campo, das cinco ou 10 melhores árvores para propagação vegetativa.

### 3.7 RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO COM RESISTÓGRAFO

Na Tabela 13 são apresentadas as estimativas dos parâmetros genéticos da resistência à penetração com o Resistógrafo, das 45 progênies amostradas. As leituras foram obtidas em 30 árvores de cada das progênies, escolhidas ao acaso entre as dominantes e codominantes nos três locais, totalizando 1.350 amostras.

Tabela 13 – Estimativas dos parâmetros genéticos para resistência à penetração com o uso de Resistógrafo em progênies de *Eucalyptus benthamii*, aos 36 meses de idade, na avaliação conjunta das localidades Mafra e Porto União no estado de Santa Catarina e São Mateus do Sul no estado do Paraná, Brasil.

Parâmetros Genéticos						
$(\hat{h}_a^2)$	$(\hat{h}_{mp}^2)$	$(\hat{C}_p^2)$	$(\hat{C}_{int}^2)$	$(\hat{r}_{aa})$	$(\hat{r}_{gloc})$	Penetração Média
0,51	0,85	0,040	0,015	0,92	0,89	2.588

Fonte: O Autor (2018).

Legenda: Estimativas de herdabilidade individual no sentido restrito ( $\hat{h}_a^2$ ), herdabilidade da média de progênies ( $\hat{h}_{mp}^2$ ), coeficiente de determinação dos efeitos de parcela ( $\hat{C}_p^2$ ), coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x ambiente ( $\hat{C}_{int}^2$ ), acurácia da seleção de progênies, assumindo sobrevivência completa ( $\hat{r}_{aa}$ ), correlação genotípica entre o desempenho das progênies nos vários ambientes ( $\hat{r}_{gloc}$ ).

O baixo coeficiente de determinação dos efeitos de parcela ( $\hat{C}_p^2$ ) indica pouca influência do ambiente na experimentação e a correlação genotípica entre o desempenho das progênies nos vários ambientes ( $\hat{r}_{gloc}$ ) indica a possibilidade de uma única seleção, com ganho para todos os locais.

As herdabilidades da média das progênies ( $\hat{h}_{mp}^2$ ) e no sentido restrito ( $\hat{h}_a^2$ ) apresentaram alta magnitude o que proporciona boa probabilidade de sucesso na seleção de genótipos e famílias superiores, indicando que seleção resultará em ganhos para o caráter analisado, resultado similar ao relatado por Soares et al. (2017) estudando progênies de *E. saligna* em três locais de Santa Catarina. Da mesma forma a acurácia seletiva ( $\hat{r}_{aa}$ ) confirma precisão ao estudo. Os resultados permitem a seleção indireta de progênies, por meio de uma avaliação não destrutiva de densidade

da madeira, uma vez que pesquisas sobre a interação G x E para seleção de genótipos superiores tem se baseado apenas em critérios relacionados ao crescimento das árvores (SILVA, 2008). Estudos de densidade básica da madeira de *Eucalyptus* utilizando o resistógrafo indicaram boa correlação entre os valores de amplitude e de densidade básica (LIMA et al., 2007; GOUVÊA et al., 2011).

Na Tabela 14 são apresentados os ordenamentos das progênies de *E. benthamii* que acusaram possibilidade de ganho genético pelos efeitos aditivos, resultantes da análise da resistência à penetração com o Resistógrafo, considerando-se que quanto maior a amplitude obtida com a leitura do resistógrafo, maior a densidade básica. Observa-se que das 45 progênies analisadas somente 21 indicam ganhos com a seleção para este caráter, ou seja 46,7%.

Tabela 14 – Ordenamento das progênies de *Eucalyptus benthamii* de acordo com a resistência à penetração com o Resistógrafo, combinando os três locais do estudo, aos 36 meses de idade.

Ordem	Progênie	Ordem	Progênie
1	ID_1 CLONE	12	ID_903
2	ID_993	13	ID_950
3	ID_1024	14	ID_23-3
4	ID_921	15	ID_1055
5	ID_952	16	ID_1229
6	ID_1139	17	ID_23-1
7	ID_15-3	18	ID_786
8	ID_6-3	19	ID_1-3
9	ID_1234	20	ID_934
10	ID_13-3	21	ID_852
11	ID_12-3	-	-

Fonte: O Autor (20018).

Esta metodologia mostrou-se eficiente para seleção de progênies pela avaliação indireta da densidade básica. Comparando-se as progênies selecionadas pelo método do resistógrafo com a SED, encontra-se 47% de similaridade, indicando que este método pode ser utilizado com uma alternativa para seleção para indireta para densidade básica, dentro de uma população previamente selecionada para outro caractere.

## 4 CONCLUSÕES

O presente estudo permitiu as seguintes conclusões:

- As procedências da espécie *E. benthamii*, estudadas confirmaram a tolerância a geada nas áreas avaliadas na região do Sul do Brasil, indicando o seu potencial de uso para reflorestamento;
- As estimativas dos parâmetros genéticos revelaram que existe variabilidade genética entre as progênies e potencial seletivo entre os genótipos de *E. benthamii* estudados, para composição de população de melhoramento, com a finalidade de integrar programas de melhoramento;
- A seleção precoce a partir dos 36 meses, pode ser utilizada em progênies de *E. benthamii*, por proporcionarem ganhos genéticos preditos de boa magnitude;
- A interação genótipo-ambiente é do tipo simples, indicando que São Mateus do Sul pode ser o local escolhido para condução de um Pomar de Sementes de Mudanças, cujo objetivo é a seleção de genótipos para atender os demais locais. Observou-se ainda, pequena alteração no ordenamento das melhores progênies pelo critério de simultaneidade para produtividade, estabilidade e adaptabilidade;
- É recomendado proceder a análise conjunta dos locais ao invés de análise individual ou média harmônica da performance em produtividade, estabilidade e adaptabilidade como método de seleção para estudos de melhoramento genético de *E. benthamii*.
- O método de seleção entre e dentro (SED) de progênies foi mais adequado como estratégia de melhoramento;
- A avaliação indireta da densidade básica com Resistógrafo, pode ser utilizado com um método alternativo para seleção desta característica, dentro de uma população previamente selecionada.

## 5 RECOMENDAÇÕES FINAIS

O melhoramento genético florestal busca aumentar a frequência de alelos desejáveis na população em estudo, por meio de hibridação e seleção, conservando a variabilidade genética da população, de tal maneira que o progresso do programa seja contínuo. Neste contexto, a condução de um programa de melhoramento para *E. benthamii* se confirmou promissor, entretanto conduzir um estudo genômico desta população, se faz necessário pois para esta espécie é esperada baixa variabilidade genética quando em comparação com outras espécies de *Eucalyptus*.

Tal baixa variabilidade genética, se deve em parte a existência de pequenas populações naturais remanescentes na Austrália, as quais representam o material introduzido no Brasil. Pela sua ocorrência em apenas alguns locais isolados, em pequenas populações e portanto de característica restrita em termos de tamanho efetivo populacional, o que resulta em menor variabilidade. Ao ser introduzida no Brasil, a espécie passou por fortes gargalos genéticos, supostamente durante a coleta de sementes na origem, pela seleção de poucos indivíduos, que envolveu efeitos de amostragem e conseqüentemente deriva genética.

Desta forma, a condução de um estudo de genotipagem desta população, com marcadores microssatélites para detecção de variação genética deve ser implementado, com vistas a acessar a variabilidade da população, para as características estudadas afim de confirmar as estimativas de variabilidade e a identificação de indivíduos geneticamente diferentes para formar populações base.

O método de seleção com uso do resistógrafo, apresentou-se como potencial ferramenta para a avaliação precoce não destrutiva, de densidade básica, em programa de melhoramento genético da espécie, exigindo entretanto, validação mais precisa das capacidades preditivas na seleção combinada de indivíduos.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. N.; ANGELO, A. C. Crescimento Inicial de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage e *Eucalyptus dunnii* Maiden. Em General Carneiro – PR. UFPR. Disponível em: <<http://educapes.capes.gov.br/handle/1884/45502>>. Acesso em: 19 maio 2017.
- ARNOLD, R. J.; JOHNSON, I. G.; OWEN, J. V. Genetic variation in growth, stem straightness and wood properties in *Eucalyptus dunnii* trials in Northern New South Wales. **Forest Genetics** **11**: 1-12. 2004.
- AZEVEDO, L. P. A.; COSTA, R. B.; MARTINEZ, D. T.; TSUKAMOTO FILHO, A. A.; BRONDANI, G. E.; BARETTA, M. C.; AJALA, W. V. Seleção genética em progênies de *Eucalyptus camaldulensis* em área de cerrado matogrossense. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 11, p. 2001-2006, 2015.
- BACCARIN, F. J. B.; BRONDANI, G. E.; DE ALMEIDA, L. V.; VIEIRA, I. G.; DE OLIVEIRA, L. S.; ALMEIDA, M. Vegetative rescue and cloning of *Eucalyptus benthamii* selected adult trees. **New Forests**, v. 46, n. 4, p. 465-483, 2015.
- BATES, D.; MAECHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. Fitting Linear MixedEffects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, v. 67(1), p. 1-48, 2015.
- BRAGA, H. J.; GHELLERE, R. Proposta de diferenciação climática para o Estado de Santa Catarina. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 11 e Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, 2. Florianópolis, SC. **Anais ...**, Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia SBA, 1999. CD-ROM.
- BURGESS, I.P., WILLIAMS, E.R., BELL, J.C., HARWOOD, C.E. & OWEN, J.V. The effect of outcrossing rate on the growth of selected families of *Eucalyptus grandis*. **Silvae Genet.** 45: 97-100, 1996.
- COSTA, R. M. L. da. **Variabilidade genética e seleção de progênies de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas. Botucatu. 75 p. 2014.
- COSTA, R. M. L. da; ESTOPA, R. A; BIERNASKI, F. A.; MORI, E. S. Predição de ganhos genéticos em progênies de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage por diferentes métodos de seleção. **Scientia Forestalis**, Piraicicaba, v. 44, n. 109, p. 105-113, 2016.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v. 2, Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2003.
- DIAS, D. Da C.; COLODETTE, J. L., THIERSCH, C. R.; LEITE, H. G.; GOMIDE, J. L. Uso da técnica de resistografia e de variáveis dendrométricas na modelagem da densidade básica de povoamentos clonais de *Eucalyptus*. **Ciências Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 609-619. 2017.

ELDRIDGE, K.G, DAVIDSON, J., HARWOOD, C.E., & VAN WYK, G. ***Eucalypt Domestication and Breeding***. Oxford: Clarendon Press, 1993.

