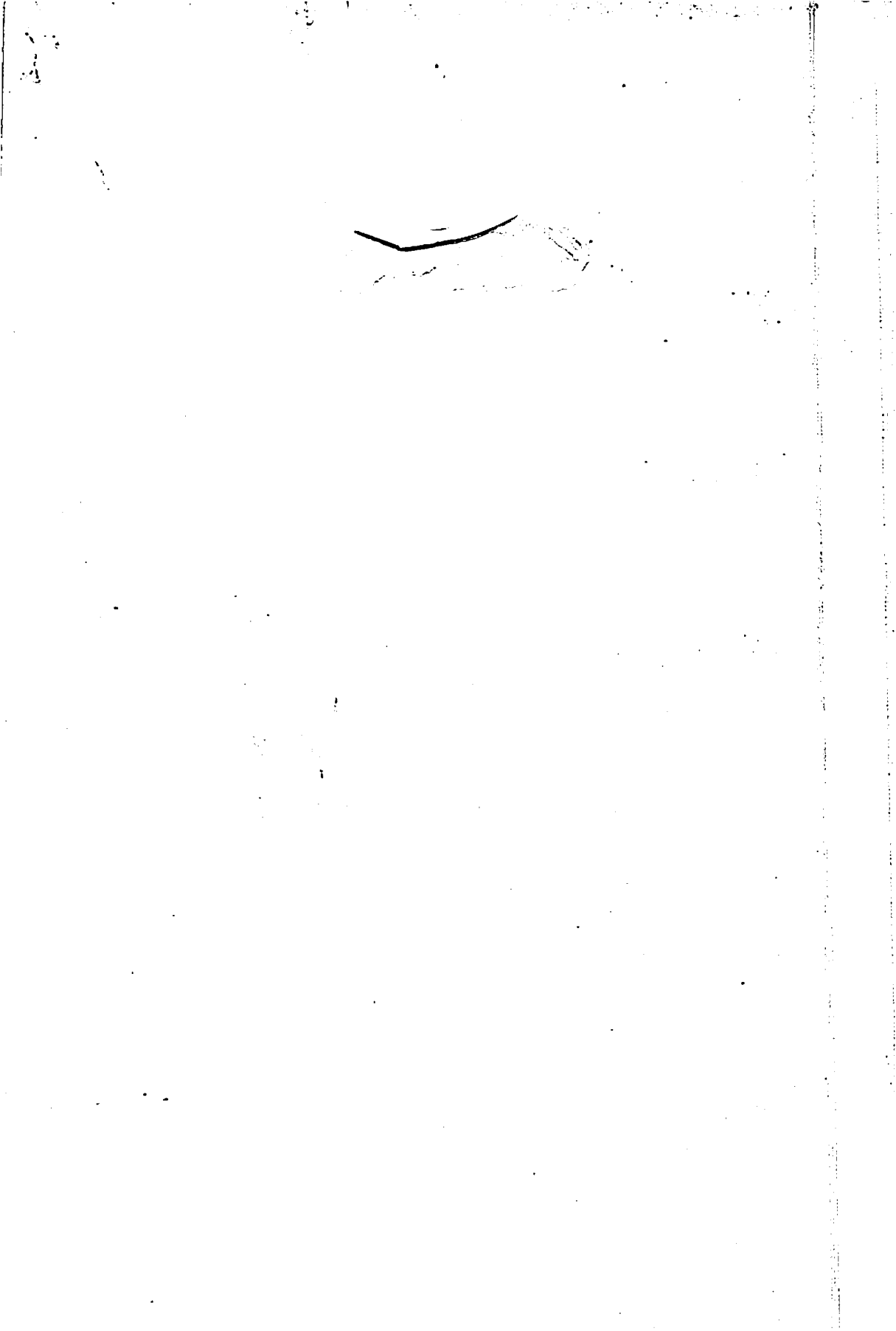


**VARIAÇÕES GENÉTICAS EM CANDEIA  
(*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish):  
SIMBIOSE E DESENVOLVIMENTO  
RADICULAR E ESTABELECIMENTO  
INICIAL EM ÁREAS DEGRADADAS**

