

**ROSANA CLARA VICTORIA HIGA**

**AVALIAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE *Eucalyptus dunnii* Maiden ATINGIDOS  
POR GEADAS EM CAMPO DO TENENTE, PR**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau e título de Doutor.  
Orientador: Prof. Dr. Rudi Arno Seitz

**CURITIBA  
1998**

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Rudi Arno Seitz pelo apoio e pela orientação da parte final do trabalho.

Ao Prof. Mário Takao Inoue pela orientação desse trabalho e ao Prof. Dr. Antonio José de Araújo pela co-orientação e sugestões durante toda a execução desse trabalho.

Ao Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, pela oportunidade e apoio financeiro para a realização deste trabalho.

A Agloflora, atualmente Placas do Paraná S.A., pela implantação e manutenção do experimento, coleta e cessão dos dados. Aos engenheiros Roberto Trevisan e Marcos V. R. de Souza pelo apoio prestado durante toda a fase de campo e sugestões no desenvolvimento desse trabalho.

Ao técnico florestal Antonio Sadao Kodama pela amizade, pelo auxílio na coleta de dados e contínuo apoio durante todo o período da execução desse trabalho.

A bibliotecária Lídia Woronkof do CNPflorestas / EMBRAPA, pela colaboração prestada na normatização de apresentação das citações e referências bibliográficas. A auxiliar de biblioteca Rosana Marques pelo pronto atendimento durante o período de revisão bibliográfica.

Ao Dr. Carlos Alberto Ferreira pelas sugestões, principalmente referentes ao uso da análise multivariada para interpretação de danos de geada.

Ao Prof. Jair Mendes Marques do Departamento de Estatística da UFPr pela colaboração na execução e interpretação da análise dos componentes principais.

A todos os colegas, que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e, em especial, Erich G. Schaitza, Dr. Edilson Batista de Oliveira, Marcos Deon Vilela de Resende, Renato Dedecek e Álvaro Figueiredo do CNPFlorestas. Ao amigo Admir Lopes Mora pelo apoio inestimável.

Especial agradecimento ao meu marido Dr. Antonio Rioyei Higa pelo apoio, colaboração e compreensão em todos os aspectos e durante toda a execução desse trabalho. A minha filha Suzue Victoria Higa pela correção do português e inglês pelo carinho e compreensão durante a execução do trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS DO ANEXO .....	ix
RESUMO .....	x
ABSTRACT .....	xi
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1 A ESPÉCIE .....	4
2.2 CONCEITOS GERAIS SOBRE GEADA .....	6
2.2.1 Tipos de geada .....	7
2.2.2 Resistência a geadas.....	9
2.2.3 Resistência a geadas de diferentes órgãos e tecidos .....	12
2.2.4 Resistência a geadas em plantas de diferentes idades.....	13
2.2.5 Aclimação a geadas.....	14
2.3 DANOS PROVOCADOS POR GEADA.....	15
2.3.1 Congelamento intra e extracelular .....	17
2.3.2 Sintomas de danos por geadas .....	18
2.4 AVALIAÇÃO DE DANOS CAUSADOS POR GEADAS.....	19
2.5 FATORES FISIOLÓGICOS RELACIONADOS À RESISTÊNCIA A GEADAS .....	20
2.6 VARIAÇÃO GENÉTICA DA RESISTÊNCIA A GEADAS.....	25
2.7 RECUPERAÇÃO DE PLANTAS APÓS DANOS POR GEADAS .....	26
2.8. RESISTÊNCIA ÀS GEADAS EM <i>Eucalyptus</i> spp.....	27
2.8.1 Distribuição natural do eucalipto em relação à ocorrência de geadas .....	28
2.8.2 Aspectos fisiológicos da resistência a geadas em eucaliptos .....	30
2.8.3 Aspectos morfológicos da resistência a geadas em eucaliptos.....	33
2.8.4 Variabilidade genética da resistência a geadas em eucaliptos .....	34
2.9 RESILIÊNCIA A GEADAS EM EUCALIPTOS.....	38

2.10 FATORES EDÁFICOS E A RESISTÊNCIA A GEADAS EM EUCALIPTOS.....	39
2.11 PARÂMETROS GENÉTICOS PARA VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO E RESISTÊNCIA A GEADAS.....	40
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>42</b>
3.1 MATERIAL GENÉTICO.....	42
3.2 ÉPOCA E LOCAL DE INSTALAÇÃO.....	42
3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	43
3.4 AVALIAÇÕES .....	43
3.5 ANÁLISE DOS DADOS.....	46
3.5.1 Análise de variância.....	46
3.5.2 Estimativa de parâmetros genéticos e fenotípicos.....	47
3.5.3 Correlações entre os caracteres analisados .....	51
3.5.4 Análise multivariada.....	52
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>53</b>
4.1 CRESCIMENTO.....	53
4.2 RESPOSTA AOS DANOS CAUSADOS POR GEADA .....	55
4.3 EFEITO DA GEADA NO CRESCIMENTO EM ALTURA.....	67
4.3.1 Análise de componentes principais .....	69
4.4 PARÂMETROS GENÉTICOS.....	77
4.5 CORRELAÇÕES GENÉTICAS E FENOTÍPICAS.....	80
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>85</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>93</b>

## LISTA DE TABELAS

1	DANOS CAUSADOS POR GEADAS (ESCALA DE 0 A 10) EM MUDAS DE <i>E. viminalis</i> EM FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ACLIMATAÇÃO (PATON, 1981).....	30
2	NOTAS ATRIBUÍDAS AOS DANOS CAUSADO POR GEADAS, ADAPTADO DE FRANKLIN; MESKIMEN (1983).....	44
3	ESQUEMA DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA, AO NÍVEL DE INDIVÍDUO.....	47
4	EXPRESSÕES USADAS PARA O CÁLCULO DOS COMPONENTES GENÉTICOS DOS QUADRADOS MÉDIOS (VENCOVSKY, 1978).....	48
5	PROGÊNIES DE <i>E. dunnii</i> COM OS MAIORES (NÚMEROS 11, 13, 16, 19, 20 E 36) E MENORES (NÚMEROS 01 E 21) CRESCIMENTO EM ALTURA (m), E DAP (cm) E TESTEMUNHAS (NÚMEROS 41 E 42) AOS 12 (H1 E DAP 1), 26 (H2, H3 e DAP 2) E 36 MESES (H4 E DAP 3) DE IDADE EM CAMPO DO TENENTE, PR.....	54
6	RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DE 42 PROGÊNIES DE <i>E. dunnii</i> PARA ALTURA, DAP E VOLUME CILÍNDRICO, MEDIDOS AOS 12, 26 E 36 MESES DE IDADE EM, CAMPO DO TENENTE, PR.....	54
7	RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM PROGÊNIES DE <i>E. dunnii</i> PLANTADOS EM CAMPO DO TENENTE, PR; RESISTÊNCIA (AVALIADAS AOS 18 MESES DE IDADE), NÚMERO DE BROTOS APICAIS (PLANTAS COM 26 MESES DE IDADE); SOBREVIVÊNCIA (%) AOS 12, 26 E 36 MESES DE IDADE E RESILIÊNCIA AOS 26 MESES DE IDADE.....	56
8	AVALIAÇÃO DAS PROGÊNIES PARA RESISTÊNCIA A GEADAS AOS 18 MESES DE IDADE (RESIST.), E SOBREVIVÊNCIA (SOBREV. %), NÚMERO DE BROTOS APICAIS (NB) E RESILIÊNCIA A GEADAS (RESIL. %) AOS 26 MESES DE IDADE, DE PROGÊNIES DE <i>E. dunnii</i> , PLANTADAS EM CAMPO DO TENENTE, PR.....	59
9	RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS ALTURAS AVALIADAS AOS 12 MESES (H1), 26 MESES (H2 E H3) E 36 MESES (H4) DE PROGÊNIES DE <i>E. dunnii</i> EM CAMPO DO TENENTE, PR.....	67

10	CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA CRESCIMENTO EM ALTURA (m) AOS 12 (H1), 26 (H1 E H2) E 36 (H4) MESES DE IDADE, RESISTÊNCIA A GEADAS (RESIST.), RESILIÊNCIA (RESIL.), SOBREVIVÊNCIA (SOBREV.), E NÚMERO DE BROTOS APICAIS (N.B.) AOS 26 MESES DE IDADE DE PROGÊNIES DE <i>E. dunnii</i> EM CAMPO DO TENENTE, PR.....	69
11	RESULTADO DA ANÁLISE DE CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS PADRONIZADAS E OS COMPONENTES PRINCIPAIS.....	70
12	PROPORÇÃO DE VARIÂNCIA EXPLICADA PELOS AUTO VALORES DA MATRIZ CORRELAÇÃO .....	70
13	ESTRUTURA DO FATOR, COMUNALIDADES, AUTOVALORES E VARIÂNCIAS EXPLICADA PARA CADA FATOR COMPOSTO .....	70
14	SCORES FATORIAIS FINAIS PONDERADOS E ORDENADOS PARA AS ALTURAS E RESISTÊNCIA A GEADAS DE PROGÊNIES DE <i>E. dunnii</i> EM CAMPO DO TENENTE, PR .....	75
15	COEFICIENTES DE HERDABILIDADE E OS DESVIOS AO NÍVEL DE FAMÍLIA E AO NÍVEL DE INDIVÍDUO PARA ALTURAS (H1, H2, H3 E H4), DAP AOS 36 MESES, VOLUME CILÍNDRICO AOS 26 (VOL. 1) E 36 MESES DE IDADE (VOL. 2), RESISTÊNCIA, RESILIÊNCIA E NÚMERO DE BROTOS APICAIS (NB), ESTIMADOS, NO TESTE DE PROGÊNIE DE <i>E. dunnii</i> EM CAMPO DO TENENTE, PR.....	77
16	ESTIMATIVA DA CORRELAÇÃO GENÉTICA ADITIVA ( $r_a$ ) E FENOTÍPICA AO NÍVEL DE PROGÊNIES ( $r_F$ ) PARA CRESCIMENTO EM ALTURA (m) AOS 12, 26 E 36 MESES DE IDADE (H1, H2, H3 E H4), DAP AOS 36 MESES DE IDADE, VOLUME CILÍNDRICO AOS 26 (VOL.1) E 36 MESES (VOL.2) DE IDADE, RESISTÊNCIA A GEADAS (RESIT.), RESILIÊNCIA (RESIL.), SOBREVIVÊNCIA (SOBREV.) E NÚMERO DE BROTOS APICAIS (N.B.) AOS 26 MESES DE IDADE, ENTRE PARES DE CARACTERÍSTICAS DE <i>E. dunnii</i> EM CAMPO DO TENENTE, PR.....	83

## LISTA DE FIGURAS

1	ESTRATIFICAÇÃO DO AR FRIO DURANTE NOITES CLARAS NA AUSÊNCIA DE VENTOS (MODIFICADO DE BURCHARDT, 1963) .....	9
2	COMPONENTES DA RESISTÊNCIA A GEADAS (LARCHER, 1983) .....	10
3	MECANISMO POSTULADO DE DESNATURAÇÃO DE PROTEÍNA DEVIDO A FORMAÇÃO INTERMOLECULAR DE LIGAÇÕES S-S DURANTE O CONGELAMENTO (LEVITT, 1980).....	22
4	ESQUEMA DE MEDIÇÃO DE ALTURA USADO .....	45
5	PROGÊNIES DE <i>E.dunnii</i> AOS 26 MESES DE IDADE NÃO APRESENTANDO DANO DE GEADA EM CAMPO DO TENENTE, PR. ....	60
6	BIFURCAÇÃO CAUSADA POR GEADA EM <i>E. dunnii</i> AOS 26 MESES DE IDADE EM CAMPO DO TENENTE, PR. ....	61
7	BIFURCAÇÃO BASAL CAUSADA POR GEADA EM <i>E. dunnii</i> AOS 26 MESES DE IDADE EM CAMPO DO TENENTE, PR.....	62
8	BIFURCAÇÃO CAUSADA POR GEADA E SEGUIDA DE QUEBRA EM <i>E. dunnii</i> AOS 26 MESES DE IDADE EM CAMPO DO TENENTE, PR.....	63
9	BIFURCAÇÃO BASAL CAUSADA POR GEADA EM <i>E. dunnii</i> AOS 26 MESES DE IDADE EM CAMPO DO TENENTE, PR. ....	64
10	DEFORMAÇÃO CAUSADA POR GEADA EM <i>E. dunnii</i> AOS 26 MESES DE IDADE EM CAMPO DO TENENTE, PR. ....	65
11	DISPERSÃO DOS ESCORES ROTACIONADOS: (CRESCIMENTO EM ALTURA X RESISTÊNCIA A GEADAS) NA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (OS NÚMEROS REPRESENTAM AS PROGÊNIES TESTADAS).....	73
12	PESO DOS FATORES ROTACIONADOS (CRESCIMENTO X RESISTÊNCIA A GEADAS) NA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS .....	74

## LISTA DE TABELAS DO ANEXO

1	DADOS METEREOLÓGICOS COLETADOS EM CAMPO DO TENENTE PELA AGLOFLORA.....	86
2	SOBREVIVÊNCIA (%) DE PROGÊNIES DE <i>E. dunnii</i> AOS 12 MESES, 26 MESES E 36 MESES DE IDADE EM CAMPO DO TENENTE, PR.....	87
3	ALTURA (m) DE PROGÊNIES DE <i>E. dunnii</i> AOS 12 MESES (H1), 26 MESES (H2 E H3) E 36 MESES (H4) DE IDADE EM CAMPO DO TENENTE, PR.....	88
4	DAP (cm) DE PROGÊNIES DE <i>E. dunnii</i> AOS 12 MESES, 26 MESES E 36 MESES DE IDADE EM CAMPO DO TENENTE, PR.....	89
5	VOLUME CILÍNDRICO (m <sup>3</sup> ) DE PROGÊNIES DE <i>E. dunnii</i> AOS 26 MESES E 36 MESES DE IDADE EM CAMPO DO TENENTE, PR.....	90
6	SCORES (VARIÁVEIS PADRONIZADOS) DE ALTURA AOS 12 MESES (H1), 26 MESES (H2 E H3) E 36 MESES (H4) DE PROGÊNIES DE <i>E. dunnii</i> EM CAMPO DO TENENTE, PR.....	91
7	INFORMAÇÕES SOBRE AS MATRIZES AUSTRALIANAS E TESTEMUNHAS QUE FORNECERAM AS SEMENTES: LOCAL DE COLETA, ALTURA (m) E DAP (cm) DA ÁRVORE MATRIZ.....	92

## RESUMO

### AVALIAÇÃO DE DANOS E RECUPERAÇÃO DE *Eucalyptus dunnii* Maiden ATINGIDOS POR GEADA EM CAMPO DO TENENTE, PR.

Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos dos danos causados por geadas, ocorridas em junho de 1994, num teste de progênie de meio-irmãos de *Eucalyptus dunnii* Maiden, plantado em fevereiro de 1993 em Campo do Tenente, PR. O clima da região é classificado como submontano úmido e muito úmido com ocorrência de até 40 geadas por ano. O experimento foi constituído de 40 progênies originadas de matrizes amostradas em populações naturais na Austrália e duas progênies provenientes de sementes de árvores selecionadas no local e usadas como testemunhas. O delineamento usado foi de blocos casualizados com seis repetições e parcelas lineares com quatro plantas. O espaçamento entre plantas foi de 3,0 m x 3,0 m. Foi adotado uma bordadura dupla em todo o experimento. Após a primeira avaliação de sobrevivência, altura e DAP, feita aos 12 meses de idade, as plantas foram atingidas pelas geadas ocorridas em junho de 1994, considerada severa para a região. Uma avaliação visual dos danos, atribuindo-se notas de 0 a 10, foi feita 30 dias após a ocorrência da primeira geada. Também foram feitas avaliações de sobrevivência, altura e DAP aos 26 e 36 meses de idade. Todas as plantas do experimento apresentaram sintomas, em níveis variáveis, de danos causados pelas geadas. No entanto, as geadas não afetaram a sobrevivência e também não alteraram as posições hierárquicas das progênies em relação ao crescimento em altura, nas avaliações realizadas nos dois anos subsequentes. As testemunhas apresentaram crescimento em altura, DAP e volume próximo a média do experimento, mas resistência a geadas superior a média, mostrando que o material genético estava mais adaptado as condições climáticas locais. As notas atribuídas na avaliação realizada 30 dias após a ocorrência das geadas foram consideradas uma expressão de resistência a geadas. O percentual de crescimento em altura posterior as geadas, medido a partir das marcas dos danos, em relação a altura total aos 26 meses de idade, foi chamado de resiliência e expressa a capacidade de recuperação da planta. Essas características são importantes como critério de seleção de árvores para plantios em locais de ocorrência de geadas. As progênies mostraram diferenças altamente significativas para essas duas características. No entanto, elas apresentaram baixa correlações fenotípica e genética entre si. As progênies apresentaram diferenças significativas em relação ao número de brotos apicais. Essa característica foi correlacionada genética e fenotípicamente com resiliência, mas não com resistência a geadas. Resistência a geadas e características de crescimento apresentaram alta correlação genética. A análise multivariada, baseada nas medições de altura e resistência a geadas, mostrou que a altura aos 12 meses e altura do dano aos 26 meses de idade expressam 90,25% da variância total. Entre as características analisadas, o número de brotos apresentou os menores valores estimados para coeficiente de herdabilidade e baixo erro. Por outro lado, a resistência a geadas apresentou os maiores valores para a estimativa do coeficiente de herdabilidade, tanto ao nível de família como ao nível de indivíduo, mostrando a potencialidade de melhoramento genético para esta característica. Embora, neste caso, as plantas tenham se recuperado dos danos causados pelas geadas, as marcas observadas posteriormente mostram que a qualidade da madeira pode ter sido comprometida. A comparação dos resultados obtidos nesse estudo com os relatados na literatura evidenciam a complexidade do assunto e os riscos de generalização de recomendações de práticas silviculturais em regiões de ocorrência de geadas.

## ABSTRACT

### FROST DAMAGE EVALUATION AND RECOVERY OF *Eucalyptus dunnii* Maiden IN CAMPO DO TENENTE, PR.

The study aimed to evaluate frost damage on a half sib progeny trial of *E. dunnii* Maiden established in February, 1993 in Campo do Tenente, PR. The climate is humid and very humid with 40 frosts a year. Seeds from 40 mother trees were sampled in Australia and seeds from two local trees were used as control. Statistical design was randomized blocks with six replication and four plants per linear plot. Spacing among plants was 3,0 m x 3,0 m with double border. First data collection (survival, total height and DBH) was carried out at 12 months of age. In June 1994, when the plants were 16 months old, they damaged by frosts. Damage caused by these frosts were evaluated 30 days later. Frost damage was visually scored from 0 (totally damaged) to 10 (no visible damage). Data collection was also carried out at 26 and 36 months of age. All the plants showed damage symptoms at different levels, but frosts did not affect survival and progeny ranking in relation to height growth. Control growth was similar to the experiment average, but their frost resistance were superior showing that the genetic material was better adapted to local climatic conditions. Damage scores were considered as frost resistance and height growth percentage after damage in relation to total height was considered as frost resilience, representing the plants capacity to recover from frost damage. These two traits are considered important for tree selection in frost prone areas. The difference among progenies was highly significant for both. Genetic and phenotypic correlation among them were low. Progenies also showed difference in relation to number of shoots per tree. It was positively correlated with frost resilience but not with frost resistance. Frost resistance was highly and positively correlated with all the growth traits. Multivariate analysis based on height and frost resistance evaluation showed that height at 12 months of age and height of damage explained 90,25% of the total variance. Number of apical shoots showed the smallest estimated heritabilities values among the traits. On the other hand, frost resistance showed the largest values for heritabilities at family and individual levels. It shows the potential for tree improvement for this trait. Although in this case plants have recovered from frost damage, scars left on the trees show that wood quality could be negatively affected. Comparing these results with those found in literature it becomes clear that frost is a complex matter and to extend general recommendations for silvicultural practices can be risky.

## 1 INTRODUÇÃO

A geada é um dos principais fatores limitantes para plantios de eucalipto em várias partes do mundo. Danos severos foram observados no norte da Califórnia, na África do Sul e Austrália (PATON, 1982). TURNBULL; ELDRIDGE, (1983) citam alguns episódios em que geadas provocaram a mortalidade em 95% das plantas em 7 mil a 10 mil hectares de eucalipto plantados no sul da Rússia.

Um programa de melhoramento genético para resistência a geadas em eucaliptos foi implantado na África do Sul em 1972-73 e, atualmente, mais de 65 mil hectares são plantados anualmente com espécies resistentes, o que corresponde a 20% da área total de plantio com eucaliptos (DARROW, 1995).

No Brasil, estima-se que 751 mil km<sup>2</sup> ou 8,8% da área total do país esteja sujeita à ocorrência de geadas (TOSI; VÉLEZ-RODRIGUES, 1983). Nessa região, a área de cobertura florestal foi reduzida a níveis críticos principalmente pela expansão da agricultura. O plantio de espécies florestais de rápido crescimento é uma alternativa recomendável para suprir a demanda de produtos florestais sob os aspectos técnicos e econômicos. Embora o fenômeno esteja restrito a algumas regiões, episódios como os ocorridos particularmente em 1975 e 1994 fornecem uma idéia do nível de prejuízo que geadas mais severas podem acarretar. As geadas ocorridas durante o mês de junho de 1994 ocasionaram perdas consideráveis afetando aproximadamente 30 mil hectares de plantações de eucaliptos, representando um prejuízo financeiro da ordem de R\$ 4,5 milhões (HIGA et al. 1995).