ETTORI, L.C.; SIQUEIRA, A.C.M.F.; NOGUEIRA, J.C.B.; FERREIRA, A.B.; ZANATTO, A.C.S. Conservação ex situ dos recursos genéticos de ipê amarelo (*Tabebuia vellosi* Tol.) através de teste de procedências e progênes. **Revista do Instituto Florestal**, v.7, n.2, p.157-168, 1995.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 1987. 279 p.  
FERREIRA, M.; ARAÚJO, A. J. Procedimentos e recomendações para teste de procedência. **Documentos URPFC**, n. 6. Curitiba: EMBRAPA, 1981.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM, CEPEFFATEC, 1992.

FLORES, T. B.; ALVARES, C. A.; SOUZA, V. C.; STAPE, J. L. ***Eucalyptus no Brasil: zoneamento climático e guia para identificação***. Piracicaba: IPEF, 2016. 448p.

FONSECA, S. M. D. F.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. DA S.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético de eucalipto**. Viçosa: Ed. UFV, 2010. 200 p.

FREITAS, R. G.; VASCONCELOS, E. S.; CRUZ, C. D.; ROSADO, A. M.; ROCHA, R. B.; TAKAMI, L. K. Predição de ganhos genéticos em progênes de polinização aberta de *Eucalyptus urograndis* cultivadas em diferentes ambientes e submetidas a diferentes procedimentos de seleção. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 2, 25–263, 2009.

GANTZ, C. H. **Evaluating the efficiency of the Resistograph® to estimate genetic parameters for wood density in two softwood and two hardwood species**. **Raleigh**: Universidade Carolina do Norte. Raleigh. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais. 88 p. 2002.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. da S.; TOMAZELLO FILHO, M.; REZENDE, G. D. S. P. Estimativa da densidade básica da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* por método não destrutivo. **Cerne**, Lavras, v. 13, p. 119-128, 2007.

GOUVÊA; A. F. G.; TRUGILHO; P. F.; GOMIDE; J. L.; SILVA; J. R. M.; ANDRADE; C. R.; ALVES; I. C. N. Determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* por diferentes métodos não destrutivos. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 35, n. 2, p.349-358. 2011.

HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. A.; GONÇALVES, A. N. **Propagação vegetativa de *Eucalyptus***: princípios básicos e sua evolução no Brasil. Piracicaba: IPEF/ESALQ/USP, 2000. 10p. (Circular Técnica, 192).

HOULE, D. Comparing evolvability and variability of quantitative traits. **Genetics**, Austin, v.130, n.1, p.195-204, 1992.

ISIK, F.; LI, B. L. Rapid assessment of wood density of live trees using the Resistograph for selection in tree improvement programs. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.33, n.12, p. 2426-2435. 2003.

KAGEYAMA, P. Y.; VENCOVSKY, R. Variação genética em progênes de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden, IPEF, Piracicaba, v. 24, p. 9-26, 1983.

KONZEN, E. R.; NAVROSKI, M. C.; PEREIRA, M. De O.; NASCIMENTO, B.; MENEGUZZI, A.; DE SOUZA, P. F. Genetic variance components for growth variables of *Eucalyptus benthamii* and *E. smithii* provenances cultivated in Southern Brazil. **Cerne**, Lavras, v. 23, n. 3, p. 359-366. 2017.

LARCHER, W.; BAUER, H. Ecological of resistance to low temperature. In: Encyclopedia of plant physiology. **Physiological Plant Ecology**: I. Responses to the physical environment. Berlin: Springer-Verlag. 1981.

LAVORANTI, O. J.; DIAS, C. T. S.; VENCOVSKY, R. Estudo da adaptabilidade e estabilidade fenotípica de progênes de *Eucalyptus grandis* via metodologia AMMI. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.44, p.107-124, 2002.

LEONARDECZ-NETO, E.; VENCOVSKY, R.; SEBBENN, A. M. Ajuste para a competição entre plantas em teste de progênes e procedências de essências florestais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 136-149, 2003.

LIMA, J. T.; SARTÓRIO, R. C.; TRUGILHO, P. F.; CRUZ, C. R. da.; VIEIRA, R. da S. Uso do Resistógrafo® para estimar a densidade básica e a resistência à penetração da madeira de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 75, p. 85-93, 2007.

MACEDO, H. R.; FREITAS, M. L. M.; DE MORAES, M. L. T.; ZANATA, M.; SEBBENN, A. M. Variação, herdabilidade e ganhos genéticos em progênes de *Eucalyptus tereticornis* aos 25 anos de idade em Batatais-SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 533-540, 2013.

MANTILLA, E. V.; PEREIRA, N. C., S.; ALVES, R. C. Estimativa da densidade aparente, resistência à compressão e módulo de elasticidade da madeira por meio do resistógrafo. **Construindo**, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 45-51, 2013.

MARTINS, I. S.; CRUZ, C. D., ROCHA, M. G. B.; REGAZZI, A. J., PIRES, I. E. Comparação entre os processos de seleção entre e dentro e o de seleção combinada, em progênes de *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 16-24, 2005.

MIRANDA, A. C.; MORAES, M. L. T. de; SILVA, P. H. M. da; SEBBENN, A. M. Ganhos genéticos na seleção pelo método do índice multi-efeitos em progênes polinização livre de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, v.43, p.203-209. 2015.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JR, V. P. DA; MASSIGNAM, A. M., PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VALCI, F.V. **Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-Rom.

PEREIRA, M. B.; VENCOVSKY, R. Limites da seleção recorrente. I. Fatores que afetam o acréscimo das frequências alélicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, n.7, p.769-780, 1988.

PINTO JÚNIOR, J. E.; STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V.; RONZELLI JÚNIOR, P. Avaliação simultânea de produtividade, adaptabilidade e estabilidade genotípica de *Eucalyptus grandis* em distintos ambientes do estado de São Paulo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.53, p.79-108, 2006.

PIRES, I. E.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, R. L.; RESESENDE JUNIOR, M. F. R. **Genética Florestal**. Viçosa: Arka, 2011.

PUPIN, S.; ARAÚJO, A. V.; ZARUMA, D. U. G.; MIRANDA, A. C.; SILVA, P. H. M.; MARINO, C. L.; SEBBENN, A. M.; MORAES, M. L. T. Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla* ST Blake. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 127-134, 2015.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da Genética Quantitativa no Melhoramento de Plantas Autógamas**. Lavras: Ed. UFLA, 2012. 522 p.

REIS, E. F.; REIS, M. S.; CRUZ, C. D.; SEDIYAMA, T. Comparação de procedimentos de seleção para produção de grãos em populações de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 685-692, 2004.

RESENDE, M. D. V. **Genética Biométrica e Estatística no Melhoramento de Plantas Perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 975 p.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 562 p.

RODRIGUES, E. A. C.; ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F.; SANTOS, A. M. Seleção de clones de *Eucalyptus* para as propriedades físicas da madeira avaliadas em árvores no campo. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 2, p. 147-152, mar./abr. 2008.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; RESENDE JÚNIOR, M.; BHERING, L. L.; CRUZ, C. D. Ganhos genéticos preditos por diferentes métodos de seleção em progênies de *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1653-1659, 2009.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 47, n. 7, 2012.

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 caribaea* var. *hondurensis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 11, p. 2243-2253, 2000.

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**, v. 37, n. 5, p. 625-636, 2002.

SANTOS, C. E. M., PISSIONI, L. L. M., MORGADO, M. A. D., CRUZ, C. D., BRUCKNER, C. H. et al. Estratégias de seleção em progênies de maracujazeiro amarelo quanto ao vigor e incidência de verrugose. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal. v. 30, n. 2. p. 444-449. 2008.

SANTOS, G. A.; CABEL, S. R.; ASSIS, T. F.; FIER, I. S. N.; MENDES, C. J.; PUCCI, J. A. L. Estratégia de Melhoramento de *Eucalyptus benthamii* para o sul do Brasil. In: SILVA, L. D.; HIGA, A. R.; SANTOS, G. A. (Coord.) **Silvicultura e Melhoramento Genético de *Eucalyptus benthamii***. Curitiba: FUPEF. p. 21-37. 2012.

SANTOS, G. A.; NUNES, A. C. P.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, L. D.; HIGA, A.; ASSIS, T. F. Genetic control and genotype-by-environment interaction of wood weight in *Eucalyptus* clones in the state of Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Árvore**, v. 40, n. 5, p. 867-876, 2016.

SANTOS, G. A.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, L. D.; HIGA, A.; ASSIS, T. F. Adaptabilidade de híbridos multiespécies de *Eucalyptus* ao Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, v.37, n.4, p.759-769, 2013.

SEBBENN, A. M.; FREITAS, M. L. M.; ZANATTO, M. C. S.; MORAIS, E.; MORAES, M. A. Comportamento da variação genética entre e dentro de procedências e progênies de *Galesia integrifolia* Vell. Moq. para caracteres quantitativos. **Revista do Instituto Florestal**, v. 21, n.2, p.151-63, 2009.

SILVA, L. D. **Melhoramento genético de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage visando a produção de madeira serrada em áreas de ocorrência de geadas severas**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008. 275p.

SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.1, p.23-30, jan. 2006.

SILVA, P. H. M.; CAMPOE, O. C.; PAULA, R. C. de; LEE, D. J. Seedling growth and physiological responses of sixteen eucalypt taxa under controlled water regime. **Forests**, v.7, art.110. 2016.

SOARES, I. D.; HIGA, A. R.; FLORES JUNIOR, P. C.; ENGEL, M. L.; ANDREJOW, G. P. A. Estratégias de seleção de progênies de *Eucalyptus saligna* para produção de sementes melhoradas. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 114, p. 319-326, 2017.

SOUZA, T. da S.; SANTOS, W. dos; DENIZ, L. D.; ALVES, A. P. de O.; SHIMIZU, J. Y.; SOUSA, V. A. de; AGUIAR, A. V. de. Variação genética em caracteres quantitativos em *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 113, p. 177-185. 2017.

SOUZA, C. S.; FREITAS, M. L. M.; DE MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Estimativas de parâmetros genéticos para caracteres quantitativos em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla*. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n.4, p. 847-856, 2011.

SPURR, S. H. **Forest inventory**. New York: The Ronald Press, 1952. 476p.

TAMBARUSSI, E. V.; SEBBENN, A. M.; MORAES, M. L. T. DE; ZIMBACK, L.; PALOMINO, E. C.; MORI, E. S. Estimative of genetic parameters in progeny test of *Pinus Caribaea* Morelet var. *Hondurensis* Barret & Golfari by quantitative traits and microsatellite markers. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p.39-47, 2010. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/brag/v69n1/06.pdf>>. Acesso em: 21 junho. 2018.