**ANA CAROLINA DA SILVA**

**2003**



ANA CAROLINA DA SILVA

**VARIAÇÕES GENÉTICAS EM CANDEIA (*Eremanthus erythropappus*  
(DC.) MacLeish): SIMBIOSE E DESENVOLVIMENTO RADICULAR E  
ESTABELECIMENTO INICIAL EM ÁREAS DEGRADADAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal  
de Lavras como parte das exigências do Curso de  
Mestrado em Engenharia Florestal, área de  
concentração em Florestas de Produção, para  
obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Sebastião Carlos da Silva Rosado

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2003



**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

**Silva, Ana Carolina da**

**Variações genéticas em candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish):  
simbiose e desenvolvimento radicular e estabelecimento inicial em áreas  
degradadas / Ana Carolina da Silva. -- Lavras : UFLA, 2003.**

**133 p. : il.**

**Orientador: Sebastião Carlos da Silva Rosado.**

**Dissertação (Mestrado) – UFLA.**

**Bibliografia.**

**1. Candeia. 2. Variabilidade genética. 3. Simbiose. 4. Sistema radicular. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.**

**CDD-634.97355**

**ANA CAROLINA DA SILVA**

**VARIAÇÕES GENÉTICAS EM CANDEIA (*Eremanthus erythropappus*  
(DC.) MacLeish): SIMBIOSE E DESENVOLVIMENTO RADICULAR E  
ESTABELECIMENTO INICIAL EM ÁREAS DEGRADADAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração em Florestas de Produção, para obtenção do título de “Mestre”.

**APROVADA em 11 de dezembro de 2003**

**Profa. Dulcinéia de Carvalho - UFLA**

**Prof. Samuel Pereira de Carvalho - UFLA**



**Prof. Sebastião Carlos da Silva Rosado – UFLA  
(Orientador)**

**LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL**

**Às minhas filhas, Gabriela e Bianca,  
pelos momentos mais felizes da minha vida.**

**Ao Rodrigo, pelo apoio e carinho.  
Aos meus pais, Luciano e Rosária, e  
às minhas irmãs Sabrina e Thais,  
pelo incentivo e amizade.**

***DEDICO***

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciências Florestais, pela oportunidade de realizar este curso.

À CAPES, pela concessão da bolsa e ao CNPq, pelos recursos para a realização deste trabalho por meio do projeto "Variações genéticas em candeia (*Eremanthus erythropappus*) para resposta a inoculação com fungos micorrízicos e crescimento em áreas degradadas".

Ao professor Sebastião Carlos da Silva Rosado, pela excelente orientação e amizade durante as extensas manhãs e tardes de trabalho e dedicação, sem os quais este trabalho não seria possível.

À professora Dulcinéia de Carvalho, pela orientação e correções.

Ao professor Samuel Pereira de Carvalho, pelas valiosas correções.

Ao professor Luis Marcelo Tavares de Carvalho, pelo auxílio no abstract.

Aos professores Evaristo Mauro de Castro e José Oswaldo Siqueira pelo fornecimento de materiais que possibilitaram a realização dessa pesquisa.

A todos os professores do Departamento de Ciências Florestais que auxiliaram nessa caminhada.

Ao Rodrigo, que participou em todas as etapas deste trabalho, desde as primeiras coletas de sementes, em outubro de 2000, durante a graduação, até as últimas medições, em setembro de 2003.

À Cenir, que também participou de grande parte das coletas de dados; obrigada pelos sábados e domingos de trabalho.

Ao Jorge, companheiro do viveiro que tanto me ajudou a cuidar das mudas e aos outros funcionários do viveiro florestal da UFLA e do Departamento de Ciências Florestais, em especial à Gláucia, Roseane, Chica, Terezinha, Virgínia e Cláudia.