As espécies de eucalipto resistentes a geadas são originárias da região alpina da Austrália e, de maneira geral, são de crescimento lento. Poucas espécies desse gênero apresentam a combinação de rápido crescimento e resistência a geadas em níveis considerados comercialmente satisfatórios. Entre essas, ainda, a maioria sofre algum tipo de dano, especialmente na ocorrência de geadas atípicas.

O número de trabalhos técnicos e científicos sobre o efeito de geadas em plantas arbóreas é extenso, indicando a importância do assunto. No entanto, a maioria desses trabalhos aborda aspectos relacionados a níveis de danos e comparações entre espécies em diferentes locais. O efeito das geadas a médio e longo prazo e a capacidade de recuperação são informações escassas, principalmente para eucaliptos. Esses aspectos são de grande importância, uma vez que influem na tomada de decisões quanto ao futuro de plantações de eucalipto afetadas por geadas.

Somente nos últimos anos certos fatos relacionados a danos de geadas foram esclarecidos. Se a este conhecimento forem adicionadas informações relativas ao comportamento pós geada, os riscos podem ser conhecidos e melhor avaliados, fornecendo subsídios para programas de reflorestamento.

Desde a ocorrência da geada de julho de 1975, considerada uma das mais fortes já registradas no Brasil e que causou grandes prejuízos ao setor florestal, o *Eucalyptus dunnii* Maiden vem destacando-se como espécie promissora para a região de ocorrência de geadas. Além disso, a espécie apresenta boa forma e bom desenvolvimento. Sua área de plantio só não é maior na região sul do Brasil porque a oferta de sementes não é suficiente para atender à demanda.

O *E. dunnii* tem uma área de ocorrência natural restrita e floresce mais tarde que a maioria das espécies do gênero. A escassez de sementes está sendo solucionada parcialmente pela implantação de áreas de produção e pomares de sementes e também com o emprego de técnicas para acelerar o florescimento. O conhecimento do efeito de geadas em árvores plantadas nos locais em que a espécie poderá vir a ser plantada em larga escala é, portanto, fundamental para implantação de programas de produção de sementes melhoradas.

Esse trabalho teve como objetivo analisar os efeitos das geadas ocorridas em junho de 1994 em progênies de *E. dunnii* plantadas em fevereiro de 1993, em Campo do Tenente, PR, considerando:

- a) a sobrevivência, o crescimento em altura e os níveis de danos causados pelas geadas;
- b) a posição hierárquica das progênies em relação ao crescimento em altura antes e depois da ocorrência das geadas e sua recuperação (resiliência);
- c) a magnitude dos parâmetros genéticos para variáveis de crescimento e resistência a geadas;
- d) o comportamento das testemunhas (sementes coletadas de árvores locais) em relação às progênies introduzidas da Austrália;
- e) a utilização da análise de componentes principais envolvendo variáveis de crescimento e resistência a geadas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A ESPÉCIE

O *Eucalyptus dunnii* Maiden tem uma ocorrência natural restrita ao nordeste do estado de Nova Gales do Sul e sudeste do estado de Queensland, Austrália. A espécie está concentrada em duas áreas disjuntas, uma situada 250 km a oeste de Coffs Harbour, no estado de Nova Gales do Sul e a outra ao norte de "McPherson Range" e nas áreas de altitude ao leste de Warwick, no estado de Queensland. Essas áreas estão localizadas entre 28 ° a 30 ° 15' de latitude Sul e a altitude é de 300 m a 700 m. O clima nessas áreas é do tipo Cfa (Koeppen), subtropical úmido com temperatura média máxima do mês mais quente entre 27 °C a 30 °C e a média das mínimas do mês mais frio entre 0 °C e 3 °C, podendo ocorrer de 20 a 60 geadas por ano. A precipitação média anual está entre 1.000 mm a 1.750 mm, concentrada no verão, mas nenhum mês com menos de 40 mm. A espécie é encontrada principalmente nas partes mais baixas dos vales e encostas, mas também cresce nos topos de elevações em solos basálticos próximos à mata tropical da Austrália. O *E. dunnii* prefere solos úmidos e férteis, principalmente de origem basáltica, mas também cresce em solos derivados de rochas sedimentares, principalmente naqueles com boas condições de drenagem. O *E. dunnii* é uma espécie da floresta aberta alta e é comumente associado ao *E. saligna*, *E. microcorys*, *E. grandis*, *E. propinqua*, *E. dalrympieana* subsp. *heptantha* e *Casuarina torulosa* (BOLAND et al. 1984).

PRYOR; JOHNSON (1971) classificaram o *E. dunnii* na série *Viminales* após o *E. angophoroides*. A espécie é filogeneticamente similar ao *E. saligna* e ao *E. grandis*. A classificação segundo os autores é: gênero *Myrtaceae*; subgênero *Symphyomyrtus*; série *Viminales*.

Segundo BENSON; HAGER (1993) a espécie é considerada rara, mas não em extinção, porque possui mais de 1.000 indivíduos em áreas de reserva (a estimativa é de 6.200), mas a exploração nas últimas décadas deixou as populações com maioria de indivíduos (86%) com DAP inferior a 50 cm.

No Zimbabwe, a espécie, quando plantada a 1.300 m de altitude, apresentou boas taxas de crescimento e forma, embora tenha sofrido danos severos em consequência de geadas. No entanto, os resultados não foram satisfatórios na altitude de 1.860 m (POYTON, 1979). Na África do Sul, o *E. dunnii* também desenvolve-se bem em altitudes que variam de 1.200 a 1.400 m, mas o desenvolvimento foi abaixo da média a 1.600 m, onde sofreu danos consideráveis causados por geadas (SCHONAU; GARDENER, 1991). Na Argentina, o *E. dunnii* é considerado potencial para a região sul de Entre Rios e para as regiões de ocorrência de geadas do estado de Misiones (MARCÓ; LOPÉZ, 1995; DALLATEA; MARCÓ, 1994).

No sul do Brasil, o *E. dunnii* tem se destacado pelo rápido crescimento, uniformidade dos talhões, forma das árvores e resistência à geada não muito severas. O plantio comercial com a espécie é indicado para todo o estado de Santa Catarina em altitudes inferiores a 1.000 m, especialmente acima dos 500 m, onde o inverno é fator limitante a muito outros eucaliptos (EMBRAPA, 1986). O

seu plantio também é recomendado em regiões de ocorrência de geadas no estado do Paraná (EMBRAPA, 1988).

HIGA et al. (1997) confirmaram o potencial da espécie para a região sul do Brasil. Resultados aos oito anos de idade, em Campo do Tenente, PR apontaram a espécie, entre outras 20 do gênero, como uma das melhores em crescimento e resistência a geadas. Também OLIVEIRA (1988) relata que o *E. dunnii*, junto com *E. viminalis*, apresentaram crescimento melhor que outras 31 espécies na região de Três Barras, SC.

A madeira do *E. dunnii* é indicada para lenha, carvão, celulose, moirões, postes e madeira serrada. A densidade básica da madeira, aos oito anos, foi estimada em 0,482 g/cm<sup>3</sup>. A análise da composição química mostrou 7,96% de extrativos totais, 70,70% de holocelulose e 21,34% de lignina (HIGA, informações pessoais). Na Austrália, as indústrias madeireiras consideram a espécie de baixa qualidade para serraria, apresentando empenamento e retração durante a secagem (BENSON; HAGER, 1993).

## 2.2 CONCEITOS GERAIS SOBRE GEADAS

Geadas são condições na qual a temperatura ambiente cai abaixo de 0 °C. O processo de solidificação da água e a formação de gelo numa solução aquosa é chamado congelamento. Nos tecidos das plantas, o congelamento da água ocorre em temperaturas menores que 0 °C. Dessa forma, dados climatológicos de geadas não fornecem necessariamente a informação apropriada para o

juízo de risco a que as plantas são submetidas uma vez que os pontos de congelamento são diferentes (SAKAI; LARCHER, 1987).

Somente 25% de toda a área continental mundial pode ser considerada absolutamente livre de geadas (SAKAI; LARCHER, 1987).

### **2.2.1 Tipos de geada**

Segundo CARAMORI; MANETTI FILHO (1993) nas condições do sul do Brasil podem ocorrer basicamente dois tipos de geada: geadas de vento e geadas de radiação. Os dois tipos são provenientes da penetração de massas de ar polar sobre a região durante o período de inverno.

As geadas de vento são formadas a partir do movimento de grandes quantidades de massas de ar frio. Essas massas de ar em movimento sempre apresentam umidade muito baixa, devido às suas baixas temperaturas. As geadas de radiação ocorrem após o deslocamento desta frente fria para outra região, quando o local fica sob condições de céu limpo, ar calmo e umidade do ar extremamente baixa, e as plantas perdem calor por emissão de radiação.

Numa geada de radiação, a temperatura das plantas normalmente se iguala àquela do ambiente num curto período de tempo. Apenas as partes maiores das plantas, contendo grandes quantidades de água, perdem calor em menor velocidade (SAKAI; LARCHER, 1987).

Cada tipo de geada pode ser ainda classificado em geada branca, com a formação de gelo visível externamente ocasionado pela queda de temperatura e

alta umidade relativa, ou geada negra, que ocorre quando a umidade relativa do ar é muito baixa e não ocorre a formação de gelo visível externamente.

A topografia é responsável pela concentração de massas de ar com baixas temperaturas, provocadas por correntes de ar frio, nos vales e depressões formando os "bolsões" ou "corredores" de geadas (SAKAI; LARCHER, 1987; PATON, 1982).

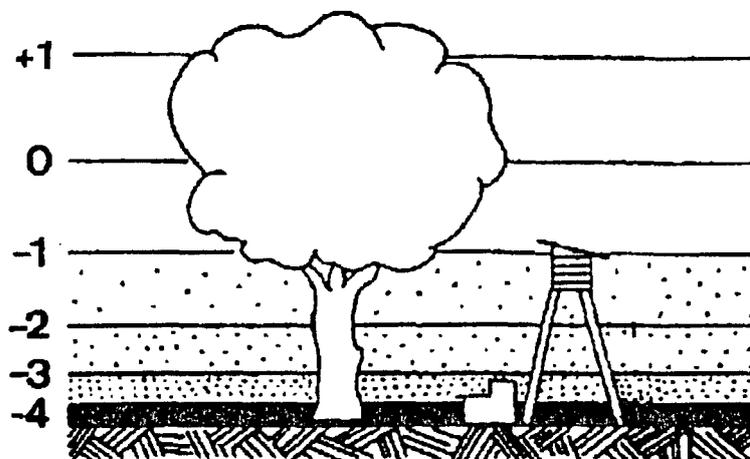
As temperaturas mais baixas num pequeno grupo de plantas ou em plantas isoladas ficam na parte imediatamente superior à superfície (Figura 1, modificado de BURCHARDT<sup>1</sup>, 1963, citado por SAKAI; LARCHER, 1987). Por outro lado, num maciço florestal a copa de árvores impede a perda de calor, reduzindo o efeito da geada. Dados climáticos são tomados à 1,2 m do solo em abrigos meteorológicos, e podem corresponder às temperaturas de árvores isoladas, podendo ser diferentes da temperatura próxima ao nível do solo ou em locais de vegetação densa (SAKAI; LARCHER, 1987).

A queda de temperatura abaixo de 0 °C na região no solo é lenta e só ocorre se as baixas temperaturas persistirem por um longo período de tempo. Nesse caso a velocidade de penetração e a profundidade atingida dependem da cobertura, do teor de umidade e do tipo de solo. Solos mais secos congelam mais rapidamente que solos mais úmidos, assim como solos descobertos congelam mais rapidamente que solos com algum tipo de cobertura (SAKAI; LARCHER, 1987).

---

<sup>1</sup> BURCHARDT, H. (1963) Meteorologische voraussetzungender Nachtfroste. In: Schnelle F. (ed) Frostschutz im Pflanzenbau, vol I. Bayer-Landw-Verlag, Munchen, pp 13-81.

FIGURA 1 - ESTRATIFICAÇÃO DO AR FRIO DURANTE NOITES CLARAS NA AUSÊNCIA DE VENTOS (MODIFICADOS DE BURCHARDT, 1963).



### 2.2.2 Resistência a geadas

A resistência ao frio engloba a resistência das plantas a baixas temperaturas e resistência a geadas (FIGURA 2). Resistência a geadas por sua vez, envolve mecanismos de prevenção e tolerância.

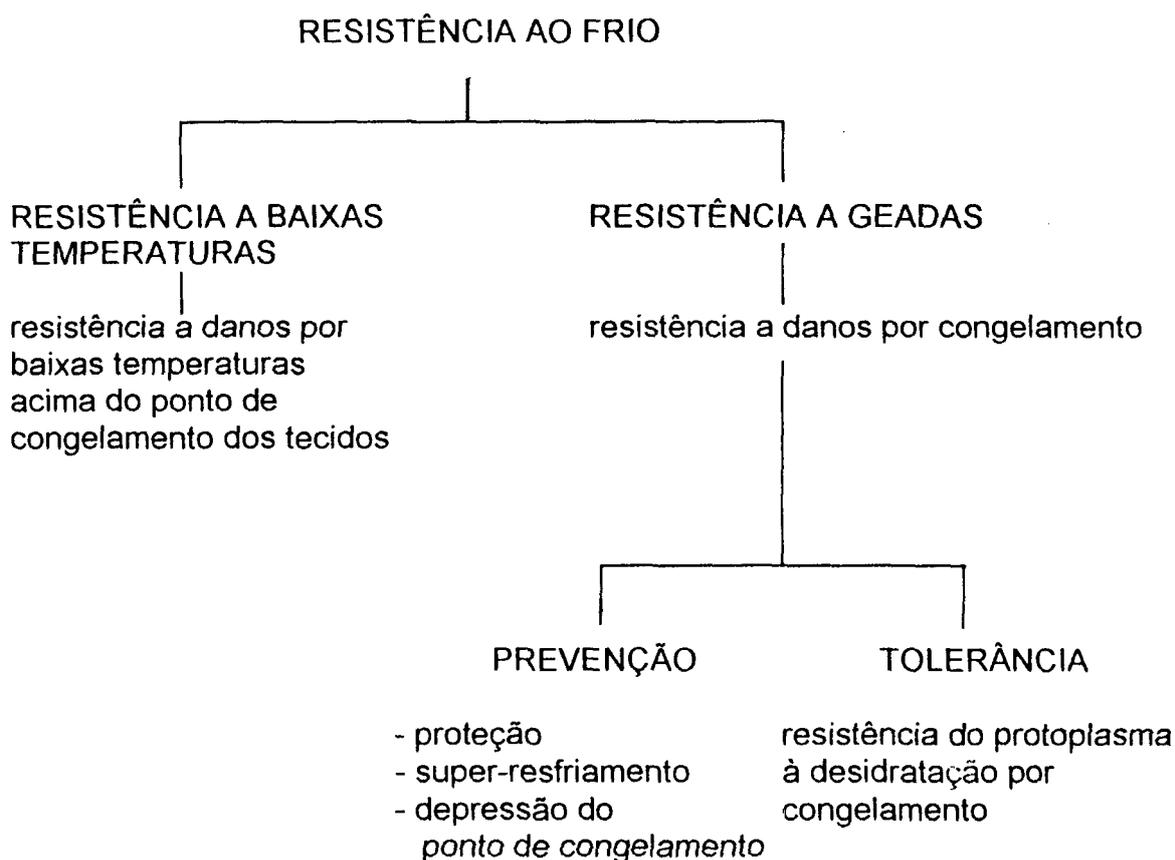
Temperaturas abaixo de 0 °C induzem ao estresse, que não é diretamente ligado a baixas temperaturas ("chilling"), mas ao congelamento da água na planta. Nessas temperaturas, o metabolismo das células é reduzido ao mínimo, interrompendo, dessa forma, as funções fisiológicas mais importantes. A resistência nesse caso, está relacionada à tolerância, ou seja, à habilidade da

planta em sobreviver ao congelamento sem sofrer danos (MOHR; SCHOPFER, 1995).

Prevenção se dá através da proteção, super-resfriamento e/ou depressão do ponto de congelamento. Os mecanismos de proteção só são eficientes por curtos períodos de exposição a baixas temperaturas, como por exemplo, as partes internas de copas bastante densas, partes internas de plantas ou órgãos suculentos e gemas localizadas nas partes mais profundas e/ou protegidas.

Super-resfriamento é o processo pelo qual muitas plantas evitam danos causados pelo congelamento simplesmente abaixando a temperatura do ponto de fusão da água.

FIGURA 2 - COMPONENTES DA RESISTÊNCIA A GEADAS (LARCHER, 1983).



A depressão do ponto de congelamento é causada pela elaboração de solutos que aumentam a pressão osmótica intracelular e reduzem o ponto de congelamento, o que reduz a quantidade de gelo formado em qualquer temperatura.

Os mecanismos de prevenção são favoráveis às plantas de regiões onde ocorrem geadas leves durante o período de crescimento e atividade metabólica. A depressão do ponto de congelamento pode ser aumentada após alguns dias de baixas temperaturas e é suficiente para aumentar a resistência a geadas esporádicas ou aquelas que ocorrem fora do período de inverno.

A tolerância ao congelamento ligada à dormência é o único mecanismo eficiente de sobrevivência onde as geadas são regulares e severas, como em regiões de grandes latitudes. Dormência estável e profunda consiste não apenas na depressão do crescimento, mas também na redução drástica da atividade metabólica e da fotossíntese das plantas perenes de regiões de clima temperado durante o inverno (SAKAI; LARCHER, 1987).

Segundo SAKAI; LARCHER, 1987 a maioria das plantas pode ser classificada de acordo com o grau de resistência a geadas do seguinte modo:

- a) plantas permanentemente sensíveis: de modo geral são plantas tropicais, que não podem ser aclimatadas e só são protegidas por depressão do ponto de congelamento e/ou super-resfriamento;
- b) plantas parcialmente tolerantes a geadas: a resistência a geadas é limitada; é encontrada em plantas arbóreas perenes de regiões subtropicais. Embora o caule mostre tolerância, as folhas são sensíveis;

- c) plantas tolerantes a geadas: são capazes de sobreviver ao congelamento; é um estado temporário observado em plantas de clima temperado caracterizado pela dormência em espécies arbóreas;
- d) totalmente tolerantes a geadas: é comum em plantas perenes que apresentam total resistência como por exemplo *Betula*, *Populus*, *Salix* e algumas coníferas; essas plantas são as que sobrevivem às mais baixas temperaturas registradas sem sofrer danos.

### **2.2.3 Resistência a geadas de diferentes órgãos e tecidos**

A resistência a geadas varia de um órgão para outro na mesma planta e de um tecido para outro no mesmo órgão. A diferença específica na resistência entre órgãos e tecidos pode ser bastante acentuada e pode resultar em diferentes mecanismos de congelamento. Na classificação da resistência a geadas, as diferenças de respostas dos órgãos individuais devem ser levadas em consideração (SAKAI; LARCHER, 1987). Como citado por KOZLOWSKI et al. (1991) folhas totalmente expandidas de árvores decíduas nunca se tornam resistentes a geadas e, normalmente, gemas terminais são menos resistentes que gemas laterais. Dependendo da espécie, idade, estação do ano e estágio de aclimação, a diferença na resistência entre os vários órgãos e tecidos pode apresentar uma pequena ou uma grande diferença.

As raízes são menos resistentes que a parte aérea e raízes jovens em crescimento podem não ser capazes de se tornarem resistentes (RAGHAVENDRA, 1991).

#### **2.2.4 Resistência a geadas de plantas em diferentes idades**

Segundo SAKAI; LARCHER (1987) é importante entender a resposta das plantas jovens a geadas. Existem fases no desenvolvimento de plantas anuais em que estas são susceptíveis a geadas e que determinam sua existência num dado ambiente. Plântulas e indivíduos jovens estão mais próximos ao solo e são expostos a condições microclimáticas que diferem consideravelmente daquelas as quais são submetidas as árvores adultas. As plantas são extremamente sensíveis a geadas durante a germinação. Nas dicotiledôneas, a fase mais sensível é a abertura das folhas cotiledonares e folhas primárias; nas gramíneas a fase mais sensível é a alongação do coleóptilo. No entanto, plantas jovens de regiões alpinas podem rapidamente tornarem-se resistentes a geadas durante o verão, o que invalida a teoria de que plantas metabolicamente ativas são incapazes de se tornarem resistentes a geadas.

Algumas plantas arbóreas são completamente resistentes a geadas na fase juvenil. Como exemplos podem ser citados um grande número de espécies dos gêneros *Pinus* e *Picea* que ocorrem em regiões muito frias, e provavelmente a maioria das espécies arbóreas de regiões de clima temperado. Por outro lado,

muitas plantas arbóreas juvenis são menos resistentes a geadas do que quando adultas (SAKAI; LARCHER, 1987).

### **2.2.5 Aclimação a geadas**

Aclimação a geadas é o processo que pode ser definido, em termos gerais, como a menor temperatura abaixo do ponto de congelamento a que uma planta pode ser submetida sem sofrer danos (GLERUM, 1976). Enquanto algumas plantas são mortas por geadas leves, outras podem sobreviver a temperaturas muito baixas sem qualquer dano, existindo um gradiente entre esses dois extremos.

Árvores de regiões tropicais normalmente não podem ser plantadas em regiões frias por não serem capazes de se aclimatar a condições de baixas temperaturas (KRAMER; KOZLOWSKI, 1979).