TAMBARUSSI, E. V.; PEREIRA, F. B.; DA SILVA, P. H. M.; LI, D.; BUSH, D. Are tree breeders properly predicting genetic gain? A case study involving *Corymbia* species. **Euphytica**, 214:150. 11 p. 2018.

TORGGLER, M.G.F. **Varição genética entre progênies dentro de procedências de *Eucalyptus saligna* Smith**. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba.198p.1987.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 416 p.

ZOBEL, B. J.; TALBERT, J. **Applied Forest Tree Improvement**. New York: John Wiley. 1984. 55 p.

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

## REFERÊNCIAS GERAIS

- ABRAF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Anuário Estatístico da ABRAF 2013: ano base 2012. Brasília: ABRAF. 2013. Disponível em: <[www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-abraf13-br.pdf](http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-abraf13-br.pdf)>. Acesso em: 19 mai 2017.
- ALFENAS, A.C.; ZAUZA, E.A.V.; MAFIA, R.G.; ASSIS, T.F. de. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2ª ed. Viçosa: UFV, 2009. 500p.
- ALLARD, R.W.; BRADSHAW, A.D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 4, n. 5, p. 503-508, 1964.
- ALMEIDA, F.D. de; XAVIER, A.; DIAS, J.M.M. Propagação vegetativa de árvores selecionadas de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. por estaquia. **Revista Árvore**, v.31, p.445-453, 2007.
- ALVES, I. C. N.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; SILVA, H. D. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose Kraft. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 1, p. 167-174, 2011.
- ALVES, R. M.; ARTERO, A. S.; SEBBENN, A. M.; FIGUEIRA, A. Mating system in a natural population of *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum., by microsatellite markers. **Genetics and Molecular Biology**. Ribeirão Preto. v. 26, n. 3, p. 373-379, 2003.
- ANDRADE, H. B. **Avaliação de espécies e progênies de *Eucalyptus L'Heritier (Myrtaceae)* nas regiões norte e noroeste do Estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 105 p. 1991.
- ANDRADE, L. A. Classificação ecológica do território brasileiro situado a leste do meridiano de 44° oeste e ao norte do paralelo de 16° sul: uma abordagem climática. Tese. (Doutorado em Ciência Florestal). Programa de Pós Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 147 p. 1998.
- ANDRADE, R. N.; ANGELO, A. C. Crescimento Inicial de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage e *Eucalyptus dunnii* Maiden. Em General Carneiro – PR. UFPR. Disponível em: <<http://educapes.capes.gov.br/handle/1884/45502>>. Acesso em: 19 maio 2017.
- ANGELI, A. Indicações para escolha de espécies de *Eucalyptus*. **IPEF**. 2005. Disponível em: <[www.ipef.br/identificacao/eucalyptus/indicacoes.asp](http://www.ipef.br/identificacao/eucalyptus/indicacoes.asp)>. Acesso em: 22 maio 2018.
- ARAÚJO, M. S. **Avaliação de espécies e procedências de eucalipto na região de Imbuzeiro, PB**. 1993. 75 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1993.

ARNOLD, R. J.; JOHNSON, I. G.; OWEN, J. V. Genetic variation in growth, stem straightness and wood properties in *Eucalyptus dunnii* trials in Northern New South Wales. **Forest Genetics** **11**: 1-12. 2004.

ARNOLD, R.; LI, B.; LUO, J.; BAI, F.; BAKER, T. Selection of cold-tolerant *Eucalyptus* species and provenances for inland frost-susceptible, humid subtropical regions of southern China. **Australian Forestry**, 78:3, p. 180-193. 2015.  
 ASSIS, T. F. Melhoria genética do eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 189, p. 32-51, 1996.

ASSIS, T. F.; **Melhoramento Genético do Eucalipto**. Disponível em: <foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2014.%20melhoramento%20eucalipto.doc>. Acesso em: 25 de abril de 2018.

ASSIS, T.; Abad, J.; Aguiar, A. **Melhoramento Genético do Eucalipto**. 2015. p. 217 - 244.

ATLAS OF LIVING AUSTRALIA. Disponível em: <www.bie.ala.org.au/species/>. Acesso em: 18 maio 2018.

AUSTRALIAN GOVERNMENT. Department of the Environment and Energy. *Eucalyptus macarthurii*. Disponível em: <www.environment.gov.au/biodiversity/threatened/species/pubs/7827-conservation-advice-05052016.pdf>. Acesso em: 17 junho 2018.

AZEVEDO, L. P. A.; COSTA, R. B.; MARTINEZ, D. T.; TSUKAMOTO FILHO, A. A.; BRONDANI, G. E.; BARETTA, M. C.; AJALA, W. V. Seleção genética em progênies de *Eucalyptus camaldulensis* em área de cerrado matogrossense. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 11, p. 2001-2006, 2015.

BACCARIN, F. J. B.; BRONDANI, G. E.; DE ALMEIDA, L. V.; VIEIRA, I. G.; DE OLIVEIRA, L. S.; ALMEIDA, M. Vegetative rescue and cloning of *Eucalyptus benthamii* selected adult trees. **New Forests**, v. 46, n. 4, p. 465-483, 2015.

BALDIN, T.; MARCHIORI, J. N. C.; TALGATTI, M. Anatomia da madeira de *Eucalyptus Benthamii* Maiden & Cambage, espécie promissora para o setor de celulose no sul do Brasil. **BALDUINIA**, n. 59, p.10-18, Santa Maria, RS. 2017.

BARROS, N. F. DE; NOVAIS, R. F. de. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa. 1990. 330 p.

BASTOS, I. T. et al. Avaliação da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 4, p. 195-203, out./dez. 2007.

BATES, D.; MAECHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. Fitting Linear Mixed Effects Models Using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67(1), p. 1-48, 2015.

BELTRAME, R.; BISOGNIN, D.A.; MATTOS, B.D.; CARGNELUTTI FILHO, A.; HASELEIN, C.R.; GATTO, D.A.; SANTOS, G.A. Desempenho silvicultural e seleção

precoce de clones de híbridos de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 6, p. 791-796, 2012.

BENIN, C. C. **Efeito do espaçamento na produção, variáveis dendrométricas e propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii***. 2014. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Estadual do Centro Oeste. Irati. 2014.

BENSON, D. H. Aspects of the ecology of a rare tree species, *Eucalyptus benthamii*, at Bents Basin, Wallacia. **Cuninghamia**, v.1, n.3, p.371-383, 1985.

BERTI, C. L. F. **Variação genética, herdabilidades e ganhos na seleção para caracteres de crescimento e forma, em teste de progênies de polinização aberta de *Eucalyptus cloeziana*, aos 24 anos de idade em Luiz Antônio-SP**. 69 p. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. 2010. Disponível em: <[www.hdl.handle.net/11449/98770](http://www.hdl.handle.net/11449/98770)>. Acesso em: 18 maio 2018.

BERTOLUCCI, F. de L. G.; REZENDE, G. D.S. P.; PENCHEL, R. Produção e utilização de híbridos de eucalipto. **Silvicultura**, São Paulo, v. 13, n. 51, p. 12-16, set/out. 1993.

BORÉM A.; MIRANDA G. V. **Melhoramento de plantas**. 4º ed., Viçosa: UFV, 2005, 525 p.

BRAGA, H. J.; GHELLERE, R. Proposta de diferenciação climática para o Estado de Santa Catarina. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 11 e Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, 2. Florianópolis, SC. **ANAIS ...**, Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia SBA, 1999. CD-ROM.

BRONDANI, G. E. Miniestaquia e micropropagação de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage X *Eucalyptus dunnii* Maiden. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

BURGESS, I.P., WILLIAMS, E.R., BELL, J.C., HARWOOD, C.E. & OWEN, J.V. The effect of outcrossing rate on the growth of selected families of *Eucalyptus grandis*. **Silvae Genet.** 45: 97-100, 1996.

BURGOS, J. J. **Las heladas em la Argentina**. Colección Científica del Inta. 1963. 389 p.

BUTCHER, P. A.; SKINNER, A. K.; GARDINER, C. A. Increased inbreeding and inter-species gene flow in remnant populations of the rare *Eucalyptus benthamii*. **Conservation Genetics**, v.6, p.213–226, 2005.

CARAMORI, P.H.; MANETTI FILHO, J.; MORAIS, H.; LEAL, A.C. **Geada – Técnicas para proteção dos cafezais**. Londrina, IAPAR, 2000. 35 p. (IAPAR, Circular, 112).

CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; RESENDE, M. D.; DIAS, L. A. S.; BERALDO, A. L. A.; PERINA, E. F. Estabilidade de cultivares e linhagens de feijoeiro

em diferentes ambientes no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, p.193-201, 2007.

CARVALHO, D.S. **Comportamento genético de progênes de meios irmãos de pinhão manso no recôncavo baiano, Brasil**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas, 41 p. 2010.

COSTA, J. G. et al., Adaptabilidade e estabilidade de produção de cultivares de milho recomendadas para o Estado do Acre. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 23, n. 1, p.7-11, 1999.

COSTA, R. M. L. da. **Variabilidade genética e seleção de progênes de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu. 75 p. 2014.

COSTA, R. M. L. da; ESTOPA, R. A; BIERNASKI, F. A.; MORI, E. S. Predição de ganhos genéticos em progênes de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage por diferentes métodos de seleção. **Scientia Forestalis**, Piraicicaba, v. 44, n. 109, p. 105-113, 2016.

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

COUTINHO, R. T. **Viabilidade da seleção precoce e efeito da interação genótipo-ambiente no melhoramento de *Pinus taeda* L.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Paraná, 2015.

CRUZ, C. D. **Princípios de genética quantitativa**. Viçosa, MG: UFV, 2005. 394p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v. 2, Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2003.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2004. 480 p.

DEL QUIQUI. M. E.; MARTINS, S. S.; SHIMIZU. Y. J. Avaliação de espécies e procedências de *Eucalyptus* para o Noroeste do estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 23, n. 5, p. 1173-1177, 2001.

DIAS, D. Da C.; COLODETTE, J. L., THIERSCH, C. R.; LEITE, H. G.; GOMIDE, J. L. Uso da técnica de resistografia e de variáveis dendrométricas na modelagem da densidade básica de povoamentos clonais de *Eucalyptus*. **Ciências Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 609-619. 2017.

ELDRIDGE, K.G, DAVIDSON, J., HARWOOD, C.E., & VAN WYK, G. ***Eucalypt Domestication and Breeding***. Oxford: Clarendon Press, 1993.

ELOY, E.; CARON, B.O.; TREVISAN, R.; ELLI, E.F.; MONTEIRO, G.C. Ocorrência de geada nas espécies florestais *Acacia mearnsii* e *Eucalyptus grandis* na região norte do Rio Grande do Sul. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.16, p.1626-1633, 2013.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (Colombo, PR). **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina**. Curitiba, 1988. 113p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 21).