A todos os estudantes de graduação que auxiliaram na implantação do experimento no campo e nas coletas de dados.

Aos colegas que me auxiliaram nos trabalhos de laboratório e de campo: Érica e Adelson.

A todos os amigos do laboratório: Joema, Peterson, Anderson, Márcia, Rosana, Afrânio, Mário, Regiane, Lívia, Cristiane, Vássia, Maria Carolina, Evânia, Lilian e Sheila.

A toda minha família, pelo incentivo durante todo o tempo.

Ao meu pai, Luciano, meu maior incentivador.

Às minhas queridas filhas, Gabriela e Bianca, pela paciência em todas as horas que não pude passar com vocês.

Muito obrigada a todos que, de uma forma ou de outra, me ajudaram na realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	i
LISTA DE FIGURAS .....	iv
RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	viii
CAPÍTULO 1 .....	01
1 Introdução geral .....	01
2 Referencial teórico .....	04
2.1 Áreas degradadas .....	04
2.1.1 Recuperação de áreas degradadas .....	05
2.2 Candeia ( <i>Eremanthus erythropappus</i> (DC.) MacLeish) .....	07
2.2.1 Áreas de ocorrência da candeia .....	07
2.2.2 Nutrição da candeia .....	10
2.2.3 Características das plantas de candeia .....	11
2.2.4 Utilizações da madeira de candeia .....	13
2.2.5 Fenologia da floração e frutificação da candeia .....	15
2.2.6 Reprodução da candeia .....	16
2.2.7 Variabilidade genética em candeia .....	18
2.3 Variação entre e dentro de espécies florestais .....	19
2.4 Teste de procedência/progênie .....	20
2.4.1 Herdabilidade .....	22
2.5 Fungos micorrízicos .....	23
2.5.1 Benefícios da simbiose micorrízica .....	24
2.5.2 Dependência micorrízica .....	25
2.5.3 Variações genéticas na simbiose micorrízica .....	25
2.6 O sistema radicular .....	27
2.6.1 Fatores que influenciam o crescimento das raízes .....	29
2.6.2 Medição de raízes .....	30
3 Referências bibliográficas .....	33
CAPÍTULO 2: Variabilidade em <i>Eremanthus erythropappus</i> para a reposta à inoculação micorrízica .....	43
1 Resumo .....	43
2 Abstract .....	44
3 Introdução .....	45
4 Material e métodos .....	47
4.1 Material genético .....	47
4.2 Produção de mudas .....	47
4.3 Análise estatística .....	49
5 Resultados e discussão .....	53



5.1	Variações entre as procedências .....	53
5.2	Variações entre as progênes .....	59
6	Conclusões .....	66
7	Referências bibliográficas .....	67
CAPÍTULO 3: Variações genéticas na qualidade do sistema radicular de mudas de candeia ( <i>Eremanthus erythropappus</i> (DC.) MacLeish) .....		69
1	Resumo .....	69
2	Abstract .....	70
3	Introdução.....	71
4	Material e métodos .....	74
5	Resultados e discussão .....	83
5.1	Comparação entre os métodos de raízes coradas e não coradas .....	83
5.2	Análise de variância e estimativa dos parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais.....	84
5.3	Ganhos com a seleção .....	92
5.4	Teste de média entre as progênes no lote de mudas grandes .....	94
5.5	Correlações .....	95
6	Conclusões .....	97
7	Referências bibliográficas .....	98
CAPÍTULO 4: Variação entre e dentro de procedências de candeia ( <i>Eremanthus erythropappus</i> ) avaliadas em condições de viveiro e de campo .....		100
1	Resumo .....	100
2	Abstract .....	101
3	Introdução.....	102
4	Material e métodos .....	104
4.1	Material genético .....	104
4.2	Produção de mudas.....	104
4.3	Delineamento experimental e características avaliadas no viveiro .....	105
4.4	Campo.....	106
4.5	Delineamento experimental e características avaliadas no campo .....	108
4.6	Análise estatística .....	108
4.6.1	Análise de procedência/progênie/planta (diâmetro e altura das mudas) ..	108
4.6.2	Análise de blocos ao acaso (taxa de sobrevivência após plantio) .....	113
4.6.3	Correlações idade-idade .....	115
5	Resultados e discussão .....	117
5.1	Estimativas de componentes de variância .....	117
5.2	Correlações idade-idade .....	121
5.3	Incremento médio em diâmetro e altura ao longo do tempo .....	124
5.4	Médias das características das progênes nas idades estudadas .....	126
6	Conclusões .....	129
7	Referências bibliográficas .....	130