A resistência a geadas não é um estado permanente das plantas e a aclimação ao frio envolve uma sequência de processos que são mutuamente interdependentes, cada fase do desenvolvimento preparando a planta para a fase subsequente (HALÉ; ORCUTT, 1987). Segundo SAKAI; LARCHER (1987) as fases típicas de aclimação a baixas temperaturas para plantas arbóreas de zonas temperadas são:

- a) a primeira fase de aclimação a baixas temperaturas é normalmente induzida por dias curtos posteriores a temperaturas de 10 °C a 20 °C, comuns no outono, período em que são armazenadas grandes

quantidades de substâncias orgânicas. O processo sintético mais importante da primeira fase é o acúmulo de reservas de amido e lipídeos, substratos essenciais e fonte de energia para mudanças metabólicas do segundo estágio;

- b) a segunda fase de aclimação é induzida por baixas temperaturas, abaixo de 5 °C. Nessa fase, proteínas e lipídeos das membranas são sintetizados e/ou sofrem mudanças estruturais, levando ao máximo de aclimação.

Somente um pequeno grau de resistência é alcançado por plantas que não acumularam reservas de carboidratos suficientes devido à perda de folhas ou diminuição do período de crescimento. O nível de resistência alcançado por uma planta em um dado período é o resultado de sua capacidade específica e das condições ambientais a que ela foi exposta (LARCHER, 1983; SAKAI; LARCHER, 1987).

### **2.3 DANOS PROVOCADOS POR GEADAS**

A extensão do dano provocado por geadas depende da intensidade e duração da temperatura mínima. Outro fator importante é o efeito da época de ocorrência de geadas, isto é, se ocorrem em episódios isolados, ou se ocorrem regularmente. Geadas esporádicas variam consideravelmente de ano para ano e são normalmente mais danosas, porque embora as temperaturas raramente sejam muito baixas, elas atingem as plantas com pouca ou nenhuma rustificação

(LARCHER, 1983). Em contraste, nas geadas periódicas, as plantas podem ter seus processos vegetativos aclimatados gradualmente e, dessa forma, não sofrer danos (SAKAI; LARCHER, 1987).

Segundo SAKAI; LARCHER (1987) já foram formuladas muitas hipóteses e teorias a respeito da causa da morte das células por congelamento, mas nenhuma é inteiramente satisfatória, e a principal razão é a diversidade de aspectos envolvidos nos danos por congelamento. A formação de gelo e o dano são diferentes dependendo da espécie, do estágio de rustificação e condições do congelamento. Portanto, um único mecanismo não pode ser responsável pela morte ou sobrevivência das células.

Existem evidências que alterações irreversíveis das membranas durante o congelamento extracelular são responsáveis pela morte das células. PALTA et al.<sup>2</sup> (1982) citados por SAKAI; LARCHER (1987) formularam a hipótese de que o transporte ativo através da membrana é o primeiro a ser danificado.

SAKAI; LARCHER, (1987) concluíram que a membrana plasmática sofre tipos complexos de estresses durante o congelamento e é difícil distinguir os fatores específicos responsáveis pelos danos.

---

<sup>2</sup> PALTA, J.P.; JENSEN, K.G.; LI, P.H. (1982) Cell membrane alterations following a slow freeze thaw cycle: Ion leakage, injury and recovery. In: LI, P.H.; SAKAI, A. (eds.) Plant cold hardiness and freezing stress, vol II. Academic Press, London New York, p 221-242.

### 2.3.1. Congelamento intra e extracelular

Até o uso da microscopia não se conhecia como as plantas eram danificadas pela formação de gelo. O processo e o local da formação de gelo, descritos abaixo, são importantes no entendimento dos danos causados por geadas:

- a) formação de gelo extracelular: é a formação de gelo na superfície da célula ou entre o protoplasto e a parede celular. Ocorre a saída da água da célula devido ao crescimento dos cristais de gelo extracelular, fenômeno conhecido como "plasmólise de geada". A pressão de vapor de água da célula é maior do que a pressão de vapor do gelo na mesma temperatura. Conseqüentemente, a água da célula difunde-se através da membrana plasmática para a formação do gelo extracelular, provocando contração das células. Quando a temperatura volta ao normal, as células, caso não tenham sido danificadas, podem reabsorver água e voltar ao normal (condições de total turgor), caso contrário permanecerão danificadas (LEVITT, 1980; LARCHER, 1983; RAGHAVENDRA, 1991);
- b) formação de gelo intracelular: a formação de gelo intracelular não ocorre a menos que o ponto de congelamento das células esteja abaixo de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (MAZUR, 1969). De maneira geral, as células morrem com o congelamento intracelular devido à destruição mecânica das biomembranas (LARCHER, 1983).

### 2.3.2 Sintomas de danos de geadas

Segundo SAKAI; LARCHER (1987), os tipos mais observados de danos causados por geadas são:

- a) descoloração: sintoma mais claro e freqüente de danos por geada;
- b) branqueamento: tecidos não necrosados tornam-se verde-claros, amarelos ou até mesmo brancos; após um inverno severo a formação de clorofila pode continuar deficiente e a planta pode produzir folhas cloróticas;
- c) encolhimento e "dieback" de tecidos: o congelamento dos tecidos leva à formação de buracos nas folhas, constrição nas raízes e caules e murchamento dos brotos;
- d) rupturas: causadas pelo efeito mecânico do congelamento;
- e) má formação: danos nos tecidos meristemáticos não diferenciados completamente, que podem dar origem a órgãos com distorções, como por exemplo, a produção de flores estéreis;
- f) heterocronismo: alterações no estágio de desenvolvimento de vários processos da planta, como, por exemplo, atraso no florescimento.

As plantas arbóreas exibem uma variedade de danos específicos à sua morfologia. Essas peculiaridades são consequência direta da estrutura altamente diferenciada da parte aérea, do crescimento cambial associado ao ritmo de atividade anual e da longevidade (KOZLOWSKI et al., 1991; SAKAI; LARCHER, 1987). Os danos deste tipo podem ser classificados em:

- a) dano basal (canela de geada): mais comum em árvores jovens no início do inverno;
- b) rachadura de geada: rachadura radial do tronco, do centro para a casca das árvores, comum em geadas severas;
- c) danos no sistema radicial e mortalidade: a tolerância a geadas das raízes é particularmente importante para a sobrevivência de mudas em recipientes. Embora as raízes sejam menos tolerantes a geadas que a parte aérea, elas sofrem menos danos porque o solo oferece proteção contra as baixas temperaturas. No entanto, quando o solo congela, as pequenas raízes fisiologicamente ativas são mortas e o dano na planta pode ser bastante severo.

#### **2.4. AVALIAÇÃO DE DANOS CAUSADOS POR GEADAS**

Normalmente, em estudos de campo com espécies florestais, cada indivíduo é classificado numa escala de acordo com o grau de dano observado (MESKIMEN et al 1987; CAUVIN, 1993). Um método de avaliação de danos de geadas em eucaliptos por medição de eletrocondutividade foi apresentado por RAYMOND et al. (1986). Atualmente esse método vem sendo questionado por apresentar baixa correlação com resultados de campo (ROCKWOOD, 1991; TIBBITS, 1997). A temperatura que mata 50% das plantas tem sido também adotada em trabalhos técnicos científicos como uma medida de avaliação de danos causados por geadas (LEVITT, 1980; LARCHER, 1983).

## 2.5 FATORES FISIOLÓGICOS RELACIONADOS À RESISTÊNCIA A GEADAS

A resistência a geadas tem sido mais associada a fatores fisiológicos do que a caracteres morfológicos. A maioria das pesquisas em resistência a geadas em plantas são relacionadas a fatores fisiológicos que induzem à aclimação e às mudanças bioquímicas que a acompanham. A literatura apresenta um grande número de citações e parece ser bem estabelecido que a aclimação é induzida por fatores que reduzem o crescimento das plantas, especialmente baixas temperaturas e dias curtos (LEVITT, 1980).

De acordo com SAKAI; LARCHER (1987) as mudanças mais comuns observadas durante o processo de aclimação são:

- a) alterações no metabolismo;
- b) aumento na concentração de açúcares e compostos relacionados;
- c) alterações na concentração e composição de aminoácidos;
- d) aumento e alterações dos ácidos nucleicos e proteínas;
- e) alteração na composição de lipídeos;
- f) alterações na membrana plasmática;
- g) aumento na concentração de ácido abscísico (ABA);
- h) alterações citológicas.

Geralmente, o total de solutos, açúcares e proteínas aumentam com o aumento da resistência a geadas. No entanto, correlações negativas também têm sido encontradas.

Uma das teorias mais importantes de resistência ao congelamento foi postulada por LEVITT (1980). Segundo esse autor, uma associação entre o

conteúdo de proteínas solúveis e resistência a geadas tem sido demonstrada em células corticais de árvores durante o período de aclimação e a volta ao estado normal. O aumento de proteínas solúveis realmente precede o aumento no grau de aclimação, mas a correlação nem sempre é observada durante esses processos. Proteínas específicas também mudam durante o período de aclimação, mas a evidência não é suficiente para provar a relação de causa e efeito. O autor também encontrou correlações entre o conteúdo de sulfidril (S-H) e dissulfito (S-S) nos tecidos e resistência a geadas. A partir desses resultados ele formulou uma teoria de resistência a geadas (Figura 3) resumida a seguir:

- a) baixas temperaturas causam desnaturação de proteínas reversivelmente, expondo os grupos reativos (S-H);
- b) desidratação por congelamento remove a água da célula e diminui a distância entre as moléculas de proteína. O estresse também ativa a formação de pontes de (S-S) entre as proteínas das moléculas adjacentes;
- c) durante o degelo, as moléculas agregadas de proteínas não se separam, não retornando à sua configuração original devido às ligações S-S, havendo desnaturação de proteínas, causando danos as plantas.

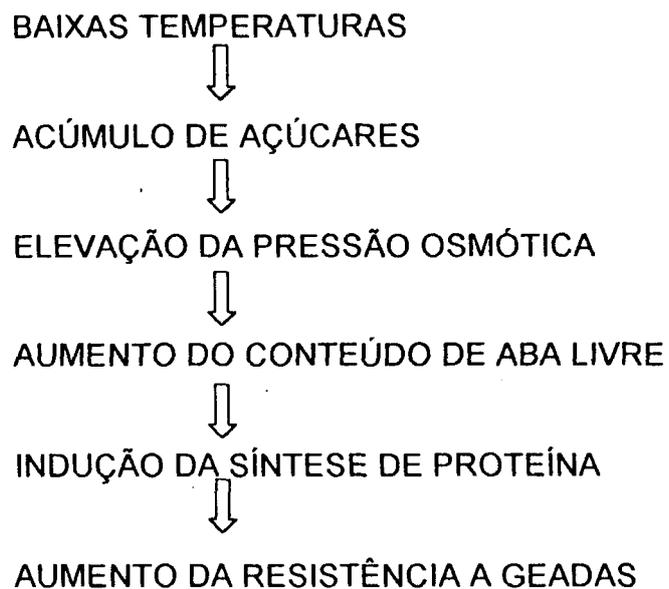
Outros componentes encontrados nos tecidos das plantas como DNA, nicotinamida, adenina, antocianinas, certos ácidos orgânicos, lipídios e hormônios de crescimento também têm sido considerados envolvidos no processo de resistência a geadas (MAZUR, 1969; LEVITT 1980). A presença de um fator de translocação de partes aclimatadas para partes não aclimatadas da mesma planta tem sido aceita como uma evidência do efeito de hormônios (LEVITT, 1980).



Como outros hormônios, o ABA tem efeitos fisiológicos múltiplos, afetando o crescimento e o desenvolvimento durante toda a vida da planta. Desde o seu descobrimento, o ABA tem sido relacionado a uma série de aspectos fisiológicos, sendo a maioria relacionada a condições de estresse (LARCHER, 1983).

PERRY; HELLMERS (1973) relatam um aumento de ABA em duas raças de *Acer rubrum* como resposta a dias curtos e noites frias. Somente plantas da raça do norte desenvolveram dormência verdadeira, e a dormência não pode ser induzida por tratamento com ABA. Eles sugerem que ABA está correlacionado, mas não diretamente associado à dormência, e que esta associação não pode ser generalizada a outras espécies lenhosas.

Uma relação causal entre concentração de ABA e resistência a geadas em duas espécies de *Solanum* foi sugerida por CHEN; LI (1982). Quando a espécie *Solanum commersonii* pode ser aclimatada, a quantidade de ABA livre aumenta consideravelmente no quarto dia de tratamento com baixas temperaturas. O pico de acúmulo de ABA foi seguido por um acúmulo de proteínas solúveis e aumento do nível de aclimação. No entanto, pouco ou nenhum aumento na concentração de ABA foi observado em folhas de *S. tuberosum*, espécie que é incapaz de se aclimatar. Os autores propuseram a seguinte seqüência de eventos para descrever como as plantas de *S. commersonii* convertem o sinal de baixas temperaturas em ajustes biológicos que resultam na adaptação ao frio:



Os autores também concluíram que a aplicação de ABA pode substituir a exposição das plantas a baixas temperaturas na indução da aclimação. No entanto, nem todas as espécies conseguem realizar esta sequência de eventos descrita acima. Essa é, provavelmente, a razão pela qual os valores de resistência máxima variam tanto entre espécies (LARCHER, 1983).

HIGA (1989b) observou um aumento na resistência a geadas com a aplicação de ABA através da pulverização das folhas, mas não encontrou correlação entre a concentração de ABA nas folhas e o grau de resistência a geadas em mudas de duas procedências de *Eucalyptus viminalis*.

## 2.6 VARIAÇÃO GENÉTICA DA RESISTÊNCIA A GEADAS

Relatos sobre diferenças de resistência a geadas entre espécies e procedências são abundantes na literatura. LARCHER; BAUER (1981) revisaram o estudo de vários autores e concluíram que a capacidade específica de aclimação para resistência a geadas é determinada geneticamente. A capacidade de aclimação é a base da diferença entre indivíduos, ecotipos, variedades e espécies referente ao potencial de resistência a geadas. Resistência a geadas é um caráter fisiológico geneticamente determinado que é expresso sob condições ambientais adversas

SAKAI; LARCHER (1987) comentam também que as diferenças na resistência a geadas, observadas de uma população para outra, podem ser devido a diferenças genotípicas na capacidade de aclimação, ou diferenças no período de crescimento.

A resistência a geadas está relacionada ao regime de temperatura do ambiente da planta (FITTER; HAY, 1981). Em áreas montanhosas, a queda de temperatura está associada ao aumento da altitude acompanhado por um aumento na frequência e intensidade de geadas. Nas regiões montanhosas de clima tropical e subtropical as geadas só ocorrem acima de um certa altitude.

O grau de variabilidade genética na resistência a geadas dentro de espécie é uma característica que favorece a sobrevivência a alterações no ambiente e pode ser vista como uma medida de seleção e adaptação (SAKAI; LARCHER, 1987).

Segundo SAKAI; LARCHER (1987) é difícil comparar e tirar conclusões dos dados disponíveis na literatura porque a experimentação com resistência a geadas tem sido executada sob diferentes condições ambientais, com materiais genéticos diferentes e em diferentes estágios de desenvolvimento. CAUVIN; POTTS (1991) e CAUVIN (1993) também concordam com a complexidade do assunto e acrescenta que os mecanismos relacionados à resistência a geadas são de origem poligênica e não são completamente conhecidos.

## **2.7 RECUPERAÇÃO DE PLANTAS APÓS DANOS DE GEADA**

O grau final dos danos de geada depende da localização, da extensão e da possibilidade de regeneração das partes afetadas da planta. A planta pode ser afetada temporariamente e recuperar-se, como nos seguintes casos descritos por SAKAI; LARCHER (1987):

- a) danos nos órgãos de reprodução: os primórdios florais podem ser mortos, mas os ramos desenvolvem-se normalmente na próxima estação de crescimento;
- b) redução da produtividade e brotação consequente do desfolhamento: folhas com sistema vascular sensível caem logo após a ocorrência da geada; danos de geada restritos ao mesófilo das folhas fazem com que as mesmas permaneçam ligadas à planta, fornecendo fotossintatos proporcionais às áreas não danificadas pela geada;
- c) deficiência na formação de ramos provenientes de gemas danificadas: a perda das folhas é normalmente um evento muito sério para as plantas

mesmo quando as gemas não foram danificadas. Caso tenha havido dano, a consequência pode ser fatal. O novo crescimento das folhas (rebrotas) só é possível porque na maioria das espécies arbóreas as gemas são mais resistentes que as folhas;

- d) danos severos em órgãos de sustentação: após dano parcial da parte aérea, a árvore pode morrer em anos subsequentes se os danos forem irreparáveis ou se espalharem. A recuperação pode ser esperada se o câmbio mantiver-se intacto ou muito pouco danificado. Após severos danos de geada, a produtividade e o crescimento de plantas arbóreas pode ser afetado por anos. Desenvolvimento de novas folhas só é possível se as gemas forem mais resistentes que elas. No entanto, mesmo que atrasado, ainda é possível o desenvolvimento a partir de gemas parcialmente danificadas.

Pesquisas sobre recuperação de plantas após terem sofrido danos por geadas são recentes. O quanto e como o desenvolvimento posterior é afetado é pouco conhecido. O termo resiliência, que é a capacidade de recuperação de uma planta após ter sido exposta a fatores adversos, vem sendo usado nesse tipo de estudo.

## **2.8 RESISTÊNCIA A GEADAS EM *Eucalyptus* spp.**

Todas as espécies do gênero *Eucalyptus* são sensíveis a temperaturas extremamente baixas, sendo esse o maior impedimento do seu uso em regiões

de clima temperado. Embora existam variações entre e dentro de espécies, os eucaliptos não toleram temperaturas abaixo de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A maioria sofre danos abaixo de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  e somente poucas sobrevivem com temperaturas entre  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  (TURNBULL; ELDRIDGE, 1983).

### **2.8.1 Distribuição natural do eucalipto em relação à ocorrência de geadas**

A maior parte da Austrália está localizada entre  $10^{\circ}$  e  $30^{\circ}$  de latitude sul, com o estado da Tasmânia estendendo-se até quase  $44^{\circ}\text{S}$ . De maneira geral, é um país de baixa altitude, tendo apenas 2% do seu território com altitude superior a 2.000 m. O clima é moderadamente quente a quente, verão com temperaturas médias diárias acima de  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , e períodos com temperaturas máximas diárias acima de  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ , especialmente nas regiões áridas do continente. Condições climáticas mais frias e mais úmidas ocorrem em pequenas áreas, principalmente na Tasmânia, e até 100 km do mar no sudeste do continente. Esta é a região mais fria no inverno devido às maiores latitudes e altitudes. Nessas regiões, é comum a ocorrência de até mais de 200 geadas por ano. O litoral e as zonas tropicais são livres da ocorrência de geadas (TURNBULL; ELDRIDGE, 1983).

Enquanto altas temperaturas parecem ter pouca influência na distribuição de espécies arbóreas na Austrália, baixas temperaturas, por outro lado, parecem controlar a distribuição natural de muitas espécies (BOLAND et al., 1984). O efeito da temperatura é mais regionalizado, mas as temperaturas mínimas podem ser responsáveis pela determinação do tipo de floresta (BEADLE, 1981).

Os eucaliptos ocorrem nas regiões montanhosas e frias da Austrália até uma altitude de cerca de 2.000 m, na região do Monte Kosciusko, e cerca de 1.300 m na Tasmânia. Acima dessas altitudes, existe apenas vegetação rasteira sem qualquer espécie de eucalipto. Abaixo dessa altitude, os eucaliptos também estão ausentes nos chamados "corredores de geadas" (PRYOR, 1976). Nas regiões de maior altitude a temperatura dos meses mais quentes varia de 5 °C a 14 °C e dos meses mais frios de -5 °C a 2 °C. Nessas regiões, a temperatura mínima pode chegar a -15 °C e o solo pode ficar coberto por até 30 cm de neve por dois a três meses (BOLAND et al., 1984). Nas regiões de altitude e nos "corredores de geada", o eucalipto resiste às geadas locais, mas eventualmente essas populações podem ser danificadas por geadas excepcionalmente severas ou por aquelas que ocorrem fora do período normal. Danos provocados por geadas nessas áreas foram descritos por HARWOOD (1980; 1983) e PATON (1983). Geadas de radiação esporádicas, com temperaturas mínimas de até -5°C, chegaram a matar mudas de eucalipto na zona central da Austrália (BEADLE, 1981).

Em função desses aspectos, a distribuição natural de diferentes espécies de eucalipto nas áreas montanhosas da Austrália é bastante complexa. O número total de espécies é pequeno e a área total onde ocorrem espécies potenciais para plantios de rápido crescimento em regiões de ocorrência de geadas é reduzido (PRYOR, 1976; TURNBULL; ELDRIDGE, 1983).

## 2.8.2 Aspectos fisiológicos da resistência a geadas dos eucaliptos

O papel da temperatura no controle da resistência a geadas dos eucaliptos não foi esclarecido até a década de 70, quando os resultados da experimentação em câmaras de crescimento (fitotron) e resultados de experimentação de campo foram comparados aos obtidos em câmaras de simulação de geadas.

Os resultados obtidos por PATON (1981) mostraram que a variação de fotoperíodo de 10 para 20 horas durante o período de aclimação (TABELA 1) de mudas de *E. viminalis* acarretou num pequeno aumento na resistência a geadas da espécie.

TABELA 1- DANOS CAUSADOS POR GEADAS (ESCALA 0 A 10) EM MUDAS DE *E. viminalis* EM FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ACLIMATAÇÃO (PATON, 1981).

Condições de aclimação (dia/noite)	0	2 dias	5 dias	10 dias	25 dias
(1) natural/natural (10 horas)	10	2	2	1	2
(2) natural/natural (20 horas)	10	1	3	2	2
(3) cabine/cabine (10 horas)	10	1	1	0	3
(4) cabine/cabine (20 horas)	10	2	-	-	1

As mudas foram expostas a uma geada de  $-6.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A aclimação natural (1) foi feita no mês de julho em Canberra, Austrália com temperaturas próximas a  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante o dia e  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a noite. As cabines de crescimento (3) foram ajustadas com as mesmas temperaturas, mas com intensidade luminosa inferiores (35000 Lux) a luz natural. O fotoperíodo natural (10 horas) foi aumentado para 20 horas (4) com a mesma intensidade luminosa. Os danos de geada são expressos numa escala de 0 (sem dano, ou mínimo) a 10 (totalmente danificada).