ETTORI, L.C.; SIQUEIRA, A.C.M.F.; NOGUEIRA, J.C.B.; FERREIRA, A.B.; ZANATTO, A.C.S. Conservação ex situ dos recusos genéticos de ipê amarelo (*Tabebuia vellosii* Tol.) através de teste de procedências e progênies. **Revista do Instituto Florestal**, v.7, n.2, p.157-168, 1995.

EWÉDJE, E. B. K.; AHANCHÉDÉ, A.; HARDY, O. J. Breeding system, gene dispersal and small-scale spatial genetic structure of threatened food tree species, *Pentadesma butyraceae* (Clusiaceae) in Benin. **Conservation Genetics**, Dordrecht, v. 18, n. 4, p. 799-811, 2017.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 1987. 279 p.

FERNÁNDEZ LONG, M. E.; BARNATÁN, I.; SPESCHA, L.; HURTADO, R.; MURPHY, G. Caracterización de las heladas em la región pampeana y su variabilidad em los últimos 10 años. **Anais...IX Congresso Argentino de Meteorologia**. 2004.

FERREIRA, A. R. **Análise Genética e Seleção em Testes Dialélicos de *Pinus taeda*** L. Tese (doutorado). Universidade Federal do Paraná: 2005.

FERREIRA, M. Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal. **IPEF**, n. 45, p. 22-30. 1992.

FERREIRA, M.; ARAÚJO, A. J. Procedimentos e recomendações para teste de procedência. **Documentos URPFC**, n. 6. Curitiba: EMBRAPA, 1981.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM, CEPEFFATEC, 1992.

FLORES, T. B.; ALVARES, C. A.; SOUZA, V. C.; STAPE, J. L. ***Eucalyptus* no Brasil: zoneamento climático e guia para identificação**. Piracicaba: IPEF, 2016. 448p.

FONSECA, S. M. D. F.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. DA S.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético de eucalipto**. Viçosa: Ed. UFV, 2010. 200 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Forest & Landscape Denmark – FLD. International Plant Genetic Resources Institute – IPGRI. Forest genetic resources conservation and management. Rome: **International Plant Genetic Resources Institute**. 2004.

FORESTRY – GIT. *Eucalyptus macarthurii*. **Camden Woollybutt Highland Forests in North western Iberia**. 2014. Disponível em: <[www/gitforestry.com/EucalyptHighlandForests02.htm](http://www.gitforestry.com/EucalyptHighlandForests02.htm)>. Acesso em: 19 maio 2017.

FOX, P. N.; CROSSA, J.; ROMAGOSA, I. Multi-environment testing and genotype environment interaction. In: KEMPTON, R. A.; FOX, P. N. (Ed.). **Statistical methods for plant variety evaluation**. New York: Chapman & Hall, 1997. p. 117-138

FRANKEL, O. H. Natural variation and its conservation. In: MUHAMMEO, A.; AKSEL, R. & VON BORSTEL, R. C. Genetic diversity in plants. **Plenum Press**, New York, p. 21-44, 1977.

FREITAS, M. M.; SEBBENN, A. M.; MARAIS, E.; ZANATTO, A. C. S.; SOUSA, C. M. R.; LEMOS, S. V. Parâmetros genéticos em progênies de polinização aberta de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, aos 22 anos de idade. **Revista do Instituto Florestal**, v. 17, n. 1, p. 103-111. 2005.

FREITAS, R. G.; VASCONCELOS, E. S.; CRUZ, C. D.; ROSADO, A. M.; ROCHA, R. B.; TAKAMI, L. K. Predição de ganhos genéticos em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urograndis* cultivadas em diferentes ambientes e submetidas a diferentes procedimentos de seleção. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 2, 25–263, 2009.

FRIGOTTO, T. **Seleção de espécies/procedências e propagação vegetativa de *Eucalyptus* spp. na Região Norte de Santa Catarina**. 94 p. Dissertação. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages. 2016.

FUNDA, T.; EL-KASSABY, Y. A. Seed orchard genetics. **CAB Reviews**, Wallingford, v. 7, n. 13, p. 1-15, 2012.

GANTZ, C. H. **Evaluating the efficiency of the Resistograph® to estimate genetic parameters for wood density in two softwood and two hardwood species**. **Raleigh**: Universidade Carolina do Norte. Raleigh. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais. 88 p. 2002.

GARCIA, C. H. Tabelas para classificação do coeficiente de variação. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n,171, 11 p. 1989.

GARRÁN, S. M.; GARÍN, R. O.; MARCÓ, M. A. El clima de la región de Concordia y sus heladas. Em: **Actas XXII Jornadas Forestales de Entre Rios**. Concordia. Entre Rios, Argentina. Outubro, 2007.

GARRIDO, L. M. A. G. Programa de melhoramento genético visando produção de resina em *Pinus*.(Resultados de 17 anos). In: **Congressos Forestales**. 1997.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. da S.; TOMAZELLO FILHO, M.; REZENDE, G. D. S. P. Estimativa da densidade básica da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* por método não destrutivo. **Cerne**, Lavras, v. 13, p. 119-128, 2007.

GOUVÊA; A. F. G.; TRUGILHO; P. F.; GOMIDE; J. L.; SILVA; J. R. M.; ANDRADE; C. R.; ALVES; I. C. N. Determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* por diferentes métodos não destrutivos. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 35, n. 2, p.349-358. 2011.

GRAÇA, M. E. C.; SHIMIZU, J. Y.; TAVARES, F. R. Capacidade de rebrota e de enraizamento de *Eucalyptus benthamii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo. n. 39. p. 135-138, 1999.

GUTIÉRREZ, G. DE LA L. **Atlas Del Eucalipto**. Ministerio de Agricultura, Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias (INIA), Sevilla. Tomo I. 1976.

HAMRICK, J. L.; GODT, M. J. W.; SHERMAN-BROYLES, S. L. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. **New Forests**, Heidelberg, v. 6, n. 1-4, p. 95-124, 1992.

HARRAND, L., MARCÓ, M. A. Investigación hacia el desarrollo de material genético tolerante al frío. **Anais... XXVI - Jornadas Forestales de entre Rios**. Concordia, Outubro, 2012.

HIGA R. C. V, PEREIRA J. C. D. **Usos potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. Colombo: Embrapa Florestas. 2003.

HIGA, A. R.; RESENDE, M. D. V.; SOUZA, S. M. Programas de melhoramento genético de *Eucalyptus* no Brasil. In: Simpósio Internacional: O Desafio das Florestas Neotropicais. **Anais**. Curitiba: UFPR/IUFRO, p. 86-100. 1991.

HIGA, A. R.; SHIMIZU, J. Y. Produção de sementes melhoradas de essências florestais. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.3, n.3, p.19-26, 1981.

HIGA, R. C. V. HIGA, A. R., ALVES, E. C. A. *Eucalyptus badjensis* Beuzev. & Welch Espécie Potencial para Produção de Madeira e Óleos Essenciais no Sul do Brasil. Colombo, PR, (Comunicado Técnico, n.65). 2002.

HIGA, R. C. V.; HIGA, A. R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M. V. R. DE. Comportamento de vinte espécies de *Eucalyptus* em área de ocorrência de geadas na Região Sul do Brasil. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPT, 1997, Salvador. Proceedings. Colombo: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, p.106-110, 1997.

HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. Usos potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. Colombo: Embrapa Florestas, 2003 (**Comunicado Técnico no. 100**). 4p.

HIGA, R. C. V.; WREGGE, M. S. Zoneamento climático de *Eucalyptus grandis* para a região Sul do Brasil. CD-ROM Embrapa Florestas. Colombo. 2010.

HIGA, R. C. V; HIGA, A. R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M. V. R. Resistência e resiliência a geadas em *Eucalyptus dunnii* Maiden plantados em Campo do Tenente, PR. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo. v. 40. p.67-76, 2000.

HIGA, R.C.V. Aspectos ecológicos e silviculturais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo. v. 38. p. 121-123, 1999.

HIGA, R.C.V. et al. Resistência e resiliência a geadas em *Eucalyptus dunnii* Maiden plantados em Campo do Tenente, PR. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 40, p. 67-76, 2000.

HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. A.; GONÇALVES, A. N. **Propagação vegetativa de *Eucalyptus***: princípios básicos e sua evolução no Brasil. Piracicaba: IPEF/ESALQ/USP, 2000. 10p. (Circular Técnica, 192).

HOULE, D. Comparing evolvability and variability of quantitative traits. **Genetics**, Austin, v.130, n.1, p.195-204, 1992.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório 2017. 2017. Disponível em:<[www.iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](http://www.iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf)>. Acesso em: 22 maio 2018.

ISIK, F.; LI, B. L. Rapid assessment of wood density of live trees using the Resistograph for selection in tree improvement programs. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.33, n.12, p. 2426-2435. 2003.

KAGEYAMA, P. Y.; VENCOVSKY, R. Variação genética em progênes de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden, IPEF, Piracicaba, v. 24, p. 9-26, 1983.

KONZEN, E. R.; NAVROSKI, M. C.; PEREIRA, M. De O.; NASCIMENTO, B.; MENEGUZZI, A.; DE SOUZA, P. F. Genetic variance components for growth variables of *Eucalyptus benthamii* and *E. smithii* provenances cultivated in Southern Brazil. **Cerne**, Lavras, v. 23, n. 3, p. 359-366. 2017.

LARCHER, W.; BAUER, H. Ecological of resistance to low temperature. In: Encyclopedia of plant physiology. **Physiological Plant Ecology**: I. Responses to the physical environment. Berlim: Springer-Verlag. 1981.

LAVORANTI, O. J.; DIAS, C. T. S.; VENCOVSKY, R. Estudo da adaptabilidade e estabilidade fenotípica de progênes de *Eucalyptus grandis* via metodologia AMMI. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.44, p.107-124, 2002.

LEIGH, J.; BRIGGS, J.; HARTLEY, W. Rare or threatened Australian Plants. Special Publication 7. **Australian National Parks & Wildlife Service**, Canberra, 1981.

LEONARDECZ-NETO, E.; VENCOVSKY, R.; SEBBENN, A. M. Ajuste para a competição entre plantas em teste de progênes e procedências de essências florestais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 136-149, 2003.

LIMA, J. T.; SARTÓRIO, R. C.; TRUGILHO, P. F.; CRUZ, C. R. da.; VIEIRA, R. da S. Uso do Resistógrafo® para estimar a densidade básica e a resistência à penetração da madeira de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 75, p. 85-93, 2007.

LIN, C.S.; BINNS, M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 68, n. 3, p. 193-198, 1988.