Enquanto a aclimação não foi afetada pelo fotoperíodo, variações na temperatura e no período de exposição causaram acentuada mudança na resistência a geadas do *E. viminalis*. Mudas expostas a uma temperatura de  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 2 dias resistiram a uma temperatura de  $-6.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , que em outras condições

seria letal. Aumentando o período de exposição à temperatura de 2 °C a resistência foi aumentada. Parte das mudas resistiram a -8 °C mas nenhuma resistiu à temperatura de -10 °C.

Outra particularidade do eucalipto é a presença, em grandes quantidades de substâncias inibidoras de crescimento nas folhas adultas de muitas espécies como *E. pulverulenta*, *E. grandis*, *E. citriodora* (PATON et al. 1970; PATON; WILLING, 1974). Um desses compostos identificados em *E. grandis* é o "G" (o termo é derivado de *grandis* e identificado como 4-etil; 1-hidroxi-4,8; 10-pentametil; 1-7-9-dioxi-2; 3-dixibiciclo [4.40] deceno-5) (NICHOLLS et al., 1970). Conforme relatado por DHAWAN et al. (1979) e PATON et al. (1970), "G" também pode promover crescimento de plântulas e ser considerado como um regulador natural de crescimento para o *E. grandis*. No entanto, a concentração de "G" na espécie é sempre suficientemente alta para provocar um forte efeito inibitório em bioensaios, mesmo levando em consideração as variações diárias e ao longo do ano na concentração de "G" (GODDEN<sup>3</sup>, 1980, citados por PATON, 1981).

PATON (1983) observou que em Canberra, Austrália, a concentração máxima de "G" (6,0 mg/g de matéria verde) ocorre no inverno quando o nível de resistência a geadas permite que plantas de *E. grandis* sobrevivam à temperatura de -8 °C sem danos. Na primavera e no verão, quando essas plantas podem ser danificadas com uma temperatura ao redor de -2,5 °C, a concentração de "G" é inferior (3,0 mg/g de matéria verde). O autor também observou que as altas concentrações de "G" observadas no inverno variam durante o dia, passando de 6

---

<sup>3</sup> GODDEN, G.F. Natural roles for G – a plant growth regulator in *Eucalyptus grandis*. Honours Thesis, Botany Dep., Australian National University. 1980.

mg/g de matéria verde durante a noite para 4 mg/g de matéria verde algumas horas após o nascer do sol.

Folhas adultas de outras espécies de eucalipto que são capazes de se aclimatarem rapidamente contêm compostos inibitórios distintos de "G". Espécies tropicais como *E. deglupta*, que não resistem mesmo a geadas leves, contêm pouco ou nada de compostos inibitórios (PATON; WILLING, 1974).

É provável que a susceptibilidade do eucalipto a geadas seja decorrente da ausência de resposta ao fotoperíodo exibida pelo gênero, diferente da maioria das espécies arbóreas do hemisfério norte, que resistem, sem danos, a baixas temperaturas. A resistência ao frio, observada nessas espécies, depende da parada de crescimento que é controlada pelo fotoperíodo (LEVITT, 1980). Também tem sido sugerido por vários autores que a parada do crescimento esteja sob controle hormonal. A resposta ao fotoperíodo parece ser importante para espécies com gemas dormentes, que não é o caso dos eucaliptos.

Estudos com *E. viminalis* mostraram um aumento na resistência a geadas com a pulverização de ácido abscísico nas folhas, mas não foi observado correlação entre o nível endógeno desse regulador de crescimento e o nível de resistência a geadas (HIGA, 1989b).

Outros compostos como aminoácidos, incluindo aspargina e prolina (TEULIÈRES et al.<sup>4</sup>, 1989, citados por CAUVIN, 1993), nível de açúcares, principalmente rafinose e nível total de proteínas (BON et al., 1991) parecem estar

---

<sup>4</sup> TEULIÈRES, C.; ALIBERT, G.; MARIEN, J.N. BOUDET, N. Isolation and frost resistance screening of protoplast from different clones of *Eucalyptus*. J. Plant Physiol., 134. 316-319. 1989.

envolvidos na resistência a geadas de eucaliptos, como precursores de compostos que conferem resistência a geadas e/ou marcadores.

A hipótese de compostos como "G" ou outros compostos similares estarem envolvidos no mecanismo de resistência a geadas de algumas espécies de eucalipto parece ser consistente, mas não existem dados suficientes para a sua validação.

### **2.8.3 Aspectos morfológicos da resistência a geadas dos eucaliptos**

THOMAS; BARBER (1974) sugeriram que folhas glaucas (coloração verde e tonalidade ligeiramente azulada) estavam relacionadas à resistência a geadas dos eucaliptos. Testes feitos com progênies de *E. urnigera* de alta e baixa latitudes com diferentes tonalidades de coloração de folhas não apresentaram correlação entre essa característica e resistência a geadas. PATON (1981) também comenta que outras características associadas à resistência a geadas de eucalipto como pigmentação com antocianina, espessura da epiderme foliar e sintomas de deficiência mineral, não são relacionadas ao efeito de baixas temperaturas durante o processo de aclimação. BANKS; WHITECROSS (1971) também não encontraram relação entre coloração das folhas e resistência a geadas em *E. viminalis*.

#### 2.8.4 Variabilidade genética da resistência a geadas dos eucaliptos

Variação genética ao nível de espécies, procedências e indivíduos em relação à resistência a geadas em eucaliptos tem sido relatada por vários autores, em vários países onde o gênero foi introduzido para o estabelecimento de florestas de produção. As espécies selecionadas variam entre os países de acordo com o tipo climático, mas somente um pequeno grupo apresenta resistência a geadas e boa taxa de crescimento.

A variabilidade observada entre e dentro de espécies e procedências mostra uma grande diversificação genética no gênero, e deixa claro que grandes ganhos podem ser obtidos através da manipulação genética. No entanto, não tem sido possível estabelecer um padrão da variação para o gênero porque a resistência a geadas varia conforme a espécie, procedência, indivíduos, amostragem, condições ambientais prévias da planta, tipo, duração e intensidade da geada. Ambientes controlados facilitam o estudo desses fatores, mas impedem o uso de plantas mais velhas e a análise do comportamento das mesmas.

PRYOR; BYRNE (1969) sugeriram que a resistência a geadas varia entre procedências de *E. camaldulensis* em função da latitude. As populações de regiões mais ao norte da Austrália são menos resistentes que as populações do sul, porque os invernos nesses locais tem geadas menos severas e em menor número. No entanto, AWE; SHEPHERD (1975) observaram que as procedências do norte respondiam melhor a tratamentos de aclimação que as procedências do sul. Eles sugeriram que a rapidez na aclimação das procedências do norte

podem ser uma adaptação a geadas não severas com temperaturas diurnas normalmente altas.

A variação da resistência a geadas em relação à altitude da procedência tem sido relatada para muitas espécies de eucalipto. O efeito da mudança de altitude é interpretado como mudanças no regime de temperatura. Maiores altitudes estão associadas a menores quedas de temperatura tanto diurnas como noturnas.

SHERRY; PRYOR (1967) observaram variação na resistência a geadas em relação à altitude em *E. fastigata* plantado na África do Sul, em regiões de altitudes superiores a 1.200 m. As procedências de maiores altitudes apresentaram menor sobrevivência e menor taxa de crescimento que as procedências de menores altitudes. Porém, a procedência de maior altitude apresentou maior capacidade para resistir a geadas e ventos frios.

Os resultados observados por WILCOX et al. (1980) com *E. fastigata* plantado na Nova Zelândia sugerem que as procedências mais resistentes são as de locais de maiores altitudes e mais distantes do mar. Resultados semelhantes foram observados por JAHROMI (1982) que encontrou uma grande variação na resistência a geadas e na taxa de crescimento em procedências de *E. viminalis* plantado em Bainbridge, E.U.A. O autor observou que, de maneira geral, árvores de procedências de baixa altitude e mais próximas do litoral da Austrália apresentavam menor resistência a geadas do que procedências de maior altitude, especialmente da Tasmânia.

Para o *E. pauciflora*, a resistência a geadas também está relacionada à altitude da procedência. Uma diferença crescente na resistência é observada de

1.220 m para 1.480 m, embora não exista diferença na frequência e severidade das geadas entre esses locais (PRYOR, 1971).

ELDRIDGE (1969) observou que a diferença na resistência a geadas de *E. regnans* era mais acentuada mesmo numa pequena distância entre populações de altitudes de 800 m a 1.000 m do que entre populações de baixas altitudes. O autor concluiu que não era possível afirmar que a variação fosse contínua ou o nível de resistência era maior para as plantas oriundas de altitude superior a 1.000 m. PATON (1982) sugeriu que a temperatura não era o único fator ambiental que afeta a resistência a geadas em procedências de *E. regnans* e *E. pauciflora* de diferentes altitudes. Os resultados obtidos por esse autor com procedências de *E. viminalis* suportam esse fato. Mudanças de uma procedência de altitude intermediária foram menos resistentes a geadas do que mudas de uma procedência de baixa altitude. Mudanças de uma procedência de 1.097 m apresentaram um nível de resistência a geadas similar às mudas de uma procedência do nível do mar.

São também frequentes os trabalhos que estudam a variação dentro de procedências, especialmente em locais onde se pretende conduzir um programa de melhoramento genético para resistência a geadas. Os resultados mostram que diferenças entre famílias podem ser pronunciadas. Também podem ser observadas correlações fenotípicas entre caracteres como resistência a geadas e taxas de crescimento, o que pode facilitar a seleção para o melhoramento.

WILCOX (1982) analisou a variação genética de 141 famílias de polinização aberta de *E. regnans* e encontrou diferenças marcantes em relação ao crescimento em altura, resistência a doenças e resistência a geadas. A

correlação fenotípica entre essas características mostrou ser possível a seleção simultânea para crescimento e resistência a geadas e doenças.

MANSON; POTTS (1995) observaram que a resistência a geadas de híbridos de *E. globulus* (susceptível) e *E. gunnii* (resistente) tem herança aditiva em F1 e em gerações avançadas de híbridos.

O padrão de variação alélica na expressão da atividade de superóxido dismutase (SOD) não tem relação com resistência a geadas. BON et al. (1991) não encontraram diferenças usando sistema enzimático SOD entre progênies de *E. gunnii* e híbridos de *E. gunnii* e *E. dalrympleana* resistentes e não resistentes a geadas.

Estudos de resistência a geadas em espécies de eucalipto tem mostrado um alto nível de variação genética entre e dentro de populações. Resultados de experimentação, tanto de campo como em ambiente controlado, foram de grande importância na escolha de espécies para futuros plantios, em várias partes do mundo. LISBÃO (1980) não encontrou diferenças de comportamento entre procedências em relação à resistência a geadas para o *E. dunnii*. Apesar da existência de estudos implantados no Brasil e África do Sul visando explorar a variabilidade genética entre e dentro de procedências, para resistência a geadas não foram encontradas referências na literatura.

## 2.9 RESILIÊNCIA A GEADAS EM EUCALIPTO

Ainda são escassos os estudos sobre o comportamento do eucalipto após a ocorrência de danos de geadas. No entanto, é provável que a capacidade de recuperação ou resiliência passem a ser incorporados em programas de melhoramento, principalmente em regiões onde a ocorrência de geadas é frequente, uma vez que as espécies do gênero não são tolerantes a geadas.

MESKIMEN et al. (1987) obteve, em populações bases que incluíam gerações avançadas de *E. grandis* na Flórida, quatro vezes mais clones com maior taxa de crescimento, maior resistência e resiliência a geadas, do que em populações bases recém introduzidas. Também na Flórida, JAHROMI (1982) relatou que algumas procedências de *E. viminalis* apresentavam ótima resiliência a geadas, com pouca redução na taxa de crescimento, mesmo quando 80% da área foliar tinha sido queimada.

ROCKWOOD et al. (1991) considera que a seleção para resiliência a geadas é uma meta mais realista do que a seleção para resistência a geadas, em programas de melhoramento de eucalipto em áreas onde a ocorrência desse fenômeno é frequente.

Em condições de geadas mais amenas, HIGA; HIGA (1997) observaram que danos causados por geadas que afetam menos que 50% da parte aérea, não trazem prejuízos significativos na sobrevivência e crescimento em altura em *E. viminalis* com 6 meses de idade. Resultados semelhantes foram observados por PINKARD et al. (1995). Esses autores observaram que a taxa de crescimento de *E. nitens* não foi afetada pela poda de 50% das folhas, mas que a remoção de

70% das folhas resultou em queda no crescimento em altura e diâmetro, visível até 10 meses após o tratamento.

Mesmo sem dano aparente, DAVIDSON et al. (1995) observaram queda de 10% a 15% na taxa de fotossíntese em um plantio de *E. nitens* com 9 meses de idade após a ocorrência de uma geada.

## 2.10. ASPECTOS GERAIS DE RESISTÊNCIA A GEADAS DOS EUCALIPTOS

Fatores ambientais, como nível de nutrientes no solo, fertilização, teor de umidade nas folhas, excesso de água no solo, também tem sido estudados em relação à resistência a geadas. LISBÃO (1986) observou que a resistência a geadas de mudas de *E. viminalis* foi drasticamente reduzida pela suplementação de nitrogênio, mas não de potássio ou fósforo. O autor também observou correlação negativa entre resistência a geadas e todas as variáveis de crescimento, com exceção de peso da matéria seca da raiz.

DAVIDSON; REID (1987) relatam que espécies de eucalipto do subgênero *Monocalyptus* foram mais sensíveis a geadas em solos com má drenagem do que em solos com boas condições de drenagem e que a mesma interação não foi observada com mudas de eucalipto do subgênero *Symphyomyrtus*.

## 2.11 PARÂMETROS GENÉTICOS PARA VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO E RESISTÊNCIA A GEADAS

Os parâmetros genéticos mais importantes para um programa de melhoramento genético são a herdabilidade e as correlações genéticas entre as características avaliadas.

Herdabilidade no sentido amplo é o coeficiente entre variância genética e a variância total (WRIGHT, 1976; VENCOVSKY, 1969). Informações sobre a herdabilidade de um determinado caráter, assim como a associação genética e fenotípica dos mesmos, são fundamentais para a eficiência de programas de melhoramento (COTTERIL et al., 1988).

O estudo das correlações entre os caracteres é importante para conhecer que tipo de alteração o melhoramento de um determinado caráter pode provocar em outros caracteres (FALCONER, 1987).

O teste de progênie é a principal ferramenta usada para demonstrar a variação e estimar parâmetros genéticos, pois expõe diferenças genéticas por colocar juntos genótipos diferentes nas mesmas condições.

ROCKWOOD et al. (1991) relatou valores de herdabilidade de 0,205 ao nível de indivíduo e de 0,488 ao nível de família para resistência a geadas em *E. amplifolia* na Flórida. Para resiliência, esses autores citaram 0,213 e 0,533, respectivamente. TIBBITS et al. (1991) estimou valores de herdabilidade para resistência a geadas de *E. nitens* na ordem 0,44 para indivíduo e 0,46 para família. Para híbridos entre *E. nitens* e *E. globulus*, os valores estimados de herdabilidade foram de 0,76 para indivíduo e 0,89 para família, indicando que os

híbridos interespecíficos podem apresentar maior resistência a geadas do que os seus parentais. No Chile, PARRA; ECHEVERRIA (1993) estimaram valores de herdabilidade para resistência a geadas de *E. globulus* de 0,18 e 0,43 para indivíduo e família, respectivamente.

Resultados de experimentação em ambiente controlado mostraram um aumento na herdabilidade com uma diminuição da temperatura da geada. Foram observados valores de herdabilidade no sentido restrito variando de 0,29 a 0,53 para *E. globulus* em temperaturas variando de -5,5 °C a -8,5 °C. Para *E. nitens* de polinização controlada, as diferenças observadas nas estimativas de herdabilidade seguiram o padrão do *E. globulus*, mas foram menores, variando de 0,33 a 0,37. Embora tenham sido observados diferentes valores de herdabilidade em diferentes temperaturas, a correlação genética entre elas foi sempre alta e positiva para as duas espécies o que sugere que os mesmos genes possam estar envolvidos no processo (VOLKER et al. 1994).

REDDY; ROCKWOOD (1989) estimaram altos valores de herdabilidade na quarta geração de *E. grandis* na Flórida (0,29 para indivíduo e 0,71 para família). Os autores comentam ainda que, embora ganhos consideráveis já tenham sido alcançados, a população base ainda apresenta variabilidade sugerindo possíveis ganhos genéticos no futuro.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 MATERIAL GENÉTICO**

O experimento foi constituído de 40 progênies de *E. dunnii* originadas de sementes coletadas em duas populações naturais da Austrália. Foram também utilizadas sementes de duas árvores coletadas em um plantio comercial localizado em Campo do Tenente, PR, como testemunhas (detalhes das progênies estão contidos na TABELA 7 do Anexo). As mudas foram produzidas pelo método da repicagem em recipientes de laminado de madeira preenchidos com solo adubado. As mudas foram plantadas quando atingiram uma altura média de 20 cm, o que ocorreu aproximadamente 4 meses após a semeadura. Os laminados foram retirados por ocasião do plantio.

#### **3.2 ÉPOCA E LOCAL DE INSTALAÇÃO**

O experimento foi instalado em fevereiro de 1993 na fazenda Lageado, da Placas do Paraná S.A., em Campo do Tenente, PR. A área experimental situa-se na latitude 25°59'S, longitude 49°41'W e altitude de 825 m. O clima da região, segundo o sistema Holdridge, é submontano (tipo temperado quente) úmido e muito úmido, com temperatura média anual entre 15 °C e 19 °C com mínima

absoluta de  $-5^{\circ}\text{C}$  a  $-10^{\circ}\text{C}$ , com até 40 geadas por ano. A precipitação média anual é de 1.250 a 2.500 mm com distribuição uniforme e sem déficit hídrico. Os dados referentes à temperatura e precipitação coletados próximos à área do experimento estão apresentados no TABELA 1 do anexo.

O solo da área experimental é do tipo latossolo vermelho escuro, pouco profundo, horizonte A proeminente e textura argilosa. O relevo é ligeiramente ondulado.

### **3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL**

O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso com 6 repetições, parcelas lineares de 4 plantas e bordadura dupla. O espaçamento entre plantas adotado foi de 3,0 m x 3,0 m.

### **3.4 AVALIAÇÕES**

As avaliações de danos (resistência à geada) foram feitas 30 dias após a ocorrência das duas geadas (26 e 28 de junho de 1994). Cada árvore recebeu nota de 0 a 10 conforme a severidade do dano (TABELA 2).

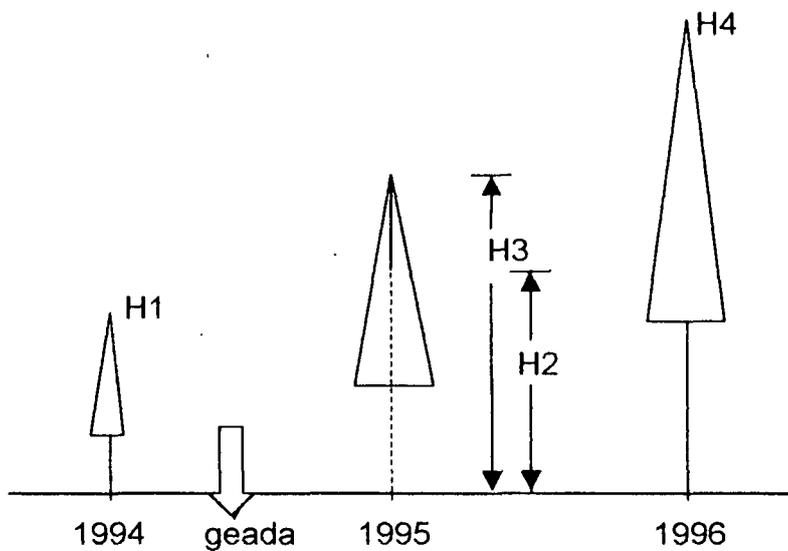
TABELA 2 – NOTAS ATRIBUÍDAS A DANOS CAUSADO POR GEADAS, ADAPTADO DE FRANKLIN; MESKIMEN (1983).

Nota	Nível de dano *
10	Sem dano visual
9	Menos de 25% da área foliar danificada
8	25-49% da área foliar danificada
7	50-74% da área foliar danificada
6	75-99% da área foliar danificada
5	100% da área foliar danificada
4	Menos de 25% do caule danificado
3	25-49% do caule danificado
2	50-74% do caule danificado
1	75-99% do caule danificado
0	100% do caule danificado

\* Notas abaixo de 4 também apresentavam 100% da área foliar queimada.

Nove meses após a geada, ou seja, aos 26 meses de idade, foi feita uma avaliação medindo-se altura total, altura onde ocorreu o dano (nas plantas que sofreram danos de geada), número de brotos e diâmetro a altura do peito (DAP). As demais avaliações (FIGURA 3) foram feitas aos 12, 26 e 36 meses de idade, para a análise de crescimento (DAP e altura total) e volume cilíndrico individual.

FIGURA 3 - ESQUEMA DE MEDIÇÃO DE ALTURA USADO



onde:

H1 = altura total aos 12 meses de idade;

H2 = altura onde ocorreu o dano aos 26 meses de idade;

H3 = altura total aos 26 meses de idade;

H4 = altura total aos 36 meses de idade.