LÓPEZ, C. R.; FORNÉS, L. F. Estabilidade genética em progênes de *Eucalyptus grandis* (Hill) ex Maiden. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF *EUCALYPTUS*, 1997, Salvador. **Proceedings...** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, v. 1, p. 163-168, 1997.

MACEDO, H. R.; FREITAS, M. L. M.; DE MORAES, M. L. T.; ZANATA, M.; SEBBENN, A. M. Variação, herdabilidade e ganhos genéticos em progênes de *Eucalyptus tereticornis* aos 25 anos de idade em Batatais-SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 533-540, 2013.

MANTILLA, E. V.; PEREIRA, N. C., S.; ALVES, R. C. Estimativa da densidade aparente, resistência à compressão e módulo de elasticidade da madeira por meio do resistógrafo. **Construindo**, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 45-51, 2013.

MARTINEZ, D. T. **Avaliação genética sob heterogeneidade de variância residual dentro de tratamentos**. Tese (doutorado). Universidade Federal do Paraná, 2010.

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

MARTINS, I. S.; CRUZ, C. D., ROCHA, M. G. B.; REGAZZI, A. J., PIRES, I. E. Comparação entre os processos de seleção entre e dentro e o de seleção combinada, em progênes de *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 16-24, 2005.

MARTINS, I. S.; MARTINS, R. de C. C.; CORREIA, H. de S. Comparação entre seleção combinada e seleção direta em *Eucalyptus grandis*, sob diferentes intensidades de seleção. **Floresta e Ambiente**, v.8, p.36-43, 2001.

MIRANDA, A. C.; MORAES, M. L. T. de; SILVA, P. H. M. da; SEBBENN, A. M. Ganhos genéticos na seleção pelo método do índice multi-efeitos em progênes polinização livre de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, v.43, p.203-209. 2015.

MIRANDA, A. **Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênes de *Eucalyptus grandis***. 64 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, 2012.

MONTEIRO, M.A. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **Geosul**. V. 16, n. 31, Jan/Jun, 2001. Florianópolis. p. 69-78.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A Cultura do Eucalipto no Brasil**. SBS. 2000. 112p.

MORAES, C. B.; DE CARVALHO, E. V.; ZIMBACK, L.; LUZ, O. D. S. L.; PIERONI, G. B., MORI, E. S.; LEAL, T. C. A. B. Variabilidade genética em progênies de meios-irmãos de *Eucalyptos* para tolerância ao frio. **Revista Árvore**, v. 39, n. 6, p. 1047-1054, 2015.

MORAES, M. A.; ZANATTA, A. C. S.; MORAES, E.; FREITAS, M. L. M. Variação genética para caracteres silviculturais em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus camaldulensis* em Luiz Antonio-SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo. v.19, n.2, p.113-118. 2007.

MORAES, M. L. T.; KAGEYAMA, P. Y.; SEBBENN, A. M. Diversidade e estrutura genética espacial em duas populações de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. sob diferentes condições antrópicas **Revista Árvore**, v.29, n.2, p.281-289, 2005.

MORI, E. S; LELLO, L. D; KAGEYAMA, P. Y. Efeitos da interação genótipo x ambiente em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith. **IPEF**, Piracicaba, v. 33, p. 19-26, 1986.

NAMKOONG, G.; KANG, H. C.; BROUARD, J. S. **Tree breeding: principles and strategies**. New York: Springer-Verlag, 1988. 180 p.

NEALE, D.B.; KREMER, A. Forest tree genomics: growing resources and applications. **Nature Reviews Genetics**, Londres, v. 12, n. 2, p. 111-122, 2011.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. B.; KLOCK, H. **Características anatômicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage e sua influência na qualidade do papel**. Curitiba: UFPR, 1998, 8 p.

NUNES, G. H. S.; REZENDE, G. D. S. P. M.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. S.; Implicações da interação genótipos x ambientes na seleção de clones de eucalipto. **Cerne**, v. 8, n. 1, p 49-58, 2002.

ORO, T. H.; DEL QUIQUI, E. M.; ORO, P. Desempenho inicial de espécies de *Eucalyptus* no Noroeste do Paraná. **Cultivando o Saber**. Cascavel, v.5, n.2, p.140-148. 2012.

PAIVA, J. R.; RESENDE, M. D. V.; CORDEIRO, E. R. Índice multiefeitos (BLUP) e estimativas de parâmetros genéticos aplicados ao melhoramento da acerola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 6, p. 799-807, 2002.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; FARDIN, A. E.; SANTOS, A. M.; REIS, C. A. F.; SANTOS, P. E. T. dos; MACHADO, A. M.; RAFAEL, G. C. Base genética de melhoramento de eucaliptos e corimbias no norte do Estado de Goiás: resultados da cooperação técnica entre a Embrapa Florestas e a Anglo American Níquel Brasil - Codemin. Colombo: **Embrapa Florestas** n. 248. 2013.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; MORA, A. L.; MAESTRI, R. Interação de genótipos de *Pins taeda* L. com locais no Sul-Sudeste do Brasil. **Cerne**, v.7, n1, p.90-100, 2001.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T.; FERREIRA, C. A. ***Eucalyptus* indicados para plantio no Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas. 2006.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JR, V. P. DA; MASSIGNAM, A. M., PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VALCI, F.V. **Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-Rom.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: **Agropecuária**, 2002. 478 p.

PEREIRA, M. B.; VENCOVSKY, R. Limites da seleção recorrente. I. Fatores que afetam o acréscimo das frequências alélicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, n.7, p.769-780, 1988.

PINTO JÚNIOR, J. E.; STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V.; RONZELLI JÚNIOR, P. Avaliação simultânea de produtividade, adaptabilidade e estabilidade genotípica de *Eucalyptus grandis* em distintos ambientes do estado de São Paulo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.53, p.79-108, 2006.

PIRES, I. E.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, R. L. da; RESENDE JUNIOR, M. F. R. **Genética Florestal**. Viçosa, MG: Arka, 2011. 318 p.

PRADO, E. E. P.; HIRIMOTO, D. M.; GODINHO, V. P. C.; UTUMI, M. M. RAMALHO, A. R. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em cinco épocas de plantio no cerrado de Rondônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v. 36, n. 4, p. 625-635, 2001.

PROBER, S. M.; BROWN, A. H. D. X Conservation of the Grassy White Box Woodlands: population genetics and fragmentation of *Eucalyptus albens*. **Conservation Biology**, v.8, p.1003–1013, 1994.

PRYOR, L. D. Australian endangered species: *Eucalypts*. Special Publication 5. **Australian National Parks & Wildlife Service**, Canberra. 1981.

PUPIN, S. Diversidade genética, sistema de reprodução e parentesco em progênies de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. Tese (Doutorado) Universidade estadual Paulista, UNESP. Ilha Solteira. 2018.

PUPIN, S.; ARAÚJO, A. V.; ZARUMA, D. U. G.; MIRANDA, A. C.; SILVA, P. H. M.; MARINO, C. L.; SEBBENN, A. M.; MORAES, M. L. T. Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla* ST Blake. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 127-134, 2015.

RAJORA, O. M.; MOSSELER, A. Challenges and opportunities for conservation of forest genetic resources **Euphytica**, v.118, n.2, p.197-212, 2001

RAMALHO, M. A. P; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da Genética Quantitativa no Melhoramento de Plantas Autógamas**. Lavras: Ed. UFLA, 2012. 522 p.

REIS, C. A. F., DOS SANTOS, P. E. T., & PALUDZYSZYN FILHO, E. Avaliação de clones de eucalipto em Ponta Porã, Mato Grosso do Sul. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 80, p. 263-269, 2014.

REIS, E. F.; REIS, M. S.; CRUZ, C. D.; SEDIYAMA, T. Comparação de procedimentos de seleção para produção de grãos em populações de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 685-692, 2004.

RESENDE, M. D. V DE; VENCOVSKY, R.; FERNANDES, J. S. C. Selection and genetic gains in populations of *Eucalyptus* with a mixed mating system. In: **IUFRO CONFERENCE**. 1995. p. 191-193.

RESENDE, M. D. V. de; PRATES, D. F.; JESUS, A.; YAMADA, C. K. Estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e melhor predição linear não viciada (BLUP) em Pinus. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 32/33, p.18-45, 1996.

RESENDE, M. D. V. de; ROSA-PEREZ, J. R. H. **Genética quantitativa e estatística no melhoramento animal**. Curitiba: Imprensa Universitária, 1999. 496 p.

RESENDE, M. D. V. et al. **Métodos e Estratégias de Melhoramento de Espécies Perenes: Estado da Arte e Perspectivas**. In: Embrapa Florestas Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, 3., 2005, Gramado. Anais. Passo Fundo: Embrapa Trigo;[SI]: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2005.

RESENDE, M. D. V. **Genética Biométrica e Estatística no Melhoramento de Plantas Perenes**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 975 p.

RESENDE, M. D. V. **Genética quantitativa e de populações**. Viçosa, 2015.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 562p.

RESENDE, M. D. V. **Melhoramento de essências florestais**. In: BORÉM, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: UFV, 2005.

RESENDE, M. D. V. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. v. 1. 57 p.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182- 194, 2007.

RESENDE, M. D. V.; HIGA, A. R. Estimação de valores genéticos no melhoramento de Eucalipto – seleção em um caráter com base em informações do indivíduo e seus parentes. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 28-29, p. 11-36, 1994.

RESENDE, M. D. V.; PIRES, I. E.; SILVA, R. L. Melhoramento do Eucalipto. In: LOPES, M. A.; FAVERO, A. P.; FERREIRA, M. A. J. F.; FALEIRO, F. G. (Ed). **Pré-melhoramento de plantas: estado da arte e experiências de sucesso**. Brasília, DF: Embrapa Informação tecnológica; Embrapa Cerrados, 2011. p. 413-440.

RESENDE, M. D. V.; STURION, J. A.; HIGA, A. R. Comparação entre métodos de avaliação da estabilidade fenotípica e adaptabilidade aplicados a dados de *Eucalyptus cloeziana* (F. MUELL). **Boletim Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 42, jan./jun, p. 3-34. 2001.

RESENDE, M.D.V.; SILVA, F.F.; LOPES, P.S.; AZEVEDO, C.F. **Seleção genômica ampla (GWS) via modelos mistos (REML/BLUP), inferência bayesiana (MCMC), regressão aleatória multivariada (RRM) e estatística espacial**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2012. 291 p. Disponível em: <[http://www.cnpso.embrapa.br/gws/selecao\\_genomica.pdf](http://www.cnpso.embrapa.br/gws/selecao_genomica.pdf)> Acesso em: 29 maio. 2018.

RIBEIRO, C. A. D. Delimitação de zonas agroclimáticas para cultura do eucalipto no norte do Espírito Santo e sul da Bahia. Universidade Federal do Espírito Santo. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Espírito Santo. 2009. 102 p.

RINN, F.; SCHWEINGRBER, H.; SCHAR, E. Resistograph and x-ray density charts of wood comparative evaluation on drill resistance profiles and x-ray density charts of different wood species. **Holzforschung**, Berlin, v. 50, n. 4, p. 303-331, Aug. 1996.

RODRIGUES, E. A. C.; ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F.; SANTOS, A. M. Seleção de clones de *Eucalyptus* para as propriedades físicas da madeira avaliadas em árvores no campo. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 2, p. 147-152, mar./abr. 2008.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G.; BHERING L. L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.47, n.7, p.964-971, 2012.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; RESENDE JÚNIOR, M.; BHERING, L. L.; CRUZ, C. D. Ganhos genéticos preditos por diferentes métodos de seleção em progênies de *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1653-1659, 2009.

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**, v. 37, n. 5, p. 625-636, 2002.

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 caribaea* var. *hondurensis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 11, p. 2243-2253, 2000.

SANTOS, A. F.; AUER, S. G.; GRICOLETTI JR, A. **Doenças do eucalipto no Sul do Brasil: identificação e controle**. Circular técnica 45, Embrapa Florestas, 19 p. 2001.

SANTOS, C. E. M., PISSIONI, L. L. M., MORGADO, M. A. D., CRUZ, C. D., BRUCKNER, C. H. et al. Estratégias de seleção em progênies de maracujazeiro amarelo quanto ao vigor e incidência de verrugose. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal. v. 30, n. 2. p. 444-449. 2008.

- SANTOS, G. A.; CABEL, S. R.; ASSIS, T. F.; FIER, I. S. N.; MENDES, C. J.; PUCCI, J. A. L. Estratégia de Melhoramento de *Eucalyptus benthamii* para o sul do Brasil. In: SILVA, L. D.; HIGA, A. R.; SANTOS, G. A. (Coord.) **Silvicultura e Melhoramento Genético de *Eucalyptus benthamii***. Curitiba: FUPEF. p. 21-37. 2012.
- SANTOS, G. A.; NUNES, A. C. P.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, L. D.; HIGA, A.; ASSIS, T. F. Genetic control and genotype-by-environment interaction of wood weight in *Eucalyptus* clones in the state of Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Árvore**, v. 40, n. 5, p. 867-876, 2016.
- SANTOS, G. A.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, L. D.; HIGA, A.; ASSIS, T. F. Adaptabilidade de híbridos multiespécies de *Eucalyptus* ao Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, v.37, n.4, p.759-769, 2013.
- SATO, A. S.; MORAES, E.; ZANATTO, A. C. S.; FREITAS, M. L. M. Seleção dentro de progênies de *Eucalyptus resinifera* aos 21 anos de idade em Luiz Antônio-SP. **Revista do Instituto Florestal**, v. 19, n. 1, p. 93-100, 2007.
- SEBBENN, A. M.; FREITAS, M. L. M.; ZANATTO, M. C. S.; MORAIS, E.; MORAES, M. A. Comportamento da variação genética entre e dentro de procedências e progênies de *Galesia integrifolia* Vell. Moq. para caracteres quantitativos. **Revista do Instituto Florestal**, v. 21, n.2, p.151-63, 2009.
- SILVA, L. D. **Melhoramento genético de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage visando a produção de madeira serrada em áreas de ocorrência de geadas severas**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008. 275p.
- SILVA, P. H. M.; CAMPOE, O. C.; PAULA, R. C. de; LEE, D. J. Seedling growth and physiological responses of sixteen eucalypt taxa under controlled water regime. **Forests**, v.7, art.110. 2016.
- SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v. 41, n. 1, p. 23-30, 2006.
- SOARES, I. D.; HIGA, A. R.; FLORES JUNIOR, P. C.; ENGEL, M. L.; ANDREJOW, G. P. A. Estratégias de seleção de progênies de *Eucalyptus saligna* para produção de sementes melhoradas. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 114, p. 319-326, 2017.
- SOUZA, C. S.; FREITAS, M. L. M.; DE MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Estimativas de parâmetros genéticos para caracteres quantitativos em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla*. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n.4, p. 847-856, 2011.
- SOUZA, T. da S.; SANTOS, W. dos; DENIZ, L. D.; ALVES, A. P. de O.; SHIMIZU, J. Y.; SOUSA, V. A. de; AGUIAR, A. V. de. Variação genética em caracteres quantitativos em *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 113, p. 177-185. 2017.

SOUZA, V. Q.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D.; BEHLING, A.; BAMBERG, R.; VIAN, A. L. Resistência de espécies arbóreas submetidas a extremos climáticos de geada em diferentes sistemas agroflorestais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 6, p. 972-977, 2011.

SPURR, S. H. **Forest inventory**. New York: The Ronald Press, 1952. 476p.

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. Eficiência do delineamento experimental e capacidade de teste no melhoramento genético da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil). **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 50, p. 3-10, 2005.

SUDARIC, A.; SIMIC, D.; VRATARIC, M. Characterization of genotype by environment interactions in soybean breeding programmes of southeast Europe. **Plant Breeding**, v.125 p.191-194, 2005.

TAMBARUSSI, E. V.; LIMA, B. M.; QUEIROZ, R. C.; PERES, F. S. B.; DIAS, D. C.; PAGLIARINI, M. K.; PEREIRA, F. B.; ROSA, J. R. B. F.; REZENDE, G. D. S. P. Estimativas de parâmetros genéticos para a seleção precoce em clones de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 45, n. 115, p. 507-517, set. 2017.

TAMBARUSSI, E. V.; PEREIRA, F. B.; DA SILVA, P. H. M.; LI, D.; BUSH, D. Are tree breeders properly predicting genetic gain? A case study involving *Corymbia* species. **Euphytica**, 214:150. 11 p. 2018.

TAMBARUSSI, E. V.; SEBBENN, A. M.; MORAES, M. L. T. DE; ZIMBACK, L.; PALOMINO, E. C.; MORI, E. S. Estimative of genetic parameters in progeny test of *Pinus Caribaea* Morelet var. *Hondurensis* Barret & Golfari by quantitative traits and microsatellite markers. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p.39-47, 2010. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/brag/v69n1/06.pdf>>. Acesso em: 21 junho. 2018.

TORGGLER, M.G.F. **Variação genética entre progênies dentro de procedências de *Eucalyptus saligna* Smith**. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba.198p.1987.

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

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 416 p.

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

WENDLING, I. Propagação vegetativa. 2003. Disponível em: <[www.ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/50925/1/Wendling.pdf](http://www.ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/50925/1/Wendling.pdf)>. Acesso em 23/04/2018.

WU, Jixiang. **Package ‘minque’**, 2014. 8p.

XAVIER, A. Silvicultura clonal III: Seleção e manejo dos clones. Curso de Silvicultura Clonal, outubro de 2003. 56 p. (notas de aula).

XAVIER, A.; SILVA, R. L. Evolução da Silvicultura Clonal de *Eucalyptus* no Brasil. **Agronomía Costarricense**, v.1, n.34, p.93-98, 2010.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. Viçosa: UFV. 2009. 272 p.

ZOBEL, B. J.; TALBERT, J. **Applied Forest Tree Improvement**. New York: John Wiley. 1984. 55 p.

## APÊNDICES

### APÊNDICE 1

Registros de temperatura mínima absoluta em graus Celsius e número de geadas, nos anos de 1999 a 2017, na localidade Três Barras, estado de Santa Catarina, Brasil.

MÊS/ANO	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Janeiro	15,0	11,0	13,0	8,0	12,0	9,0	10,0	14,0	14,0	12,0	7,0	10,0	15,0	9,0	9,0	5,0	15,0	12,0	12,0
Fevereiro	15,0	9,0	14,0	10,0	13,0	10,0	9,0	8,0	11,0	11,0	10,0	11,0	13,0	13,0	13,0	12,0	14,0	17,0	15,0
Março	14,0	10,0	14,0	13,0	9,0	8,0	10,0	9,0	11,0	10,0	9,0	12,0	11,0	4,0	6,0	11,0	10,0	8,0	12,0
Abril	-1,0	4,0	8,0	11,0	-1,0	8,0	7,0	1,0	5,0	4,0	5,0	6,0	8,0	2,0	1,0	5,0	11,0	-6,0	-2,0
Mai	-2,0	-4,0	0,0	4,0	-4,0	-2,0	0,0	-2,0	-5,0	-3,0	-2,0	2,0	0,0	0,0	-2,0	4,0	5,0	-3,0	7,0
Junho	-1,0	-3,0	-4,0	0,0	3,0	-4,0	5,0	-2,0	-3,0	-6,0	-5,0	0,0	-6,0	0,0	-1,0	-3,0	-2,0	-5,0	-1,0
Julho	-1,0	-7,0	-4,0	-2,0	-4,0	-4,0	-4,0	-2,0	-4,0	0,0	-1,0	-4,0	-4,0	-2,0	-5,0	-1,0	2,0	-4,0	-6,0
Agosto	-4,0	-3,0	0,0	-2,0	-5,0	-5,0	-2,0	-3,5	-2,0	1,0	0,0	-3,0	-5,0	6,0	-3,0	-1,0	3,0	-2,0	0,0
Setembro	1,0	2,0	-3,0	-4,0	-3,0	8,0	-2,0	-6,0	-1,0	-1,0	2,0	2,0	-1,0	-1,0	0,0	5,0	1,0	0,0	7,0
Outubro	6,0	2,0	2,0	9,0	6,0	2,0	11,0	8,0	6,0	7,0	6,0	5,0	6,0	5,0	4,0	9,0	9,0	5,0	2,0
Novembro	5,0	9,0	9,0	7,0	5,0	7,0	6,0	4,0	6,0	10,0	13,0	5,0	5,0	8,0	8,0	7,0	8,0	5,0	4,0
Dezembro	8,0	7,0	6,0	11,0	6,0	9,0	9,0	11,0	9,0	5,0	11,0	9,0	9,0	15,0	10,0	8,0	11,0	8,0	12,0
Nº Geadas	*	*	*	*	27	15	8	18	19	12	9	6	15	9	17	9	2	21	12

Fonte: O Autor (2018).

Legenda: \* dado não disponível.

## APÊNDICE 2

Estatísticas descritivas para diâmetro à altura do peito (cm) e altura total (m) de *Eucalyptus benthamii*, das procedências Candói-PR, Jaguariaíva-PR, Bio-Bio no Chile, Guarapuava-PR, Campo Alegre-SC e Vargem Bonita-SC, aos 36 meses de idade, na localidade Mafra no estado de Santa Catarina, Brasil.