O seguinte cálculo foi considerado como resiliência:

$$\text{Resiliência} = \frac{H3 - H2}{H3} \cdot 100$$

### 3.5 ANÁLISE DOS DADOS

#### 3.5.1 Análise de Variância

O modelo matemático utilizado para análise de variância foi o seguinte:

$$Y_{(prk)} = \mu + p_p + r_r + e_{(pr)} + d_{(prk)}$$

Onde:

$Y_{(prk)}$  = observação da planta k, da progênie p na repetição r;

$\mu$  = média geral,

$p_p$  = efeito da progênie p, com  $p = 1, 2, 3 \dots, 42$ ,

$r_r$  = efeito da repetição r; com  $r = 1, 2, 3, \dots 6$ ;

$e_{(pr)}$  = erro experimental associado à progênie p na repetição r;

$d_{(prk)}$  = efeito entre plantas dentro da parcela, associado ao indivíduo k da progênie p na repetição r, com  $k = 1, 2, 3$  e 4.

O esquema de análise da variância, com as respectivas esperanças dos quadrados médios, considerando todos os efeitos como aleatórios, exceto a média, está apresentado na TABELA 3.

TABELA 3 . ESQUEMA DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA, AO NÍVEL DE INDIVÍDUO.

F.V.	GL	QM	E (QM)
Blocos	r-1	Q <sub>1</sub>	$\hat{\sigma}_b^2 + k\hat{\sigma}_e^2 + kp\hat{\sigma}_r^2$
Progênes	p-1	Q <sub>2</sub>	$\hat{\sigma}_d^2 + k\hat{\sigma}_e^2 + kr\hat{\sigma}_p^2$
Erro	(r-1)(p-1)	Q <sub>3</sub>	$\hat{\sigma}_d^2 + k\hat{\sigma}_e^2$
Dentro	r p (k-1)	Q <sub>4</sub>	$\hat{\sigma}_d^2$
Total	p r k-1		

Onde:

QM = quadrado médio;

E (QM) = esperança do quadrado médio;

r = número de blocos;

p = número de progênes;

k = número de plantas por parcela;

$\hat{\sigma}_r^2$  = variância entre blocos;

$\hat{\sigma}_p^2$  = variância genética entre progênes de meios-irmãos;

$\hat{\sigma}_e^2$  = variância ambiental entre parcelas;

$\hat{\sigma}_d^2$  = variância fenotípica entre plantas dentro de parcelas.

### 3.5.2 Estimativa de parâmetros genéticos e fenotípicos

Os componentes genéticos das esperanças dos quadrados médios (Tabela 4) foram calculados segundo VENCOVSKY (1978).

TABELA 4 - EXPRESSÕES USADAS PARA O CÁLCULO DOS COMPONENTES GENÉTICOS DOS QUADRADOS MÉDIOS (VENCOVSKY, 1978).

Estimativas	Expressões para as estimativas
$\hat{\sigma}_p^2$ = variância genética entre progênes de meio-irmãos	$(Q_2 - Q_3) / kr$
$\hat{\sigma}_A^2$ = variância genética aditiva	$4 [(Q_2 - Q_3) / kr]$
$\hat{\sigma}_r^2$ = variância entre repetições	$(Q_1 - Q_3) / kp$
$\hat{\sigma}_F^2$ = variância fenotípica entre médias de progênes	$Q_2 / kr$
$\hat{\sigma}_e^2$ = variância ambiental entre parcelas	$(Q_3 - Q_4) / k$
$\hat{\sigma}_d^2$ = variância fenotípica entre plantas dentro de parcelas	$Q_4$

As estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos foram obtidas com o programa de análise genético estatístico "SELEGEN" (RESENDE et al., 1994).

As fórmulas utilizadas foram:

- a) coeficiente de herdabilidade sentido restrito a nível de indivíduo no experimento ( $h_{ie}^2$ ).

$$\hat{h}_{ie}^2 = \frac{\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_d^2 + \hat{\sigma}_r^2}$$

- b) coeficiente de herdabilidade no sentido restrito ao nível de médias de famílias de meios-irmãos ( $h_F^2$ ).

$$h_F^2 = \frac{[(3 + kr)/(4kr)] \hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_p^2 + \frac{\hat{\sigma}_e^2}{r} + \frac{\hat{\sigma}_d^2}{kr}}$$

Foram calculados coeficientes de herdabilidade para duas taxas de endogamia, 10% e 30%, usando os valores estabelecidos por RESENDE et al. (1995). A escolha desses valores foi baseada no trabalho de MORAN; BELL (1983).

Para o cálculo dos desvios das herdabilidades foram utilizadas as equações:

a) ao nível de família

$$s = \left[ \frac{2}{\text{GL fam.} + 2} + \frac{2}{\text{GL rep.} + 2} \right]^{1/2} (1 - h_F^2)$$

onde:

GL fam. = graus de liberdade de família

GL rep. = graus de liberdade de repetições

b) ao nível de indivíduo

$$s = \sqrt{\frac{32 h_{ie}^2}{pk}}$$

onde:

p = número de famílias

k = número de plantas por parcela

Para o cálculo dos coeficientes de correlações, foram usadas as seguintes fórmulas:

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

$$r_{A_{XY}} = \frac{C\hat{O}V_A(X, Y)}{(\sigma_{A_X}^2 \cdot \sigma_{A_Y}^2)^{1/2}}$$

Onde:

$\sigma_{A_X}^2$  = Variância genética aditiva do caráter x.

$\sigma_{A_Y}^2$  = Variância genética aditiva do caráter y.

b) coeficiente de correlação fenotípica ao nível de médias de progênies ( $r_{\bar{F}}$ )

$$r_{\bar{F}} = \frac{C\hat{O}V_{\bar{F}}(X, Y)}{(\sigma_{\bar{F}_X}^2 \cdot \sigma_{\bar{F}_Y}^2)^{1/2}}$$

Onde:

$\sigma_{\bar{F}_X}^2$  = Variância fenotípica do caráter x, ao nível de médias de famílias.

$\sigma_{\bar{F}_Y}^2$  = Variância fenotípica do caráter y, ao nível de médias de famílias.

O desvio padrão do coeficiente de correlação genética aditiva foi calculado segundo FALCONER (1987):

$$s(r_{A_{xy}}) = \frac{1 - (r_{A_{xy}})^2}{\sqrt{2}} \left[ \frac{s(\hat{h}_{fx}^2) + s(\hat{h}_{fy}^2)}{\hat{h}_{fx}^2 \cdot \hat{h}_{fy}^2} \right]^{1/2}$$

Onde:

$s(r_{A_{xy}})$  = desvio padrão do coeficiente de correlação genética aditiva dos caracteres x e y;

$s(\hat{h}_{fx}^2)$  = desvio padrão do coeficiente de herdabilidade ao nível de famílias do caracter x;

$s(\hat{h}_{fy}^2)$  = desvio padrão do coeficiente de herdabilidade ao nível de famílias do caracter y;

$\hat{h}_{fx}^2$  = coeficiente de herdabilidade do caracter x, ao nível de famílias.

$\hat{h}_{fy}^2$  = coeficiente de herdabilidade do caracter y, ao nível de famílias

### 3.5.3 Correlações entre os caracteres analisados

O coeficiente de correlação de Spearman foi calculado pela fórmula (SNEDECOR; COCHRAN, 1980):

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum D^2}{n - (n^2 - 1)}$$

Onde:

D= desvios das médias

n= número de médias

### **3.5.4 Análise multivariada**

Foi escolhida a análise de fatores para avaliar a influência da geada no crescimento em altura (JOHNSON; WICHERN, 1984). As variáveis foram padronizadas para a definição dos fatores, evitando problemas com unidades e magnitudes, evitando também a influência individual de uma variável com alta variância na estimativa dos pesos dos fatores. A escolha do número de fatores foi baseada no método de Kaiser (autovalores  $> 1$ ). Também foi utilizado a rotação Varimax e foram obtidos os escores fatoriais.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CRESCIMENTO

As análises de crescimento foram baseadas nas variáveis altura, DAP e volume cilíndrico. Todas as variáveis analisadas apresentaram diferenças significativas ao nível de progênies aos 12, 26 e 36 meses de idade (TABELA 6).

De maneira geral, mesmo após a ocorrência das geadas de junho de 1994, a ordem hierárquica das progênies foi mantida nos três anos de medições, para todas as variáveis (TABELA 10 e TABELAS 3, 4 e 5 DO ANEXO). Progênies como as número 01 e 21 apresentaram baixa taxa de crescimento durante todo o período analisado, enquanto outras progênies mantiveram-se com taxas de crescimento acima da média durante o mesmo período. A diferença entre as progênies em relação ao crescimento, pode ser melhor avaliada tomando-se algumas comparações. Como exemplo pode se citar a altura da progênie 21 (8,88 m) aos 36 meses de idade, que corresponde a 68% da altura da progênie 36 (13,03 m) na mesma idade (TABELA 5).

As testemunhas (progênies número 41 e 42) apresentaram crescimento semelhante a média do experimento. O grupo de progênies, (11, 13, 16, 19, 20 e 36), apresentou crescimento acima da média de todas as variáveis, em todas as medições (TABELA 5).

TABELA 5. PROGÊNIES DE *E. dunni* COM OS MAIORES (NÚMEROS 11, 13, 16, 19, 20 E 36) E MENORES (NÚMEROS 01 E 21) CRESCIMENTOS EM ALTURA (M), E DAP (CM) E TESTEMUNHAS (NÚMEROS 41 E 42) AOS 12 (H1 E DAP 1), 26 (H2, H3 E DAP 2) E 36 MESES (H4 E DAP 3) DE IDADE EM CAMPO DO TENENTE, PR.

Progênie	Altura (m)				Diâmetro (cm)		
	H1	H2	H3	H4	DAP 1	DAP 2	DAP 3
11	3,11	3,92	8,62	13,52	2,20	9,06	11,61
13	3,00	3,40	8,04	12,94	1,85	8,51	10,78
16	2,70	3,52	8,35	13,25	1,95	8,47	11,13
19	3,05	3,34	8,10	12,71	2,07	8,58	11,10
20	3,14	3,44	8,10	12,95	2,15	8,57	10,94
36	3,23	4,39	8,04	13,03	2,25	8,49	11,34
01	2,42	1,96	5,39	9,72	1,35	4,99	7,63
21	2,22	1,69	5,62	8,88	1,57	5,00	6,78
41	2,93	3,28	7,53	11,98	1,78	7,29	9,73
42	2,87	4,07	7,26	12,03	1,82	7,58	10,54

TABELA 6 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DE 42 PROGÊNIES DE *E. dunni* PARA ALTURA, DAP E VOLUME CILÍNDRICO, MEDIDOS AOS 12, 26 E 36 MESES EM CAMPO DO TENENTE, PR.

Característica		Idade (meses)		
		12	26	36
Altura	Média (m)	2,75	7,14	11,83
	C.V. (%)	13,99	15,60	13,15
	F	2,72**	3,37**	2,29**
DAP	Média (cm)	1,77	7,11	9,65
	C.V. (%)	26,40	19,52	17,55
	F	1,24 <sup>n.s.</sup>	2,99**	2,30**
Volume Cilíndrico	Média (m <sup>3</sup> )	—	0,0368	0,1042
	C.V. (%)	—	41,26	34,74
	F	—	2,61**	2,25**

\* significativo ao nível de 5%

\*\* significativo ao nível de 1%

<sup>n.s.</sup> não significativo

Com base nesses resultados conclui-se que no germoplasma introduzido encontra-se um potencial para melhorar a produtividade dos plantios de *E. dunni* na região.

As geadas acentuaram as diferenças entre as médias das progênies para as variáveis avaliadas. Os valores de F estimados para as avaliações realizadas aos 26 meses de idade foram superiores aos valores de F estimados para as mesmas variáveis aos 12 e 36 meses de idade.

#### **4.2 RESPOSTA AOS DANOS CAUSADOS POR GEADA**

Um dos principais aspectos a ser considerado na avaliação da resistência a geadas de uma espécie é a sobrevivência. Nesse experimento foram observadas diferenças significativas entre sobrevivência de progênies em cada um dos três anos de avaliação (TABELA 7), mas a diferença na média entre o primeiro, segundo e terceiro ano de medição foi mínima, (93,95 %; 91,77 % e 91,47 % respectivamente). A pequena queda observada no percentual de sobrevivência após a geada de junho de 1994 ocorreu em 13 progênies (números 2, 3, 9, 10, 11, 16, 18, 23, 24, 26, 27, 28, e 33) sendo que as quedas mais acentuadas foram observadas nas progênies que já apresentavam taxas de sobrevivência inferiores às demais como a 27 e 28 (TABELA 2 DO ANEXO). É provável, portanto, que a queda seja consequência de outros fatores. A queda na sobrevivência dos 26 meses para os 36 meses foi ainda menor, de 91,77% para 91,47%, sendo que apenas 3 progênies (números 10, 17 e 33) apresentaram queda na taxa de sobrevivência.

TABELA 7 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIAS EM PROGÊNIES DE *E. dunnii* PLANTADAS EM CAMPO DO TENENTE, PR; RESISTÊNCIA (AVALIADA AOS 18 MESES DE IDADE), NÚMERO DE BROTO APICAIS (PLANTAS COM 26 MESES DE IDADE); SOBREVIVÊNCIA (%) AOS 12, 26 E 36 MESES DE IDADE E RESILIÊNCIA AOS 26 MESES DE IDADE.

Característica	Média	F	C.V. (%)
Resistência a geadas (notas)	6,02	7,12**	13,74
Número de brotos apicais	1,67	1,66*	32,27
Sobrevivência (%) 12 meses	93,95	1,97**	14,08
Sobrevivência (%) 26 meses	91,77	3,16**	17,68
Sobrevivência (%) 36 meses	91,47	2,89**	17,72
Resiliência (%)	61,84	1,64*	19,37

\*\* significativo ao nível de 1%

\* significativo ao nível de 5%

Resultado semelhante é relatado por LISBÃO (1980) com *E. dunnii* aos três meses de idade. O autor cita que a sobrevivência permaneceu alta mesmo após as plantas terem sido afetados por geadas severas na região de Colombo, PR. DARROW (1984) também observou apenas uma pequena queda na mortalidade de *E. dunnii*, (menos de 5%), mesmo depois de uma geada de -11 °C, quando as plantas tinham menos de um ano de idade. Entretanto, uma sobrevivência inferior a 60% para *E. dunnii* (procedência MG), aos 45 meses de idade, foi observada por HIGA; CARVALHO (1990) em um experimento plantado na região de Dois Vizinhos, PR. No mesmo experimento, a procedência australiana (Dorrigo, NSW) apresentou uma sobrevivência de 77,5 %, sugerindo que esta característica pode ter sido afetada pela procedência da semente.

As TABELAS 7 e 8 apresentam também os resultados da análise de variância e das médias de progênies para as características relacionadas ao efeito da geada de junho de 1994. Foram observadas diferenças significativas, ao nível de 1%, para progênies de *E. dunnii* em relação à resistência a geadas

usando o sistema de notas. Entre as progênies que se destacaram como resistentes a geadas estão as testemunhas locais, (progênies 41 e 42), com notas 8,04 e 8,36 respectivamente (FIGURA 5). Este resultado mostra, provavelmente, o efeito da seleção realizada anteriormente no germoplasma coletado no local.

Outra característica muito importante verificada em grande número de plantas após a ocorrência de geadas é a emissão de brotos apicais, cuja observação só foi possível na avaliação feita aos 26 meses. A brotação é consequência da morte da gema apical, e pode provocar deformações no fuste ou bifurcação (FIGURAS 6, 7, 8, 9 e 10). Em qualquer um dos casos, mesmo que o crescimento da árvore não seja afetado, a qualidade da madeira pode ser prejudicada pela ocorrência de madeira morta inclusa.

As progênies apresentaram diferenças significativas em relação ao número de brotos apicais (TABELAS 7 e 8). Na avaliação feita aos 26 meses de idade, 40% das plantas observadas apresentavam mais de um broto. No entanto, esse número caiu para 9% aos 36 meses de idade, quando a maioria das plantas voltaram a apresentar um único broto terminal. Isto ocorre porque o gênero *Eucalyptus* tem forte dominância apical, conforme citado por JACOBS (1955). É importante ressaltar que os danos causados pela geada permanecem claramente visíveis, quer seja por tortuosidade (FIGURA 8), que pode variar de leve a acentuada, ou pela presença de ramos grossos (FIGURAS 6, 7, 9 e 10). Também são observadas quebras no local da lesão (FIGURA 8). É provável que, embora a planta retome o crescimento, esse tipo de dano possa provocar lesões que comprometam a qualidade da madeira e favoreçam a entrada de pragas e/ou doenças.

Quanto a resiliência, as diferenças entre progênies foram significativas ao nível de 5% pelo teste F (TABELA 7). A capacidade de recuperação é diferente entre as progênies. No item 4.3, esse assunto é discutido com mais detalhes.

TABELA 8 – AVALIAÇÃO DAS PROGÊNIES PARA RESISTÊNCIA A GEADAS AOS 18 MESES DE IDADE (RESIST.) E SOBREVIVÊNCIA (SOBREV.%), NÚMERO DE BROTO APICAIS (NB) E RESILIÊNCIA A GEADAS (RESIL.%) AOS 26 MESES DE IDADE, DE PROGÊNIES DE *E. dunnii*, PLANTADAS EM CAMPO DO TENENTE, PR.

Progenie	Resist.	Sobrev. (%)	NB	Resil. (%)
01	3,38	87,50	2,71	69,69
02	5,18	91,67	2,15	74,72
03	5,46	87,50	1,68	68,51
04	5,78	95,83	1,92	68,88
05	4,60	95,83	1,71	69,45
06	6,67	91,67	1,60	60,96
07	4,33	75,00	2,13	63,58
08	5,01	91,67	2,11	64,89
09	5,20	91,67	1,97	63,55
10	6,17	95,83	1,35	67,07
11	7,86	87,50	1,25	54,60
12	7,25	100,0	1,18	62,04
13	8,08	95,83	1,38	58,99
14	5,11	95,83	1,54	63,50
15	6,75	100,0	1,29	56,65
16	6,75	91,67	1,14	59,88
17	5,38	100,0	1,42	60,56
18	6,53	91,67	1,47	64,21
19	8,00	100,0	1,42	59,63
20	7,29	100,0	1,88	59,59
21	3,83	95,83	2,24	74,79
22	6,33	95,83	1,39	61,30
23	4,88	91,67	1,56	54,41
24	6,08	95,83	1,38	55,01
25	7,71	95,83	2,06	65,52
26	6,29	91,67	1,67	71,96
27	3,33	62,50	1,75	62,98
28	1,35	41,67	1,71	57,88
29	5,47	95,83	1,88	63,97
30	5,50	95,83	1,79	64,63
31	7,14	91,67	1,53	55,50
32	6,38	91,67	1,68	63,78
33	5,06	95,83	1,68	62,79
34	5,29	87,50	1,75	67,18
35	6,78	95,83	1,51	62,71
36	6,74	95,83	1,38	45,66
37	7,29	100,0	1,75	59,64
38	6,90	95,83	1,75	57,56
39	7,67	83,33	1,96	53,09
40	6,74	91,67	1,44	67,33
41	8,04	100,0	1,46	58,72
42	8,36	95,83	1,83	48,93
Média	6,02	91,77	1,67	61,84

FIGURA 5 - PROGÊNIE DE *E. dunnii* AOS 26 MESES DE IDADE NÃO APRESENTANDO DANO DE GEADA EM CAMPO DO TENENTE, PR.



FIGURA 6 - BIFURCAÇÃO CAUSADA POR GEADA EM *E. dunnii* AOS 26 MESES DE IDADE EM CAMPO DO TENENTE, PR.



FIGURA 7 - BIFURCAÇÃO CAUSADA POR GEADA EM *E. dunnii* AOS 26 MESES DE IDADE EM CAMPO DO TENENTE, PR.



FIGURA 8 - BIFURCAÇÃO CAUSADA POR GEADA E SEGUIDA DE QUEBRA EM *E. dunnii* AOS 26 MESES DE IDADE EM CAMPO DO TENENTE, PR.



FIGURA 9 - BIFURCAÇÃO BASAL CAUSADA POR GEADA EM *E. dunnii* AOS 26 MESES DE IDADE EM CAMPO DO TENENTE, PR.



FIGURA 10 - DEFORMAÇÃO CAUSADA POR GEADA EM *E. dunnii* AOS 26 MESES DE IDADE EM CAMPO DO TENENTE, PR.



Nenhuma planta recebeu nota máxima (10) na avaliação de resistência realizada aos 18 meses de idade. Aos 26 meses de idade, 3,9% não apresentaram sintomas de danos, mesmo tendo sofrido danos leves causados pela geada aos 18 meses. A avaliação realizada um mês após a ocorrência das geadas, mostrou que apenas 4,8% das plantas foram totalmente queimadas pela geada (nota zero). Porém, somente a metade (2,4%) dessas confirmaram este nível de dano na avaliação feita aos 26 meses de idade.

Todas as plantas apresentaram danos visíveis causados pela geada. Isso reforça as observações feitas por PATON (1981, 1982 e 1983) e confirma que o gênero não é tolerante, mas resistente a geadas. Como a formação de gelo provoca danos irreversíveis aos tecidos (LARCHER, 1983; SAKAI; LARCHER, 1987; MOHR; SCHOPFER, 1995), é provável que a resistência seja decorrente de mecanismos de prevenção, especialmente super-resfriamento, que normalmente fazem com que a planta não sofra dano até alguns graus abaixo de zero. Outra hipótese é de que a espécie seja capaz de se aclimatar com maior rapidez e com apenas algumas horas de baixas temperaturas. Isto explicaria a superioridade em resistência a geadas da espécie em relação ao *E. grandis* e *E. saligna* no sul do Brasil.