<b>LOCALIDADE: MAFRA - SC</b>							
<b>Procedências</b>							
	Bio Bio Chile	Jaguariaíva PR	Candói PR	Candói PR	Guarapuava PR	Campo Alegre SC	Vargem Bonita SC
	Progênie	Progênie	<i>Bulk</i> Progênies	Progênie	Clone	<i>Bulk</i> Progênies	<i>Bulk</i> Progênies
<b>DAP</b>							
Média	11,04	10,29	9,97	9,62	9,18	9,17	7,04
Erro Padrão	0,44	0,15	0,71	0,10	0,36	0,81	0,64
Desvio Padrão	3,24	3,24	3,10	3,15	2,78	3,55	2,85
Mínimo	4,00	1,30	5,70	1,20	1,90	1,90	1,80
Máximo	17,90	18,10	15,40	17,70	14,00	14,60	12,00
<b>Altura</b>							
Média	12,64	12,03	11,29	11,75	11,83	11,29	10,32
Erro Padrão	0,34	0,12	0,67	0,09	0,36	0,72	0,59
Desvio Padrão	2,53	2,73	2,91	2,81	2,71	3,15	2,63
Mínimo	7,10	4,00	7,30	2,80	4,40	1,90	3,80
Máximo	17,80	18,00	17,20	18,00	15,50	14,50	13,70
<b>Volume</b>							
Média	0,0547	0,0462	0,0417	0,0403	0,0358	0,0373	0,0203
Erro Padrão	0,0050	0,0014	0,0080	0,0010	0,0029	0,0060	0,0036
Desvio Padrão	0,0374	0,0317	0,0347	0,0297	0,0221	0,0264	0,0161
Mínimo	0,0037	0,0002	0,0071	0,0002	0,0005	0,0002	0,0004
Máximo	0,1682	0,1582	0,1060	0,1617	0,0911	0,0927	0,0559

Fonte: O Autor (2018).

Estatísticas descritivas para diâmetro à altura do peito (cm) e altura total (m) de *Eucalyptus benthamii*, das procedências Candói-PR, Jaguariaíva-PR, Bio-Bio no Chile, Guarapuava-PR, Campo Alegre-SC e Vargem Bonita-SC, aos 36 meses de idade, na localidade Porto União no estado de Santa Catarina, Brasil.

<b>LOCALIDADE: PORTO UNIÃO - SC</b>							
<b>Procedências</b>							
	Jaguariaíva PR	Candói PR	Campo Alegre SC	Candói PR	Bio Bio Chile	Guarapuava PR	Vargem Bonita SC
	Progênie	<i>Bulk</i> Progênie	<i>Bulk</i> Progênie	Progênie	Progênie	Clone	<i>Bulk</i> Progênie
<b>DAP</b>							
Média	8,89	8,72	8,53	8,37	8,36	7,71	6,62
Erro							
Padrão Desvio	0,13	0,71	0,64	0,09	0,39	0,32	0,58
Padrão	3,08	3,16	2,71	2,87	2,92	2,51	2,46
Mínimo	1,10	2,80	4,00	1,10	2,90	1,00	2,80
Máximo	16,20	13,90	13,80	15,60	15,40	12,40	10,80
<b>Altura</b>							
Média	10,18	10,10	10,32	10,02	9,68	10,24	9,08
Erro							
Padrão Desvio	0,11	0,58	0,51	0,08	0,37	0,33	0,61
Padrão	2,57	2,58	2,17	2,56	2,76	2,55	2,58
Mínimo	2,00	5,00	6,00	2,10	2,80	1,50	3,90
Máximo	15,80	15,00	14,20	15,70	15,80	14,60	13,00
<b>Volume</b>							
Média	0,0305	0,0297	0,0273	0,0265	0,0261	0,0225	0,0158
Erro							
Padrão Desvio	0,0010	0,0053	0,0047	0,0006	0,0030	0,0020	0,0030
Padrão	0,0231	0,0236	0,0200	0,0201	0,0228	0,0153	0,0128
Mínimo	0,0001	0,0012	0,0033	0,0001	0,0007	0,0000	0,0010
Máximo	0,1220	0,0784	0,0709	0,1046	0,1103	0,0655	0,0406

Fonte: O Autor (2018).

Estatísticas descritivas para diâmetro à altura do peito (cm) e altura total (m) de *Eucalyptus benthamii*, das procedências Candói-PR, Jaguariaíva-PR, Bio-Bio no Chile, Guarapuava-PR, Campo Alegre-SC e Vargem Bonita-SC, aos 36 meses de idade, na localidade São Mateus do Sul no estado do Paraná, Brasil.

LOCALIDADE: SÃO MATEUS DO SUL - PR		Procedências					
	Guarapuava PR	Jaguariaíva PR	Bio Bio Chile	Candói PR	Campo Alegre SC	Candói PR	Vargem Bonita SC
	Clone	Progênie	Progênie	Progênie	<i>Bulk</i> Progênie	<i>Bulk</i> Progênie	<i>Bulk</i> Progênie
<b>DAP</b>							
Média	12,31	12,23	12,02	11,55	11,17	10,62	9,54
Erro Padrão	0,37	0,12	0,34	0,09	0,80	0,86	0,61
Desvio Padrão	2,79	2,83	2,53	2,86	3,10	3,43	2,50
Mínimo	2,80	2,10	5,70	2,50	3,20	5,80	4,60
Máximo	16,00	19,50	17,20	18,90	16,40	16,00	12,60
<b>Altura</b>							
Média	15,95	15,33	14,61	15,09	14,99	14,00	14,31
Erro Padrão	0,35	0,11	0,29	0,08	0,74	0,72	0,54
Desvio Padrão	2,65	2,55	2,12	2,51	2,87	2,88	2,24
Mínimo	4,20	4,90	9,80	5,20	5,60	8,90	8,90
Máximo	19,70	19,90	18,10	20,00	18,80	18,00	17,10
<b>Volume</b>							
Média	0,0801	0,0764	0,0688	0,0679	0,0649	0,0584	0,0444
Erro Padrão	0,0048	0,0017	0,0046	0,0012	0,0092	0,0108	0,0057
Desvio Padrão	0,0356	0,0393	0,0339	0,0374	0,0357	0,0433	0,0235
Mínimo	0,0010	0,0006	0,0096	0,0010	0,0017	0,0090	0,0056
Máximo	0,1498	0,2001	0,1544	0,2054	0,1517	0,1367	0,0802

Fonte: O Autor (2018).

## APÊNDICE 3

Ordenamento das progênies de *Eucalyptus benthamii* para cada método de seleção: seleção individual de progênies (SI), seleção entre e dentro de progênies (SED) e seleção massal de progênies (SM) baseada na análise conjunta para o caráter volume médio individual das progênies de *Eucalyptus benthamii* combinando os três locais do estudo, aos 36 meses de idade.

Seleção Individual (SI) ( $K_f = \forall k \neq 0$ )		Seleção Entre e Dentro (SED) ( $K_f=3$ )		Seleção Massal (SM) ( $K_f \geq 3$ )	
Progênie	$K_f$	Progênie	$K_f$	Progênie	$K_f$
ID_95	1	ID_1 CLONE	3	ID_95	1
ID_360	1	ID_433	3	ID_360	1
ID_433	2	ID_613	3	ID_433	3
ID_934	1	ID_783	3	ID_613	2
ID_1053	2	ID_852	3	ID_852	1
ID_1055	1	ID_910	3	ID_903	1
ID_1139	2	ID_934	3	ID_910	2
ID_1140	2	ID_1053	3	ID_921	1
ID_1235	1	ID_1055	3	ID_934	1
ID_1236	2	ID_1139	3	ID_950	1
ID_1270	1	ID_1140	3	ID_1024	1
ID_12-3	1	ID_1236	3	ID_1053	3
ID_129-2	5	ID_12-3	3	ID_1055	2
ID_1-3	2	ID_129-2	3	ID_1139	3
ID_13-3	2	ID_1-3	3	ID_1140	2
ID_14-3	6	ID_13-3	3	ID_1229	2
ID_15-3	5	ID_14-3	3	ID_1235	2
ID_20-3	6	ID_15-3	3	ID_1236	2
ID_22-3	3	ID_20-3	3	ID_1270	2
ID_23-3	4	ID_22-3	3	ID_1311	1
ID_29-3	1	ID_23-3	3	ID_11-3	1
ID_4-3	1	ID_28-3	3	ID_12-3	2
ID_6-1	1	ID_30-3	3	ID_129-2	3
ID_6-3	7	ID_4-3	3	ID_1-3	3
ID_7-3	2	ID_6-3	3	ID_13-3	3
ID_8-3	19	ID_7-3	3	ID_14-3	3
		ID_8-3	3	ID_15-3	3
				ID_19-3	1
				ID_20-3	3
				ID_22-3	3
				ID_23-1	2
				ID_23-3	3
				ID_25-3	1
				ID_29-3	2
				ID_30-3	1
				ID_3-3	1
				ID_4-3	1
				ID_6-1	2
				ID_6-3	3
				ID_7-3	3
				ID_8-3	3

Fonte: O Autor (2018).

## APÊNDICE 4

Ordenamento para propagação sexuada, das progênies de *Eucalyptus benthamii* de acordo com o ganho individual, combinando os três locais do estudo, aos 36 meses de idade.

Local	Bloco	Família	Árvore	<i>a</i>	<i>u+a</i>
São Mateus do Sul	2	ID_15-3	3	0,0318	0,0786
São Mateus do Sul	2	ID_22-3	3	0,0310	0,0778
São Mateus do Sul	2	ID_8-3	1	0,0309	0,0776
São Mateus do Sul	3	ID_8-3	2	0,0308	0,0776
São Mateus do Sul	2	ID_8-3	3	0,0296	0,0764
Mafra	3	ID_8-3	4	0,0281	0,0748
Mafra	3	ID_8-3	1	0,0278	0,0746
São Mateus do Sul	1	ID_14-3	5	0,0277	0,0744
São Mateus do Sul	2	ID_14-3	1	0,0275	0,0743
São Mateus do Sul	4	ID_6-3	3	0,0272	0,074
São Mateus do Sul	1	ID_6-3	1	0,0266	0,0734
São Mateus do Sul	2	ID_8-3	4	0,0266	0,0734
São Mateus do Sul	4	ID_15-3	2	0,0264	0,0732
São Mateus do Sul	2	ID_1139	4	0,0262	0,073
Mafra	3	ID_7-3	4	0,0261	0,0729
São Mateus do Sul	1	ID_1236	5	0,0259	0,0727
São Mateus do Sul	3	ID_15-3	2	0,0258	0,0725
Mafra	1	ID_20-3	2	0,0258	0,0725
Mafra	4	ID_8-3	5	0,0253	0,072
São Mateus do Sul	3	ID_14-3	4	0,0250	0,0718
Porto União	3	ID_8-3	4	0,0251	0,0718
Mafra	2	ID_20-3	2	0,0246	0,0713
Mafra	3	ID_1-3	2	0,0245	0,0712
Mafra	4	ID_129-2	1	0,0243	0,0711
São Mateus do Sul	4	ID_4-3	4	0,0242	0,0709
Mafra	1	ID_6-3	4	0,0240	0,0707
Porto União	4	ID_8-3	4	0,0238	0,0706
São Mateus do Sul	1	ID_360	2	0,0238	0,0705
Mafra	2	ID_8-3	3	0,0237	0,0705
São Mateus do Sul	1	ID_1053	3	0,0235	0,0702
Mafra	3	ID_1053	1	0,0233	0,0701
São Mateus do Sul	1	ID_23-3	1	0,0233	0,0700
Mafra	4	ID_15-3	1	0,0232	0,0699
Mafra	1	ID_8-3	2	0,0229	0,0697
São Mateus do Sul	2	ID_1270	1	0,0228	0,0695
Mafra	2	ID_14-3	5	0,0217	0,0685
São Mateus do Sul	4	ID_1140	1	0,0216	0,0683
São Mateus do Sul	2	ID_1236	2	0,0215	0,0682
São Mateus do Sul	3	ID_1235	4	0,0212	0,0680
Mafra	4	ID_8-3	2	0,0213	0,0680
Porto União	1	ID_8-3	1	0,0212	0,0680
Mafra	2	ID_22-3	5	0,0211	0,0679
Porto União	4	ID_23-3	1	0,0212	0,0679

Continua...

Local	Bloco	Família	Árvore	<i>a</i>	<i>u+a</i>
Porto União	1	ID_8-3	3	0,0211	0,0679
São Mateus do Sul	2	ID_20-3	5	0,0209	0,0677
São Mateus do Sul	3	ID_14-3	1	0,0208	0,0676
São Mateus do Sul	2	ID_6-1	1	0,0209	0,0676
Porto União	2	ID_6-3	4	0,0209	0,0676
São Mateus do Sul	4	ID_14-3	1	0,0208	0,0675
São Mateus do Sul	3	ID_934	5	0,0206	0,0673
São Mateus do Sul	1	ID_129-2	2	0,0206	0,0673
São Mateus do Sul	3	ID_129-2	3	0,0206	0,0673
São Mateus do Sul	4	ID_22-3	3	0,0205	0,0673
Mafra	3	ID_23-3	5	0,0205	0,0673
Porto União	4	ID_29-3	4	0,0206	0,0673
São Mateus do Sul	3	ID_12-3	3	0,0204	0,0672
São Mateus do Sul	4	ID_8-3	1	0,0205	0,0672
São Mateus do Sul	1	ID_8-3	4	0,0205	0,0672
São Mateus do Sul	3	ID_8-3	1	0,0204	0,0672
Mafra	3	ID_95	5	0,0204	0,0671
Mafra	1	ID_1055	1	0,0202	0,0670
Mafra	4	ID_1140	3	0,0201	0,0669
São Mateus do Sul	1	ID_1-3	3	0,0201	0,0669
Mafra	2	ID_129-2	1	0,0201	0,0668
São Mateus do Sul	2	ID_433	5	0,0199	0,0667
São Mateus do Sul	2	ID_6-3	2	0,0200	0,0667
Porto União	4	ID_20-3	5	0,0199	0,0666
Mafra	3	ID_8-3	3	0,0198	0,0666
São Mateus do Sul	4	ID_7-3	1	0,0197	0,0665
Mafra	2	ID_8-3	1	0,0197	0,0665
São Mateus do Sul	3	ID_13-3	5	0,0197	0,0664
São Mateus do Sul	2	ID_13-3	5	0,0196	0,0664
Mafra	3	ID_23-3	1	0,0196	0,0664
Porto União	4	ID_6-3	3	0,0197	0,0664
São Mateus do Sul	1	ID_6-3	4	0,0196	0,0664
São Mateus do Sul	3	ID_15-3	1	0,0196	0,0663
São Mateus do Sul	3	ID_20-3	3	0,0196	0,0663
São Mateus do Sul	1	ID_433	3	0,0195	0,0662
Mafra	2	ID_1139	5	0,0195	0,0662
Mafra	3	ID_20-3	5	0,0195	0,0662
Mafra	2	ID_1-3	5	0,0193	0,0661

Fonte: O Autor (2018).

## APÊNDICE 5

Ordenamento para propagação assexuada, das progênies de *Eucalyptus benthamii* de acordo com o ganho individual, combinando os três locais do estudo, aos 36 meses de idade.

Local	Bloco	Família	Árvore	<i>g</i>	<i>u+g</i>
São Mateus do Sul	2	ID_22-3	3	0,0467	0,0934
São Mateus do Sul	2	ID_15-3	3	0,0456	0,0923
São Mateus do Sul	1	ID_1236	5	0,0411	0,0878
São Mateus do Sul	2	ID_8-3	1	0,0411	0,0878
São Mateus do Sul	3	ID_8-3	2	0,0410	0,0877
São Mateus do Sul	1	ID_360	2	0,0405	0,0872
Mafra	3	ID_7-3	4	0,0401	0,0868
São Mateus do Sul	1	ID_14-3	5	0,0400	0,0867
São Mateus do Sul	2	ID_14-3	1	0,0397	0,0864
São Mateus do Sul	2	ID_1270	1	0,0394	0,0861
São Mateus do Sul	2	ID_8-3	3	0,0389	0,0856
São Mateus do Sul	4	ID_6-3	3	0,0388	0,0855
São Mateus do Sul	4	ID_4-3	4	0,0382	0,0849
São Mateus do Sul	1	ID_6-3	1	0,0378	0,0845
São Mateus do Sul	2	ID_1139	4	0,0376	0,0843
Mafra	1	ID_20-3	2	0,0369	0,0836
São Mateus do Sul	4	ID_15-3	2	0,0367	0,0834
Mafra	4	ID_129-2	1	0,0365	0,0832
Mafra	3	ID_8-3	4	0,0363	0,0830
Mafra	3	ID_8-3	1	0,0359	0,0826
São Mateus do Sul	3	ID_1235	4	0,0356	0,0823
São Mateus do Sul	3	ID_14-3	4	0,0356	0,0823
São Mateus do Sul	3	ID_15-3	2	0,0355	0,0822
Mafra	3	ID_1-3	2	0,0353	0,0820
São Mateus do Sul	1	ID_1053	3	0,0350	0,0817
Mafra	2	ID_20-3	2	0,0349	0,0816
Mafra	3	ID_1053	1	0,0348	0,0815
Mafra	3	ID_95	5	0,0346	0,0813
São Mateus do Sul	2	ID_6-1	1	0,0340	0,0807
São Mateus do Sul	2	ID_8-3	4	0,0339	0,0806
São Mateus do Sul	4	ID_1140	1	0,0338	0,0805
São Mateus do Sul	2	ID_1236	2	0,0338	0,0805
Mafra	1	ID_6-3	4	0,0334	0,0801
Porto União	4	ID_29-3	4	0,0325	0,0792
São Mateus do Sul	1	ID_23-3	1	0,0324	0,0791
São Mateus do Sul	3	ID_12-3	3	0,0319	0,0786
Mafra	4	ID_8-3	5	0,0317	0,0784
São Mateus do Sul	4	ID_3-3	2	0,0315	0,0782
Mafra	4	ID_1140	3	0,0314	0,0781
Porto União	3	ID_8-3	4	0,0314	0,0781
Mafra	1	ID_1055	1	0,0313	0,0780
Mafra	4	ID_15-3	1	0,0312	0,0779
São Mateus do Sul	3	ID_934	5	0,0310	0,0777

Continua...

Local	Bloco	Família	Árvore	$g$	$u+g$
Mafra	2	ID_903	1	0,0305	0,0772
São Mateus do Sul	2	ID_433	5	0,0302	0,0769
São Mateus do Sul	1	ID_129-2	2	0,0302	0,0769
São Mateus do Sul	3	ID_129-2	3	0,0302	0,0769
Mafra	2	ID_22-3	5	0,0302	0,0769
Mafra	2	ID_14-3	5	0,0301	0,0768
São Mateus do Sul	3	ID_1270	1	0,0298	0,0765
Mafra	4	ID_25-3	4	0,0298	0,0765
Mafra	1	ID_1229	1	0,0297	0,0764
São Mateus do Sul	4	ID_7-3	1	0,0295	0,0762
São Mateus do Sul	1	ID_433	3	0,0294	0,0761
Mafra	2	ID_129-2	1	0,0294	0,0761
São Mateus do Sul	2	ID_980	1	0,0293	0,0760
Porto União	4	ID_8-3	4	0,0293	0,0760
São Mateus do Sul	4	ID_22-3	3	0,0292	0,0759
Mafra	2	ID_8-3	3	0,0291	0,0758
São Mateus do Sul	1	ID_12-3	3	0,0290	0,0757
São Mateus do Sul	2	ID_20-3	5	0,0289	0,0756
Porto União	4	ID_23-3	1	0,0289	0,0756
São Mateus do Sul	3	ID_14-3	1	0,0286	0,0753
São Mateus do Sul	4	ID_14-3	1	0,0285	0,0752
São Mateus do Sul	1	ID_1311	2	0,0284	0,0751
São Mateus do Sul	3	ID_13-3	5	0,0284	0,0751
São Mateus do Sul	2	ID_13-3	5	0,0283	0,0750
Porto União	2	ID_6-3	4	0,0282	0,0749
São Mateus do Sul	2	ID_852	1	0,0281	0,0748
São Mateus do Sul	1	ID_1-3	3	0,0281	0,0748
São Mateus do Sul	3	ID_1229	1	0,0280	0,0747
Mafra	4	ID_129-2	4	0,0280	0,0747
Mafra	2	ID_19-3	3	0,0280	0,0747
Mafra	2	ID_29-3	1	0,0280	0,0747
Mafra	2	ID_1235	5	0,0279	0,0746
Mafra	3	ID_23-3	5	0,0278	0,0745
Mafra	1	ID_8-3	2	0,0278	0,0745
Mafra	2	ID_910	5	0,0277	0,0744
São Mateus do Sul	4	ID_11-3	1	0,0274	0,0741
São Mateus do Sul	4	ID_6-1	3	0,0273	0,0740
Porto União	4	ID_20-3	5	0,0271	0,0738

Fonte: O Autor (2018).