O método de avaliação, através da atribuição de notas, mostrou-se eficiente, o que pode ser confirmado comparando-se as notas atribuídas um mês após a geada com a altura do dano (H2). As progênies com médias de notas (resistência) mais baixas apresentaram alturas médias do dano também mais baixas (TABELAS 8 e 10).

#### 4. 3 EFEITO DA GEADA NO CRESCIMENTO EM ALTURA

Danos de geada podem, além de prejudicar o desenvolvimento posterior, acarretar perdas no crescimento em altura. Como o crescimento é retomado abaixo da altura onde ocorreu o dano, muitas vezes com o desenvolvimento de mais de uma gema epicórmica, é formada uma marca característica, que é prejudicial para a qualidade da madeira (FIGURA 8).

A média geral de altura aos 12 meses de idade (H1) e a média geral da altura do dano causado pela geada (H2) são praticamente da mesma magnitude (TABELA 9). Em termos absolutos, ocorreu um pequeno crescimento em altura, entre a medição realizada aos 12 meses e a ocorrência da geada ocorrida aos 16 meses de idade. De maneira geral, as progênies que apresentavam os maiores crescimentos em altura aos 12 meses de idade (H1) mantiveram suas posições após a ocorrência da geada (H3 e H4), conforme pode ser observado na TABELA 10 e TABELA 3 do Anexo.

TABELA 9 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS ALTURAS AVALIADAS AOS 12 MESES (H1), 26 MESES (H2 E H3) E 36 MESES (H4) DE PROGÊNIES DE *E. dunnii* EM CAMPO DO TENENTE, PR.

Alturas (m)	Média	Diferenças	
		F	C.V. (%)
H1	2,75	2,72**	13,99
H2	2,98	2,62**	32,21
H3	7,14	3,37**	15,60
H4	11,83	2,29**	13,15

\* significativo ao nível de 5%

\*\* significativo ao nível de 1%

As progênies mantiveram suas posições hierárquicas em relação ao crescimento em altura, como pode ser vista na TABELA 10, onde se apresentam os resultados do coeficiente de correlação de Spearman. Observou-se também, que as correlações entre resistência a geadas e crescimento em altura foram positivas e significativas, enquanto que as correlações entre a resistência a geadas e resiliência foram significativas, mas negativas. A mesma relação também foi observada por FERRAZ; COUTINHO (1984) que analisaram, por gamagrafia, amostras de madeira de *E. saligna* com 9 anos de idade que haviam sido afetadas por geadas aos 2 anos de idade na região de Salto do Pirapora, SP. Foi observado que as árvores dominantes sofreram maiores danos em relação às co-dominantes. Também não foi observada mudança na posição hierárquica das árvores antes e depois da geada. As árvores dominadas e as co-dominantes aos 9 anos já pertenciam a esta classe quando ocorreu a geada.

É provável que, em *E. dunnii*, a resistência e a resiliência a geadas sejam reações resultantes de processos fisiológicos distintos. Uma alteração na classificação hierárquica do crescimento das progênies poderia ser observada, caso ocorressem geadas severas em anos consecutivos. O efeito cumulativo de danos de geada pode alterar sobremaneira o comportamento das progênies. Aquelas que apresentam maior desenvolvimento inicial podem não manter essa vantagem após a ocorrência de várias geadas. Por essa razão é que, no programa de melhoramento de eucalipto na Flórida, a resiliência também é uma característica incluída como critério de seleção (ROCKWOOD et al., 1991; MESKIMEN et al., 1987). A retomada de crescimento também tem sido usada

para escolha de espécies de eucalipto em regiões de ocorrência de geadas na África do Sul (DARROW, 1995).

TABELA 10 - CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA CRESCIMENTO EM ALTURA (m) AOS 12 (H1), 26 (H1 E H2) E 36 (H4) MESES DE IDADE, RESISTÊNCIA A GEADAS (RESIST.), RESILIÊNCIA (RESIL.), SOBREVIVÊNCIA (SOBREV.) E NÚMERO DE BROTOS APICAIS (N.B.) AOS 26 MESES DE IDADE DE PROGÊNIES DE *E. dunnii* EM CAMPO DO TENENTE, PR.

	H2	H3	H4	Resist.	Resil	Sobrev.	N.B.
H1	0,71**	0,74**	0,71**	0,63**	-0,61**	0,40**	-0,40**
H2	—	0,84**	0,78**	0,65**	-0,88**	0,29n.s.	-0,46**
H3		—	0,90**	0,59**	-0,67**	0,33*	-0,49**
H4			—	0,48**	-0,60**	0,24n.s.	-0,37*
Resist.				—	-0,57**	0,48**	-0,41**
Resil.					—	0,22n.s.	0,37*
Sobrev.						—	-0,24n.s.

\* significativo ao nível de 5%

\*\* significativo ao nível de 1%

n<sup>s</sup> não significativo

#### 4.3.1 Análise de componentes principais

O objetivo da análise de componentes principais é simplificar a interpretação dos resultados, verificando quais as variáveis ou quais os conjuntos de variáveis explicam a maior parte da variabilidade total, mostrando que tipo de relacionamento existe entre elas (MARQUES, 1997). Neste trabalho foram utilizados dados de alturas: H1, H2, H3, H4 e de resistência a geadas das 42

progênies, com o propósito de analisar o crescimento antes e depois da geada de forma conjunta.

Os resultados da análise dos componentes principais são apresentados nas TABELAS 11, 12 e 13.

TABELA 11 - RESULTADO DA ANÁLISE DE CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS PADRONIZADAS E OS COMPONENTES PRINCIPAIS.

Variável	Componentes Principais (CP)				
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
1	0,8835	-0,1739	0,4192	-0,1160	0,0088
2	0,9400	-0,0122	0,0333	0,3383	0,0258
3	0,9530	-0,1403	-0,1791	-0,0537	-0,1928
4	0,9299	-0,1897	-0,2496	-0,1116	0,1566
5	0,8020	0,5925	0,0014	-0,0755	0,0076

TABELA 12 - PROPORÇÃO DE VARIÂNCIA EXPLICADA PELOS AUTOVALORES DA MATRIZ CORRELAÇÃO.

Ordem	Autovalores	Variância explicada em (%)	Variância acumulada (%)
1	4,0802	81,60	81,60
2	0,4371	8,74	90,35
3	0,2712	5,42	95,77
4	0,1489	2,98	98,75
5	0,0625	1,25	100,0

TABELA 13 - ESTRUTURA DO FATOR, COMUNALIDADES, AUTOVALORES E VARIÂNCIAS EXPLICADA PARA CADA FATOR COMPOSTO.

Variáveis Determinadas	Fatores (pesos estimados)		Comunalidades
	Crescimento	Resistência	
H1	0,8341	0,3392	0,81
H2	0,7927	0,5055	0,88
H3	0,8737	0,4056	0,93
H4	0,8815	0,3516	0,90
Resistência	0,3454	0,9354	0,99
Autovalores	2,98	1,53	
Variância separada	56,68	33,67	
(%) cumulativa	56,68	90,53	

Foram identificados dois fatores que explicam 90,53% das variáveis originais. Somente o primeiro componente, a altura aos 12 meses de idade (H1), explica 81,60% da variância. A altura aos 12 meses de idade e altura do dano (H2) explicam 90,35% da variação (TABELA 13).

Na TABELA 13, está demonstrada a estrutura do fator para esses grupos. O fator 1 foi chamado crescimento, e os maiores carregamentos ou peso fatorial, encontram-se em todas as alturas. O fator 2 foi chamado resistência a geadas, uma vez que o maior carregamento caiu sobre essa variável.

Dados de altura não devem expressar nível de resistência a geadas porque são fatores distintos como mostra o gráfico dos pesos rotacionados (FIGURA 12). Entre as alturas analisadas H2 (altura do dano), expressa melhor a resistência a geadas porque apresenta o maior peso estimado entre as alturas no fator resistência a geadas (TABELA 13). Entre os pesos estimados do fator crescimento, a altura aos 36 meses de idade (H4) é a variável que melhor expressa a variação total observada.

As comunalidades indicam que os dois fatores (crescimento e resistência) são responsáveis por uma alta porcentagem da variância em cada variável.

Os resultados dessas análises, indicam que a análise de fatores e componentes principais podem fornecer valiosos subsídios para interpretar o comportamento de diferentes germoplasmas expostos a fatores de estresses.

O resultado dos escores fatoriais finais ponderados e ordenados é apresentado na TABELA 14. Pode ser verificado que a posição das progênies em relação ao crescimento em altura foi similar àquela observada em todas as medições (TABELA 3 do Anexo), mas não foi similar à ordem observada para

resistência a geadas (TABELA 8). Esses resultados confirmam o que foi discutido anteriormente, que os danos de geada não alteraram a posição hierárquica das progênies em relação a crescimento em altura.

A dispersão dos escores rotacionados (FIGURA 11) ilustra o comportamento das progênies considerando crescimento e resistência a geadas. Pode ser observado um comportamento similar entre si e diferenciado das testemunhas (41 e 42), entre as progênies que apresentaram as melhores notas para resistência a geadas (TABELA 8). Progênies como as de número 28, 21 e 1 que apresentaram performance abaixo da média e ocupam as piores posições para quase todas as características analisadas, estão graficamente distantes entre si, o que pode indicar que sejam diferentes em relação ao crescimento em altura e resistência a geadas.

O gráfico dos pesos dos fatores rotacionados (FIGURA 12), ilustra a posição dos fatores. O fator 5, resistência a geadas, está claramente separado dos outros que correspondem às alturas.

FIGURA 11 – DISPERSÃO DOS ESCORES ROTACIONADOS: (CRESCIMENTO EM ALTURA X RESISTÊNCIA A GEADAS) NA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (OS NÚMEROS REPRESENTAM AS PROGÊNIES TESTADAS).

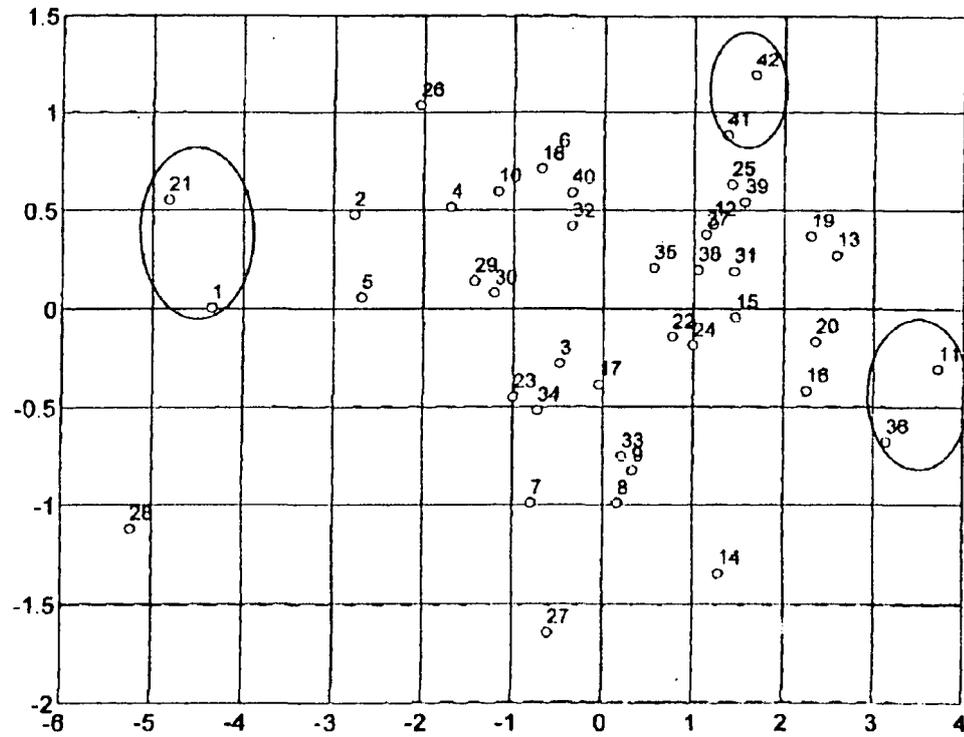
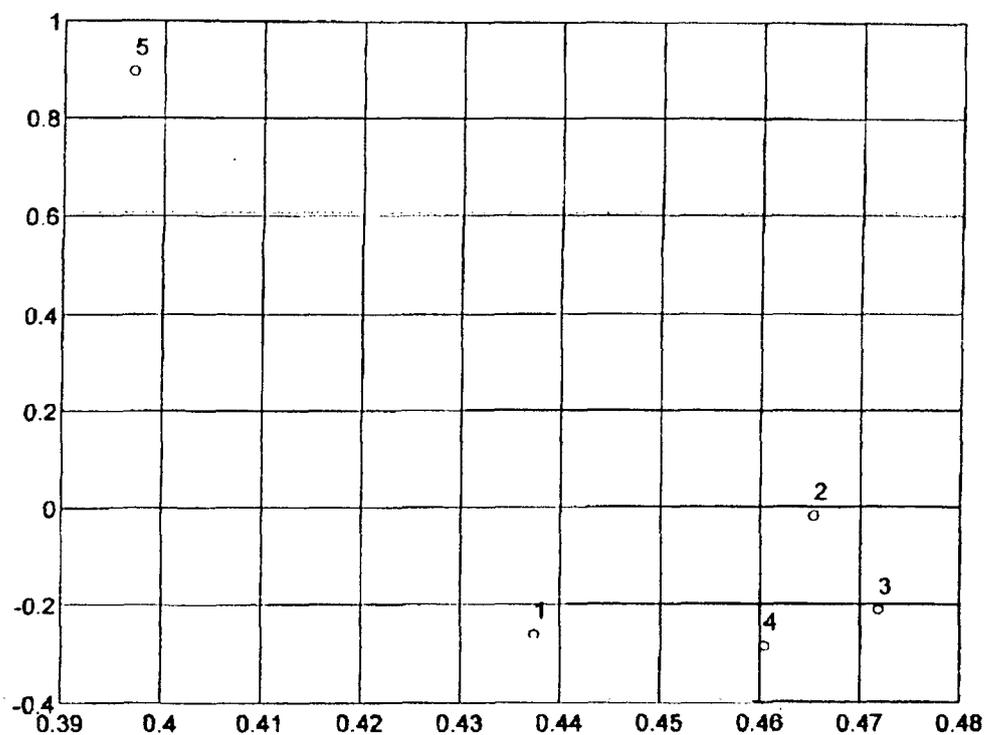


FIGURA 12 – PESO DOS FATORES ROTACIONADOS (CRESCIMENTO EM ALTURA X RESISTÊNCIA A GEADAS) NA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.



Fatores:

1 = H1 (altura aos 12 meses de idade)

2 = H2 (altura do dano da geada aos 26 meses de idade)

3 = H3 (altura total aos 26 meses de idade)

4 = H4 (altura aos 36 meses de idade)

5 = Resistência a geadas

TABELA 14 - ESCORES FATORIAIS FINAIS PONDERADOS E ORDENADOS PARA AS ALTURAS E RESISTÊNCIA A GEADAS DE PROGÊNIES *E. dunnii* EM CAMPO DO TENENTE, PR.

Progênie	Escore
21	-1,65
28	-1,61
01	-1,44
02	-0,97
05	-0,90
26	-0,79
04	-0,62
29	-0,49
10	-0,45
30	-0,41
18	-0,31
23	-0,28
06	-0,25
34	-0,18
40	-0,18
32	-0,16
07	-0,16
03	-0,13
27	-0,02
17	0,03
33	0,15
08	0,16
35	0,16
09	0,20
22	0,27
38	0,32
37	0,33
24	0,35
12	0,36
41	0,36
25	0,40
42	0,43
31	0,46
39	0,46
15	0,49
14	0,57
19	0,72
16	0,79
20	0,80
13	0,82
36	1,11
11	1,26

Os resultados da análise dos componentes principais, apoiado pela análise fatorial e a rotação varimax, auxiliam no entendimento das interações dos efeitos resultantes de causas distintas no desenvolvimento das plantas. Também podem ser usados como suporte na definição de estratégias de melhoramento e aplicação de técnicas silviculturais em situações complexas como nesse caso. O uso de análise de componentes principais no melhoramento foi discutido por RESENDE; HIGA (1992). Eles observaram diferenças entre os agrupamentos fenotípicos e o genótipo com resultados obtidos pela técnica dos componentes principais e que, no caso estudado, qualquer inferência a partir do agrupamento fenotípico poderia conduzir a resultados indesejáveis. No entanto o método tem sido útil para trabalhos com grande número de variáveis, como agrupamento de plantas por características qualitativas da madeira (DAVIDSON, 1975; VARGHESE et al., 1997). Os resultados da análise multivariada permitem visualizar o comportamento das progênies considerando-se o efeito das geadas e crescimento conjuntamente.

#### 4.4 PARÂMETROS GENÉTICOS

Os parâmetros genéticos foram calculados considerando-se dois valores de taxa de autofecundação. O uso da maior taxa de autofecundação (30%) alterou os valores estimados para herdabilidade ao nível de indivíduo, mas não provocou alterações significativas ao nível de família (TABELA 15). Os valores de herdabilidade estimados para H1 e H2 foram menores do que aqueles estimados para H3 e H4. Esse resultado é reflexo de maior efeito ambiental nas idades mais novas, provavelmente causado pela competição menos acentuada entre as plantas em idades mais precoces.

TABELA 15 - COEFICIENTES DE HERDABILIDADE E OS DESVIOS AO NÍVEL DE FAMÍLIA E AO NÍVEL DE INDIVÍDUO PARA ALTURAS (H1, H2, H3 E H4), DAP AOS 36 MESES, VOLUME CILÍNDRICO AOS 26 (VOL. 1) E 36 MESES DE IDADE (VOL. 2), RESISTÊNCIA, RESILIÊNCIA E NÚMERO DE BROTOS APICAIS (NB), ESTIMADOS NO TESTE DE PROGÊNIE DE *E. dunnii* EM CAMPO DO TENENTE, PR.

Características	Herdabilidade e desvios			
	10% de taxa de autofecundação		30% de taxa de autofecundação	
	Indiv.	Fam.	Indiv.	Fam.
H1	0,14±0,07	0,69±0,07	0,10±0,06	0,68±0,07
H2	0,14±0,07	0,67±0,08	0,10±0,06	0,66±0,08
H3	0,23±0,10	0,78±0,05	0,17±0,07	0,77±0,05
H4	0,22±0,09	0,79±0,05	0,16±0,07	0,77±0,05
DAP	0,16±0,07	0,74±0,06	0,12±0,06	0,73±0,06
Vol. 1	0,14±0,07	0,66±0,08	0,10±0,06	0,64±0,08
Vol. 2	0,12±0,06	0,62±0,09	0,08±0,05	0,61±0,09
Resistência	0,32±0,10	0,86±0,03	0,23±0,09	0,84±0,04
Resiliência	0,12±0,06	0,61±0,09	0,09±0,05	0,60±0,09
NB	0,10±0,06	0,52±0,11	0,07±0,05	0,51±0,11

Os coeficientes de herdabilidade no sentido restrito ao nível de indivíduo podem ser considerados como de baixa e média magnitudes. Esses resultados estão em conformidade com os resultados observados por PARRA; ECHEVERRIA (1994) para *E. nitens* em altura e DAP. Valores similares para herdabilidade ao nível de indivíduo para volume em *E. viminalis* foram encontrados por STURION (1993). No entanto, os coeficientes de herdabilidade ao nível de família foram altos (>50%), indicando que os efeitos genéticos foram preponderantes na manifestação destas características.

O coeficiente de herdabilidade no sentido restrito para resistência a geadas foi maior que os de características de crescimento, tanto ao nível de família como ao nível de indivíduo. Valores de coeficientes de herdabilidade de mesma magnitude foram encontrados por HIGA (1989a) para *E. viminalis* e por PARRA; ECHEVERRIA (1993) para *E. nitens*. Valores estimados para resistência a geadas de clones de híbridos de *E. grandis*, *E. tereticornis*, *E. camaldulensis* e *E. robusta* foram de maior magnitude, similares aos observados para coeficiente de herdabilidade ao nível de família (MESKIMEN et al., 1987). Para essa característica, o valor do coeficiente de herdabilidade ao nível de família estimado neste estudo foi superior ao encontrado por PARRA; ECHEVERRIA (1994) e TIBBITS et al. (1991) para *E. nitens*.

A magnitude dos coeficientes de herdabilidade encontrados para resiliência a geadas e número de brotos foram inferiores àqueles observados para resistência a geadas, tanto a nível de indivíduo como a nível de família. Esses valores também foram os menores observados entre as características avaliadas. REDDY; ROCKWOOD (1989) encontraram valores de coeficiente de

herdabilidade para resiliência a geadas de 0,29 para *E. grandis* na Flórida, bastante superior ao encontrado nesse estudo. No entanto, a resiliência do *E. grandis* foi considerada apenas como o crescimento acima do ponto de dano de geada, equivalente a H3-H2 nesse estudo, e apresentou valor similar ao encontrado para resistência a geadas. MESKIMEN et al. (1987), também observaram grande magnitude do coeficiente de herdabilidade para resiliência de clones de híbridos de *E. grandis*, *E. tereticornis*, *E. camaldulensis* e *E. robusta*.

Os coeficientes de herdabilidade estimados ao nível de indivíduo, para altura no segundo e no terceiro ano de idade (H3 e H4) são maiores que o coeficiente de herdabilidade da altura com um ano de idade (H1). Isso significa que a seleção ao nível de indivíduo dentro do experimento, feita a partir do segundo ano, apresentaria melhores resultados nas próximas gerações.

É importante salientar, no entanto, que a magnitude da herdabilidade pode variar em função das condições ambientais. VOLKER et al., (1994) relatam que para *E. nitens*, a herdabilidade aumentou quando as plantas foram submetidas a temperaturas menores.

Como salientado anteriormente, resistência e resiliência devem ser consideradas em programas de melhoramento para eucaliptos em regiões de ocorrência de geadas. Como o melhoramento visa não só o crescimento mas também melhor resistência, é importante o conhecimento da relação entre esses aspectos. O próximo item discute essas relações.

#### 4.5 CORRELAÇÕES GENÉTICAS E FENOTÍPICAS

As correlações genéticas ao nível de plantas e fenotípicas ao nível de famílias para as características de crescimento e resistência a geadas foram altas e positivas (TABELA 16). A seleção de qualquer uma dessas características implica em alta resposta na outra, uma vez que o sentido da seleção é o mesmo. Por outro lado, as estimativas das correlações genéticas e fenotípicas entre crescimento e resiliência e entre crescimento e número de brotos é de baixa magnitude e negativa, dificultando a seleção simultânea dessas variáveis e crescimento.

PARRA; ECHEVERRIA (1994) observaram uma associação negativa entre resistência a geadas e características de crescimento em *E. nitens*, indicando que árvores de maior desenvolvimento foram mais afetadas pela geada. Esses resultados são opostos aos observados nesse estudo, mas tanto as espécies como as condições climáticas são diferentes. O nível de dano provocado por geadas varia em função das condições fisiológicas da planta num dado tempo e local, e, embora o *E. nitens* seja uma espécie bastante usada em países como o Chile e Austrália para plantios em regiões de ocorrência de geadas, ele não apresenta resultados satisfatórios na região Sul do Brasil.

WILCOX et al. (1980) encontraram uma correlação linear estimada em  $-0,06$  entre crescimento em altura com 1 ano de idade e resistência a geadas em *E. regnans*, e as duas características foram consideradas independentes. Segundo o autor, algumas famílias são resistentes a geadas porque são capazes de se aclimatarem rapidamente e tornam-se dormentes no inverno, enquanto

outras não são capazes de se aclimatarem até a entrada do inverno. Isto explicaria a correlação negativa ou inexistente entre potencial de crescimento e resistência a geadas encontradas naquele estudo. O autor cita, no entanto, que algumas famílias combinavam excelente taxa de crescimento com bom nível de resistência a geadas, indicando boas perspectivas para o melhoramento genético.

A análise dos resultados para o *E. dunnii* aponta para uma situação oposta ao citado por WILCOX (1988). Plantas com melhor desenvolvimento apresentaram melhor resistência a geadas. Esse fato é altamente favorável ao melhoramento genético porque resistência a geadas e crescimento são características de interesse para a seleção de indivíduos superiores. Por outro lado, resiliência a geadas e número de brotos, não mostraram a mesma relação. Ambos apresentaram correlação negativa com resistência a geadas e crescimento.

Resultados de experimentos com *E. grandis* na Flórida mostraram que a média de resistência a geadas para clones foi altamente correlacionada com resiliência a geadas ( $r=0,77$ ). No mesmo experimento, a correlação entre crescimento em altura e resistência a geadas ( $r=0,33$ ) sugere que clones mais altos são mais resilientes, mas essa relação não ocorreu entre indivíduos do mesmo clone.

Neste trabalho, todas as variáveis utilizadas para avaliar o crescimento são altamente correlacionadas e apresentaram baixos desvios, portanto qualquer uma delas pode ser utilizada para a seleção desta característica com bons resultados. No entanto, como a altura aos 36 meses de idade (H4) apresentou maior

coeficiente de herdabilidade (TABELA 15) ela poderia ser usada na seleção para crescimento.

Por outro lado, as características crescimento, resistência, resiliência e número de brotos apicais não podem ser consideradas simultaneamente para seleção, em função de algumas delas serem negativamente ou não correlacionadas. Enquanto características de crescimento e resistência apresentam altas correlações e baixo erro, o mesmo não foi observado com relação a crescimento e resiliência e entre crescimento e número de brotos. Como nessa região, a ocorrência de geadas severas é esporádica, não seria vantajoso selecionar indivíduos com maior resiliência, uma vez que apresentariam menor crescimento.

A comparação dos resultados obtidos nesse estudo com os apresentados na literatura, evidenciam a complexidade do assunto e os riscos de generalização de recomendações de práticas silviculturais para eucalipto em regiões de ocorrência de geadas. A reforma do povoamento seria indicada se a sobrevivência fosse muito baixa. A decepa das plantas danificadas e a condução da brotação seriam recomendadas se o plantio for destinado a produção de madeira serrada. Tais procedimentos não seriam necessários se a madeira produzida for utilizada para fins energéticos.

Estudos complementares são necessários para recomendações de manejo quando a madeira for destinada a fabricação de celulose, uma vez que a parte danificada pode aumentar a quantidade de rejeitos no processo de digestão.

TABELA 16 - ESTIMATIVA DA CORRELAÇÃO GENÉTICA ADITIVA ( $r_a$ ) AO NÍVEL DE PLANTAS E FENOTÍPICA AO NÍVEL DE MÉDIA DE PROGÊNIES ( $r_{\bar{p}}$ ) PARA CRESCIMENTO EM ALTURA (m) AOS 12, 26 E 36 MESES DE IDADE (H1, H2, H3 E H4), DAP AOS 36 MESES DE IDADE, VOLUME CILÍNDRICO AOS 26 (VOL. 1) E 36 MESES (VOL. 2) DE IDADE, RESISTÊNCIA A GEADAS (RESIST.), RESILIÊNCIA (RESIL.), SOBREVIVÊNCIA (SOBREV.) E NÚMERO DE BROTO APICAIS (N.B.) AOS 26 MESES DE IDADE, ENTRE PARES DE CARACTERÍSTICAS DE *E. dunnii* EM CAMPO DO TENENTE, PR.

Caract.	H1	H2	H3	H4	DAP	Vol. 1	Vol. 2	Resist.	Resil.	NB
H1		0,82	0,79	0,77	0,80	0,80	0,79	0,64	-0,39	-0,36
H2	0,90		0,88	0,84	0,85	0,83	0,81	0,75	-0,43	-0,38
H3	0,86	0,97		0,97	0,93	0,89	0,83	0,85	-0,04	-0,24
H4	0,89	0,99	0,99		0,95	0,84	0,83	0,83	0,01	-0,16
DAP	0,89	0,98	0,95	0,96		0,91	0,94	0,77	-0,16	-0,24
Vol. 1	0,87	0,93	0,91	0,90	0,97		0,95	0,70	-0,27	-0,37
Vol. 2	0,90	0,96	0,85	0,86	0,97	0,97		0,62	-0,34	-0,36
Resist.	0,73	0,86	0,92	0,93	0,86	0,78	0,72		0,06	-0,16
Resil.	-0,33	-0,23	0,03	0,01	-0,17	-0,28	-0,45	-0,18		0,59
N. B.	-0,36	-0,36	-0,18	-0,12	-0,21	-0,42	-0,41	-0,13	0,71	

$r_a$  = diagonal inferior

$r_{\bar{p}}$  = diagonal superior

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho permitem as seguintes conclusões:

- a) as geadas de junho de 1994 não afetou a sobrevivência das progênes de *E. dunnii* plantadas em Campo do Tenente, PR, mas reduziram a altura da maioria das plantas e causaram danos em níveis variados em todas as plantas do experimento;
- b) a posição hierárquica das progênes em relação ao crescimento em altura não foi alterada pela ocorrência das geadas, mas as plantas com maior crescimento antes da geada foram menos resilientes, apresentaram menor taxa de crescimento depois da geada;
- c) das características relacionadas ao efeito da geada, os maiores valores de herdabilidade no sentido restrito, tanto ao nível de indivíduo como ao nível de família, foram estimados para a resistência, que por sua vez apresentou uma alta correlação genética com o crescimento. Isso significa que a seleção baseada em crescimento, característica mais fácil de ser avaliada, também melhoraria a resistência a geadas;
- d) as testemunhas apresentaram crescimento médio em altura, DAP e volume cilíndrico pouco acima da média do experimento, mas resistência as geadas superior a média, sugerindo melhor adaptação do material genético às condições climáticas locais;
- e) análise de componentes principais indicou que a altura aos 12 meses expressa a maior variância dentre as variáveis de crescimento em altura e resistência a geadas.

## **ANEXOS**

TABELA 1 - DADOS METEOROLÓGICOS COLETADOS EM CAMPO DO TENENTE, PR, PELA AGLOFLORA.

Período	Prec. (mm)	Temp. (°C)		Extremos no período		
		Média max.	Média mín.	Prec. (mm)	Temp. max.	Temp. mín.
<b>1993</b>						
Fev.	194,1	25,6	16,0	49,6	30,0	13,2
Mar.	127,9	26,3	15,8	32,4	30,0	11,8
Abr.	62,6	24,9	14,9	15,8	28,8	3,2
Mai.	164,9	21,0	15,0	80,4	26,0	2,2
Jun.	68,2	18,8	7,3	26,4	23,8	-1,4
Jul.	139,1	19,7	7,3	36,6	27,8	-4,4
Ago.	12,1	21,1	6,2	10,8	31,2	-2,0
Set.	307,2	20,5	11,4	78,0	31,0	3,4
Out.	122,4	-	13,4	33,8	-	2,4
Nov.	-	-	-	-	-	-
Dez.	90,4	28,0	15,9	30,2	35,0	9,0
<b>1994</b>						
Jan.	69,2	27,7	14,8	21,0	32,0	7,6
Fev.	217,3	31,9	17,5	30,8	35,0	14,0
Mar.	79,4	26,9	14,4	17,8	31,0	8,8
Abr.	109,0	24,5	13,7	30,6	30,0	6,4
Mai.	112,2	23,7	12,4	60,0	29,0	3,4
Jun.	149,4	-	7,5	38,0	-	-5,0
Jul.	175,2	-	7,3	52,8	-	-3,0
Ago.	11,6	-	7,2	8,8	-	-2,8
Set.	17,0	-	10,7	6,6	35,0	5,6
Out.	97,4	34,8	13,9	26,8	31,0	10,0
Nov.	161,1	26,5	13,8	43,6	34,0	6,0
Dez.	188,8	30,0	16,4	35,6	37,0	8,8
<b>1995</b>						
Jan.	246,1	28,2	18,0	75,8	32,0	15,0
Fev.	264,0	26,9	16,7	56,2	31,0	11,6
Mar.	97,8	27,0	14,8	39,2	32,0	7,2
Abr.	63,2	25,3	11,2	39,6	30,0	1,0
Mai.	22,2	21,6	7,7	9,0	31,0	-1,8
Jun.	174,2	21,1	8,2	69,8	26,0	0,8
Jul.	143,4	23,0	9,2	81,4	29,0	2,4
Ago.	39,4	24,6	8,9	31,6	31,0	5,8
Set.	181,1	22,9	9,6	57,8	33,0	4,8
Out.	127,6	22,7	11,2	27,0	33,0	2,0
Nov.	110,0	26,3	14,1	22,8	34,0	8,2
Dez.	108,4	28,7	14,5	24,6	35,0	11,2
<b>1996</b>						
Jan.	284,2	28,9	16,9	70,8	32,0	13,8
Fev.	168,4	27,5	17,3	41,8	32,0	12,0
Mar.	306,2	25,5	15,5	69,6	30,0	8,2
Abr.	18,4	24,7	13,1	6,0	32,0	1,4
Mai.	0	22,2	8,9	0	30,0	4,2
Jun.	178,2	17,6	7,3	45,4	25,0	-1,4

- dados não coletados

TABELA 2 - SOBREVIVÊNCIA (%) DE PROGÊNIES DE *E. dunnii*, AOS 12 MESES, 26 MESES E 36 MESES DE IDADE EM CAMPO DO TENENTE, PR.

Progênie	12 meses	26 meses	36 meses
1	87,50	87,50	87,50
2	95,83	91,67	91,67
3	95,83	87,50	87,50
4	95,83	95,83	95,83
5	95,83	95,83	95,83
6	91,67	91,67	91,67
7	75,00	75,00	75,00
8	91,67	91,67	91,67
9	95,83	91,67	91,67
10	95,83	95,83	91,67
11	91,67	87,50	87,50
12	100,00	100,00	100,00
13	95,83	95,83	95,83
14	95,83	95,83	95,83
15	100,00	100,00	100,00
16	95,83	91,67	91,67
17	100,00	100,00	95,83
18	95,83	91,67	91,67
19	100,00	100,00	100,00
20	100,00	100,00	100,00
21	95,83	95,83	95,83
22	95,83	95,83	95,83
23	100,00	91,67	91,67
24	100,00	95,83	95,83
25	95,83	95,83	95,83
26	95,83	91,67	91,67
27	83,33	62,50	62,50
28	62,50	41,67	41,67
29	95,83	95,83	95,83
30	95,83	95,83	95,83
31	91,67	91,67	91,67
32	91,67	91,67	91,67
33	100,00	95,83	91,67
34	87,50	87,50	87,50
35	95,83	95,83	95,83
36	95,83	95,83	95,83
37	100,00	100,00	100,00
38	95,83	95,83	95,83
39	83,33	83,33	83,33
40	91,67	91,67	91,67
41	100,00	100,00	100,00
42	95,83	95,83	95,83

TABELA 3 - ALTURA (M) DE PROGÊNIES DE *E. dunnii*, AOS 12 MESES (H1), 26 MESES (H2 E H3) E 36 MESES (H4) DE IDADE EM CAMPO DO TENENTE, PR.

Progenie	H1	H2	H3	H4
1	2,42	1,96	5,39	9,72
2	2,44	2,02	6,01	10,82
3	2,73	2,51	7,10	11,24
4	2,37	2,36	6,56	11,35
5	2,43	2,18	6,17	10,41
6	2,58	2,78	6,79	11,28
7	2,83	2,58	6,82	11,87
8	2,80	2,64	7,25	12,59
9	2,69	2,92	7,45	12,93
10	2,57	2,38	6,43	11,25
11	3,11	3,92	8,62	13,52
12	3,04	3,37	7,56	12,00
13	3,00	3,40	8,04	12,94
14	3,18	2,97	7,67	12,39
15	2,85	3,49	7,83	12,48
16	2,70	3,52	8,35	13,25
17	2,81	3,12	6,95	11,61
18	2,66	2,59	6,83	11,35
19	3,05	3,34	8,10	12,71
20	3,14	3,44	8,10	12,95
21	2,22	1,69	5,62	8,88
22	2,91	3,26	7,33	12,42
23	2,48	3,69	7,35	11,82
24	2,78	3,85	7,58	12,50
25	2,67	3,35	7,61	11,64
26	2,34	2,39	6,44	11,33
27	2,54	2,99	7,43	12,51
28	2,32	1,72	5,18	9,65
29	2,73	2,37	6,42	11,10
30	2,60	2,44	6,64	11,27
31	3,15	3,40	7,40	11,88
32	2,54	2,92	7,12	11,86
33	2,79	3,22	7,38	11,99
34	2,60	2,69	7,16	11,76
35	2,91	2,83	7,31	12,03
36	3,23	4,39	8,04	13,03
37	2,90	3,23	7,37	12,50
38	2,98	3,53	7,23	12,11
39	3,00	3,63	7,39	12,27
40	2,70	2,68	7,17	11,54
41	2,93	3,28	7,53	11,98
42	2,87	4,07	7,26	12,03

TABELA 4 - DAP (CM) DE PROGÊNIES DE *E. dunnii*, AOS 12 MESES, 26 MESES E 36 MESES DE IDADE EM CAMPO DO TENENTE, PR.

Progênie	12 meses	26 meses	36 meses
1	1,35	4,99	7,63
2	1,43	5,80	8,33
3	1,92	7,10	9,30
4	1,51	6,50	9,14
5	1,52	6,46	8,26
6	1,60	6,88	9,06
7	1,51	6,31	8,86
8	2,01	7,97	10,99
9	1,70	7,57	10,40
10	1,67	6,22	8,17
11	2,20	9,06	11,61
12	1,95	7,26	9,53
13	1,85	8,51	10,78
14	1,75	7,60	9,49
15	1,81	7,71	10,08
16	1,95	8,47	11,13
17	1,90	7,45	9,60
18	1,89	6,83	9,13
19	2,07	8,58	11,10
20	2,15	8,57	10,94
21	1,57	5,00	6,78
22	1,98	7,91	10,44
23	1,65	6,75	10,06
24	1,76	6,99	9,65
25	1,73	8,45	9,56
26	1,76	6,00	8,73
27	1,69	7,15	10,78
28	1,31	4,88	8,31
29	1,70	6,49	9,08
30	1,87	6,58	9,18
31	1,73	6,77	9,33
32	1,51	6,65	9,06
33	1,88	7,10	9,93
34	1,69	6,73	9,45
35	1,73	7,28	9,57
36	2,25	8,49	11,34
37	1,78	7,50	10,60
38	2,00	7,51	10,32
39	1,77	7,13	9,96
40	1,80	6,65	9,17
41	1,78	7,29	9,73
42	1,82	7,58	10,74

TABELA 5 - VOLUME CILÍNDRICO INDIVIDUAL (m<sup>3</sup>) DE PROGÊNIES DE *E. dunnii*, AOS 26 MESES E 36 MESES DE IDADE EM CAMPO DO TENENTE, PR.

Progênie	26 meses	36 meses
1	0,017441	0,064725
2	0,024761	0,080823
3	0,03978	0,101224
4	0,033434	0,099031
5	0,023756	0,071903
6	0,030609	0,089304
7	0,026462	0,082968
8	0,043686	0,132572
9	0,040181	0,119556
10	0,028164	0,076662
11	0,060042	0,151889
12	0,043303	0,102904
13	0,051188	0,127682
14	0,042235	0,110796
15	0,040907	0,107691
16	0,052843	0,136506
17	0,037915	0,094183
18	0,032975	0,089177
19	0,051878	0,133051
20	0,055564	0,136036
21	0,017323	0,051251
22	0,044220	0,124499
23	0,036813	0,112953
24	0,040157	0,104205
25	0,046468	0,101242
26	0,027196	0,078585
27	0,039738	0,131938
28	0,018310	0,088792
29	0,028975	0,087986
30	0,028908	0,087879
31	0,029147	0,086166
32	0,032199	0,094514
33	0,036570	0,108180
34	0,036151	0,104666
35	0,034519	0,096766
36	0,052047	0,146294
37	0,037579	0,119580
38	0,035093	0,106720
39	0,036941	0,113263
40	0,034520	0,095985
41	0,038554	0,105660
42	0,038671	0,120385

TABELA 6 - ESCORES (VARIÁVEIS PADRONIZADOS) DE ALTURAS AOS 12 MESES (H1), 26 MESES (H2 E H3) E 36 MESES DE IDADE (H4) DE PROGENIES DE *E. dunnii* EM CAMPO DO TENENTE, PR.

Prog.	H1	H2	H3	H4	Resist.
1	-4,3462	0,0051	0,7789	0,2916	-0,0123
2	-2,7724	0,4766	-0,3729	-0,5088	0,1824
3	-0,4838	-0,2799	0,3128	0,4024	-0,6085
4	-1,6941	0,5162	-0,6390	-0,1984	0,1852
5	-2,6912	0,0589	-0,1112	0,1157	-0,2280
6	-0,5044	0,7757	-0,3293	0,2967	-0,2154
7	-0,7951	-0,9918	0,2542	-0,2828	0,3002
8	0,1630	-0,9920	-0,0296	-0,6674	0,3391
9	0,3283	-0,8238	-0,9850	-0,1842	0,3871
10	-1,1719	0,5947	-0,1969	-0,1306	0,0490
11	3,7130	-0,3096	0,0926	-0,1835	-0,1866
12	1,2147	0,4282	-0,0739	0,1855	-0,3719
13	2,5810	0,2707	0,2759	-0,5525	-0,0514
14	1,2840	-1,3449	0,6476	-0,4482	-0,3430
15	1,4632	-0,0434	-0,3401	0,2719	-0,1599
16	2,2487	-0,4202	-0,8950	0,1259	-0,2008
17	-0,0464	-0,3870	0,2014	0,3406	-0,1366
18	-0,6927	0,7099	0,1150	0,1777	0,2886
19	2,2969	0,3680	0,0333	-0,4464	-0,2666
20	2,3551	-0,1680	0,2468	-0,3344	-0,1817
21	-4,8216	0,5525	0,2021	0,1966	-0,5769
22	0,7669	-0,1423	0,1929	-0,0490	0,4714
23	-0,9977	-0,4498	-0,9570	0,2435	-0,2709
24	0,9927	-0,1868	-0,2095	0,9583	-0,1583
25	1,4223	0,6320	-0,4848	0,0341	0,1170
26	-2,0420	1,0349	-0,7411	-0,2908	0,0993
27	-0,6081	-1,6439	-1,1993	0,4767	0,0507
28	-5,2320	1,1211	0,9913	0,3231	0,1737
29	-1,4332	0,1423	0,4433	-0,3006	0,2082
30	-1,2130	0,0810	0,1808	-0,2598	0,0892
31	1,4463	0,1905	1,0760	0,0083	-0,0580
32	-0,3522	0,4202	-0,6481	0,0048	0,0320
33	0,2103	-0,7504	0,2154	0,3298	0,0988
34	-0,7279	0,5171	-0,2867	-0,3081	-0,1312
35	0,5560	0,2080	0,2310	-0,4879	-0,0029
36	3,1424	-0,6757	0,5696	0,8808	0,1628
37	1,1359	0,3764	0,0007	-0,2492	0,2615
38	1,0466	0,1977	0,5008	0,0871	0,2143
39	1,5659	0,5425	0,4242	0,0781	0,1964
40	-0,3530	0,5891	-0,0207	0,0087	0,1021
41	1,3706	0,8836	0,2635	-0,0812	-0,1585
42	1,6751	1,1930	0,2699	0,9307	0,3103

TABELA 7 - INFORMAÇÕES SOBRE AS MATRIZES AUSTRALIANAS E TESTEMUNHAS QUE FORNECERAM AS SEMENTES: LOCAL DE COLETA, ALTURA (m) E DAP (cm) DA ÁRVORE MATRIZ.

Nº da árvore	Local de coleta	Altura (m)	DAP (cm)
01	Boomi Creek (NSW) (1)	42	50
02	" "	42	63
03	" "	50	60
04	" "	50	150
05	" "	30	42
06	" "	42	102
07	" "	35	48
08	" "	34	41
09	" "	45	45
10	Wallaby Creek (NSW) (2)	32	80
11	" "	28	95
12	" "	42	95
13	" "	44	130
14	" "	32	90
15	" "	26	70
16	" "	28	60
17	" "	44	140
18	" "	25	52
19	" "	46	48
20	" "	35	100
21	" "	32	85
22	" "	47	100
23	" "	30	105
24	" "	29	110
25	" "	35	80
26	Moleton (NSW) (3)	33	88
27	" "	40	61
28	" "	36	60
29	" "	33	67
30	" "	28	62
31	" "	34	75
32	" "	41	65
33	" "	43	85
34	" "	50	210
35	" "	34	68
36	" "	32	51
37	" "	36	45
38	" "	55	88
39	" "	39	90
40	" "	42	54
41(test.)	Campo do Tenente, PR	-	-
42(test.)	Campo do Tenente, PR	-	-

(1) Boomi Creek via Woodenbong, NSW: 28°25'S; 152°41'E; altitude 300 m, temperatura mínima registrada no local -7°C.

(2) Wallaby Creek via Urbenville, NSW : 28°28'S; 152°29'E; altitude 340 m, temperatura mínima registrada no local -7°C.

(3) Moleton, NSW: 30°09'S; 152°53'E; altitude 500 m; temperatura mínima registrada no local -8°C.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 AWE, J.O; SHEPHARD, K.R. Provenance variation in frost resistance in *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. **Australian Forestry**, Canberra, v.38, n.1, p.26-33, 1975.
- 2 BANKS, J.C.; WHITECROSS, M.I. Ecotypic variation in *Eucalyptus viminalis* LABILL. I. Leaf surface waxes, a temperature X origen interaction. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v.19, p.327-334, 1971.
- 3 BEADLE, N.C.W. **The vegetation of Australia**. Cambridge University Press, 1981
- 4 BENSON, J.S.; HAGER, T.C. The distribution, abundance and habitat of *Eucalyptus dunnii* (Myrtaceae) (Dunn's White Gum) in New South Wales. **Cunninghamia**. 3, n.1. p. 123-145. 1993.
- 5 BOLAND, D.J.; BROOKER, M.I.H.; CHIPPENDALE, G.M.; HALL, N.; HYLAND, B.P.M.; JOHNSTON, R.D.; KLEINIG, D.A.; TURNER, J.D. **Forest trees of Australia**. Melbourne: Nelson-CSIRO, 1984.
- 6 BON, M.C.; CAUVIN ,B.; LOURS, M.J. Frost tolerance assessment of different progenies of *Eucalyptus* soluble protein content and SOD activity. In: INTENSIVE FORESTRY: THE ROLE OF EUCALYPTS (1991: Durban) **Proceedings...** Durban: IUFRO, 1991. v.1, p.182-187.
- 7 CARAMORI, P.H; MANETTI FILHO, J. Proteção dos cafeeiros contra geadas. Londrina: IAPAR, 1993. Circular,79.
- 8 CAUVIN, B.; POTTS, B. Selection for extreme frost resistance in *Eucalyptus*. In: INTENSIVE FORESTRY: THE ROLE OF EUCALYPTS (1991: Durban) **Proceedings...** Durban: IUFRO, 1991. v.1, p.209-220.
- 9 CAUVIN, B. Frost tolerance in *Eucalyptus gunnii* application in the AFOCEL improvement strategy. In: LOS EUCALIPTOS EN EL DESARROLLO DE CHILE (1993: Pucón). **Anais...** Santiago: INFOR, 1994. p. 355-387.
- 10 CHEN, H.; LI, P.H. Potato acclimatation. In: LI, P.; SAKAI, A. (Eds.) **Plant Cold Hardiness and Freezing Stresses**. New York: Academic Press, 1982.
- 11 COTTERILL, P.P.; DEAN, C.; JACKSON, N. **Index selection**. Brisbane, 1988. Notas do Workshop.

- 12 DALLA-TEA, F.; MARCÓ, M. El cultivo del eucalipto en la mesopotamia Argentina. In: LOS EUCALIPTOS EN EL DESARROLLO DE CHILE (1993: Pucón). **Anais...** Santiago: INFOR, 1994. p.389-407.
- 13 DARROW, W.K. Provenance studies of frost-resistant *Eucalyptus* in South Africa. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n.129, p.31-39. 1984
- 14 \_\_\_\_\_. Selection of Eucalypt species for cold and dry areas in South Africa. In: CONFERENCE ON EUCALYPT PLANTATIONS: Improving fibre yield and quality (1995: Hobart). **Proceedings...** Hobart: IUFRO, 1995. p.336-338.
- 15 DAVIDSON, J. Use of principal components, factor analysis and VARIMAX rotation to describe variability in wood of *Eucalyptus deglupta* Blume. **Wood Science and Technology**, New York, v.9, p.275-291, 1975.
- 16 \_\_\_\_\_.; REID, J.B. The influence of hardening and waterlogging on the resistance of subalpine eucalypts. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v.35, n.1, p.91-101, 1987.
- 17 DAVIDSON, N.J.; BATTAGLIA, M.; BEADLE, C. Photosynthesis of *Eucalyptus nitens* is reduced by mild frosts. In: CONFERENCE ON EUCALYPT PLANTATIONS: Improving Fibre Yield and Quality (1995: Hobart) **Proceedings...**Hobart: IUFRO, 1995. p.339-343.
- 18 DHAWAN, A.K.; PATON, D.M.; WILLING, R.R. Occurrence and bioassay responses of G, a plant growth regulator in *Eucalyptus* and other Myrtaceae. **Planta**, Berlin, v.146, p.419-422, 1979.
- 19 ELDRIDGE, K.G. **Altitudinal variation in *Eucalyptus regnans* F. Muell.** Canberra, 1969. Tese (Doutorado). The Australian National University.
- 20 EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado do Paraná.** Curitiba, 1986. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 17).
- 21 \_\_\_\_\_. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina.** Curitiba, 1988. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 21).
- 22 FALCONER, O.S. **Introdução à genética quantitativa.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1987.
- 23 FERRAZ, E.S.B.;COUTINHO,A.R. Efeitos da geada na madeira de *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, Piracicaba, n. 28, 57-62. 1984.

- 24 FITER, H ; HAY, R.K.M. **Environmental physiology of plants**. New York: Academic Press, 1981.
- 25 FRANKLIN, E.C.; MESKIMEN, G. Choice of species and provenances in cold summer rainfall climates. In: COLLOQUE INTERNATIONAL SUR LES EUCALYPTUS RESISTANTS AU FROID. (1983: Bordeaux) **Annales...** Bordeaux: IUFRO, 1983, p.341-357.
- 26 GLERUM, C. Frost hardiness of forest trees. In: CANNEL, M.; LAST, F.T. (eds). **Tree physiology and yield improvement**. London: Academic Press, 1976. p.403-420.
- 27 HALE, M.G. ; ORCUT ,D.M. **The physiology of plants under stress**. Blacksburg: J. Wiley & Sons, 1987.
- 28 HARWOOD, C.E. Frost resistance of subalpine *Eucalyptus* species. I Experiments using a radiation frost room. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v.28, 1980, p.587-599.
- 29 \_\_\_\_\_. Studies on *Eucalyptus* frost resistance in a subalpine frost hollow. In: COLLOQUE INTERNATIONAL SUR LES EUCALYPTUS RESISTANTS AU FROID (1983: Bordeaux) **Annales...** Bordeaux: IUFRO, 1983, p.126-144.
- 30 HIGA, A.R. **Genetic variation and frost resistance in *Eucalyptus viminalis* Labill.** Canberra, 1989(a). Tese (Doutorado) - The Australian National University.
- 31 \_\_\_\_\_.; CARVALHO, P.E.R. Sobrevivência e crescimento de doze espécies de eucalipto em Dois Vizinhos, Paraná. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (6: 1990: Campos do Jordão). **Anais...** São Paulo: SBS, 1990. p.459-461. Publicado em *Silvicultura*, v.3, n42, 1990.
- 32 \_\_\_\_\_.; GARCIA, C.H.; SANTOS, E.T. Geadas, prejuízos à atividade florestal. **Silvicultura**, São Paulo, n. 59., p.40-42, 1995.
- 33 HIGA, R.C.V. **Studies on the physiology of frost resistance in *Eucalyptus viminalis* Labill.** Canberra, 1989(b). Tese (Mestrado) - The Australian National University.
- 34 \_\_\_\_\_.; HIGA, A.R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M.V.R. Comportamento de 20 espécies de *Eucalyptus* em área de ocorrência de geadas na região sul do Brasil. In: CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTUS (1997: Salvador) **Anais...** Colombo: IUFRO, 1997. p.106-110.

- 35 \_\_\_\_\_; HIGA, A.R. Efeitos de danos causados por geadas na sobrevivência e crescimento de *Eucalyptus viminalis* LABILL.1997. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL 6: 1997: Belém) **Anais...**Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 1997. p.263.
- 36 JACOBS, M.R. **Growth habitats of the eucalyptus**. Canberra: Forestry and Timber Bureau, 1955.
- 37 JAHROMI, S.T. Variation in cold resistance and growth in *Eucalyptus viminalis*. **Southern Journal of Applied Forestry**, Washington-DC, v.6, n.4, p.221-225, 1982.
- 38 JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. Madison: University of Wisconsin, 1984.
- 39 KOZLOWSKI, T.T.; KRAMER, P.J.; PALLARDY, S.G. **The physiological ecology of woody plants**. San Diego: Academic Press, 1991.
- 40 KRAMER, P.J.; KOZLOWSKI, T.T. **Physiology of woody plants**. New York: Academic Press, 1979.
- 41 LARCHER, W.; BAUER, H. Ecological significance of resistance to low temperature. In: Encyclopedia of plant physiology. Physiological Plant Ecology: I. Responses to the physical environment. Berlin: Springer-Verlag. 1981.
- 42 \_\_\_\_\_. **Physiological plant ecology**. Innsbruck: Springer-Verlag, 1983.
- 43 LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stresses**. New York: Academic Press, 1980.
- 44 LISBÃO JUNIOR, L. **Effects of NPK-fertilizer on growth and frost resistance of *Eucalyptus viminalis* Labill. seedlings**. Raleigh. 1986. Tese (Doutorado) - North Caroline State University.
- 45 \_\_\_\_\_. O efeito da geada e o comportamento inicial de três procedências de *Eucalyptus dunnii* Maiden, em ensaio conjugado de mini-espacamento e adubação. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.1, p.28-46, 1980.
- 46 MANSON, A.F.; POTTS, B.M. Inheritance of frost resistance in F1 and advanced generation hybrids of *Eucalyptus globulus* and *E. gunnii*. In: CONFERENCE ON EUCALYPT PLANTATIONS: Improving Fibre Yield and Quality (1995: Hobart) **Proceedings...** Hobart: IUFRO, 1995. p.249-343.

- 47 MARCÓ, M.A.; LOPÉZ, J.A. Performance of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus dunnii* in the Mesopotamia region, Argentina. In: CONFERENCE ON EUCALYPT PLANTATIONS: Improving Fibre Yield and Quality (1995: Hobart) **Proceedings**...Hobart: IUFRO, 1995. p.40-45.
- 48 MARQUES, J.M. Componentes principais. Curitiba: [s.n.], 1997. Notas de aula.
- 49 MAZUR, P. Freezing injury in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto. v.20, 1969. p. 77-109.
- 50 MESKIMEN, G.F.; ROCKWOOD, D.L.; REDDY, K.V. Development of *Eucalyptus* clones for a summer rainfall environment with periodic frosts. **New Forests**, Dordrecht- Holanda, v.3, p.197-205, 1987.
- 51 MOHR, H.; SCHOPFER, P. **Plant Physiology**. [s.l]: Springer, 1995.
- 52 MORAN, G.F.; BELL, J.C. *Eucalyptus*. In: Isozymes in plant genetics and breeding. Part B. Amsterdam: Elsevier, 1983. p.423-441.
- 53 NICHOLLS, W; CROW, W.D; PATON, D.M. Chemistry and physiology of rooting inhibitors in adult tissue of *Eucalyptus grandis*. In: (CARR, D.J. (Ed.) Plant growth substances. Heidelberg: New York, 1970. p.324-329.
- 54 OLIVEIRA, J.G. Programa de Melhoramento de *Eucalyptus* spp. na Rigesa. In: SIMPÓSIO BILATERAL BRASIL-FINLANDIA SOBRE ATUALIDADES FLORESTAIS (1988: Curitiba). **Anais**...Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1988. p. 155-161.
- 55 PARRA, S.P; ECHEVERRIA, J.L.C. Resistencia al frio de procedencias y familias de *Eucalyptus nitens* en Aysen, XI Region, Chile. In: LOS EUCALIPTOS EN EL DESARROLO DE CHILE (1993: Pucón). **Anais**... Santiago: INFOR, 1994. p.389-407.
- 56 PATON, D.M. ; WILLING, R.R.; NICHOLS, W.; PRYOR, L.D. Rooting of stem cuttings of *Eucalyptus*: a rooting inhibitor in adult tissue. **Australian Journal of Botany**, Melbourne. v.18, p.175-183, 1970.
- 57 \_\_\_\_\_. *Eucalyptus* physiology III. Frost resistance. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v.29. p.675-688, 1981.
- 58 \_\_\_\_\_. WILLING, R.R. Inhibitor transport and ontogenic age in *Eucalyptus grandis*. In: **Carr and Carr**. Plant Growth Substances. Tokyo: Hirokawa, 1974.
- 59 \_\_\_\_\_. A mechanism for frost resistance in *Eucalyptus*. In: Li, P.; Sakai, A. (Eds.) Plant cold hardiness and freezing stress. Sapporo: Academic Press: 1982, p.77-92.

- 60 \_\_\_\_\_. Physiology of frost resistance in *Eucalyptus*. In: COLLOQUES INTERNATIONALS SUR LES EUCALYPTUS RESISTANTS AU FROID. (1983: Bordeaux). **Annales...** Bordeaux: IUFRO, 1983, p.107-125.
- 61 PERRY, T.O.; HELLMERS, H. Effects of abscisic acid on growth and dormancy of two races of red maple. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 134, n. 4, p.283-289, 1973.
- 62 PINKARD, L.; BEADLE, C.; DAVIDSON, N.; BATTAGLIA, M. Changes in crown productivity and stem growth of *Eucalyptus nitens* in response to green pruning. In: CONFERENCE ON EUCALYPT PLANTATIONS: Improving Fibre Yield and Quality (1995: Hobart). **Proceedings...** Hobart: IUFRO, 1995. p.369-378.
- 63 POYTON, R.J. **Tree planting in Southern Africa: vol. 2 The Eucalyptus.** Republic of South Africa. Department of Forestry, 1979
- 64 PRYOR, L.D. **Biology of Eucalypts.** London: E. Arnold, 1976.
- 65 \_\_\_\_\_. JOHNSON, L.A.S. **A classification of the Eucalyptus.** Canberra: Australian National University Press, 1971.
- 66 \_\_\_\_\_. BYRNE, O.R. Variation and taxonomy in *Eucalyptus camaldulensis*. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v.18, n.3. p. 64-71, 1969.
- 67 RAGHAVENDRA, A S. **Physiology of trees.** Hyderabad: J. Wiley & Sons, 1991.
- 68 RAYMOND, C.A.; HARWOOD, C.E.; OWEN, J.V. A conductivity method for screening populations of eucalypts for frost damage and frost tolerance. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v.34, p. 377-393, 1986.
- 69 REDDY, K.V.; ROCKWOOD, D.L. Breeding strategies for coppice production in an *Eucalyptus grandis* base population with four generations of selection. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v.38, n 34, p.148-151, 1989.
- 70 RESENDE, M.D.V. de; HIGA, A.R. Aplicación de técnicas de análisis multivariado en el estudio de la divergencia genética entre procedencias de *E. viminalis*. In: JORNADA SOBRE EUCALIPTOS DE ALTA PRODUCTIVIDAD (1991: Buenos Aires). **Actas.** Buenos Aires: 1991. v.1, p.139-154.
- 71 \_\_\_\_\_. OLIVEIRA, E.B.; MELINSKI, L.C.; GOULART, JR,F.S.; OANDA, G.R.P. Seleção genética computadorizada – Selegen "Best Prediction". Manual do usuário. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1994.

- 72 \_\_\_\_\_; VENCOVSKY, R.; FERNANDES, J.S.C. Selection and genetics gains in populations of *Eucalyptus* with a mixed mating system In: CONFERENCE ON EUCALYPT PLANTATIONS: Improving Fibre Yield and Quality (1995: Hobart). **Proceedings...** Hobart: IUFRO, 1995. p 191-193.
- 73 ROCKWOOD, D.L.; PATHAK, N.N.; SATAPATHY, P.C.; WARRAG, E.E. Genetic Improvement of *Eucalyptus amplifolia* for frost frequent areas. **Australian Forestry**, Canberra, v.54, n4, p. 212-218, 1991.
- 74 \_\_\_\_\_. Freeze resilient *E. grandis* clones for Florida, USA. In: INTENSIVE FORESTRY: THE ROLE OF EUCALYPTS (1991: Durban,) **Proceedings...** Durban: IUFRO, 1991. v.1, p.455-466.
- 75 SAKAI, A; LARCHER, W. **Frost survival of plants**. Berlin: Springer-Verlag, 1987.
- 76 SHERRY, S.P.; PRYOR, L.D. Growth and differential frost-resistance of topoclinal forms of *Eucalyptus fastigata* D&M. planted in South Africa. **Australian Forestry**, Canberra. v.31, n.1, p.33-44, 1967.
- 77 SCHONAU, A.P.G.; GARDENER, R.A.W. Eucalypts for colder areas in Southern Africa In: INTENSIVE FORESTRY: THE ROLE OF EUCALYPTS (Durban, 1991). **Proceedings...** Durban: IUFRO, 1991. v.1, p.467-479.
- 78 SNEDCOR, G.W.; COCHRAN, W.G. **Statistical methods**. Iowa: The Iowa State University Press, 1980.
- 79 STURION, J.A. **Variação genética de características de crescimento e de qualidade da madeira em progênies de *Eucalyptus viminalis* LABILL.** Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. 1993.
- 80 TIBBITS, W.N; POTTS, B.M.; SAVVA, M.H. Inheritance of freezing resistance in interspecific F1 hybrids of *Eucalyptus*. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 83, p. 126-135, 1991.
- 81 \_\_\_\_\_. Microscopic observations of freezing stress in *Eucalyptus*. **Australian Forestry**, Canberra, v.59, n.3, p.142-145, 1997.
- 82 THOMAS, D.A.; BARBER, H. N. Studies on leaf characteristics of a cline of *Eucalyptus urnigera* from Mount Wellington, Tasmania: I. Water repellency and the freezing of leaves. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v.23, n.3, p. 501-512, 1974.
- 83 TOSI, J.JR; VÉLEZ-RODRIGUES, L.L. **Provisional ecological map of republic of Brazil**. San Jose: Institute of Tropical Forestry, 1983.

- 84 TURNBULL, J.W.; ELDRIDGE, K.G. The natural environment of *Eucalyptus* as the basis for selecting frost resistance species. In: COLLOQUE INTERNATIONAL SUR LES EUCALYPTUS RESISTANTS AU FROID (1983: Bordeaux) **Annales...** Bordeaux: IUFRO, 1983. p.43-62.
- 85 VARGHESE, M.; HEGDE, R.; NICODEMUS, A ; JAYARAJ, R.S.C.; BENNET, S.S.R. Evaluation of growth and wood traits in a species trial of *Eucalyptus* in South India. In: CONFERENCE ON EUCALYPT PLANTATIONS: Improving fibre yield and quality (1995: Hobart) **Proceedings...** Hobart: IUFRO, 1995. p. 184-192.
- 86 VENCOVSKY, R. Genética quantitativa. In: KERR, W.E. (Coord.) **Melhoramento e genética.** São Paulo: Melhoramentos, 1969. p.17-37,
- 87 \_\_\_\_\_. Genética quantitativa. In: PATERNIANI, E. (Coord.). **Melhoramento do milho no Brasil.** Piracicaba: Fundação Cargill, 1978. p.122-201.
- 88 \_\_\_\_\_. BARRIGA, P. Genética biométrica no melhoramento. Ribeirão Preto: **Revista Brasileira de Genética,** Ribeirão Preto-SP, 1992.
- 89 VOLKER, P.W.; OWEN, J.V.; BORRALHO, N.G. Genetic Variances and covariances for frost tolerance in *Eucalyptus globulus* and *E. nitens*. **Silvae Genetica,** Frankfurt, v.43, n 5/6, p. 366-372, 1994.
- 90 WILCOX, M.D.; FAULDS, T.; VINCENT, T.G.; POOLE, B.R.. Genetic variation in frost tolerance among open-pollinated families of *Eucalyptus regnans* F. Muell. **Australian Forestry Research,** Canberra, v.10, p.169-184, 1980.
- 91 WILCOX, M.D. Selection of genetically superior *Eucalyptus regnans* using family tests. **New Zealand Journal of Forestry Science,** Roturua, v.12, n.3, p.480-493, 1982.
- 92 WRIGTH, J.A. **Introduction to forest genetics.** New York: Department of Forestry. Michigan State University. Academic Press, 1976.