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Esquema da análise de variância das procedências e estimativa das esperanças dos quadrados médios para os parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais.....	50
TABELA 2	Esquema da análise de variância das progênes e estimativa das esperanças dos quadrados médios para os parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais.....	51
TABELA 3	Resumo das análises de variância conduzidas para as procedências (Pc) de <i>Eremanthus erythropappus</i> de São Tomé das Letras (STL) e de Carrancas (CAR), para as características diâmetro medido à altura do colo, altura e taxa de sobrevivência das mudas, aos oito meses após a repicagem.....	54
TABELA 4	Resumo das análises de variância conduzidas para todas as progênes (P) de <i>Eremanthus erythropappus</i> para as características diâmetro, altura e taxa de sobrevivência das mudas, no oitavo mês após a repicagem.....	60
TABELA 5	Valores médios do diâmetro, altura e taxa de sobrevivência das progênes de número 1, 2 e 3, dentro das procedências de <i>Eremanthus erythropappus</i> de São Tomé das Letras (STL) e de Carrancas (CAR), inoculadas (IN) e não inoculadas (NI), medidas aos oito meses após a repicagem.....	61
TABELA 6	Esquema da análise de variância e estimativa das esperanças dos quadrados médios para os parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais.....	78
TABELA 7	Esquema da análise de variância e estimativa das esperanças dos quadrados médios para os parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais.....	80
TABELA 8	Médias das 24 progênes de meios-irmãos de <i>Eremanthus erythropappus</i> para as características comprimento total de raízes (CT), área da superfície (AS), diâmetro médio (DM) e número de raízes finas (RF) obtidas em raízes coradas (C) e não coradas (NC).....	83
TABELA 9	Resumo das análises de variância para as características comprimento total de raízes (CT), área da superfície (AS), diâmetro médio (DM) e número de raízes finas (RF), realizadas para as raízes coradas e estimativas dos parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais em progênes de polinização livre de candeia.....	

	progênies de polinização livre de candeia.....	85
TABELA 10	Resumo da análise de variância para a característica comprimento total de raízes (CT), realizada para as raízes coradas e estimativa dos parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais em progênies de polinização livre de candeia.....	87
TABELA 11	Resumo da análise de variância para a característica área da superfície (AS), realizada para as raízes coradas e estimativa dos parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais em progênies de polinização livre de candeia.....	88
TABELA 12	Resumo da análise de variância para a característica número de raízes finas (RF), realizada para as raízes coradas e estimativa dos parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais para uma população de progênies de polinização livre de candeia.....	89
TABELA 13	Ganhos diretos na unidade de medida das características e em porcentagem esperados pela seleção de uma progênie para as características do sistema radicular (C) de comprimento total (CT), área da superfície (AS), diâmetro médio (DM) e número de raízes finas (RF) das progênies de tamanho (T) grande (G) e médio (M).....	93
TABELA 14	Valores médios de progênies para as características comprimento total (CT), área da superfície (AS), diâmetro médio (DM) e número de raízes finas (RF), estimadas no lote de mudas grandes.....	95
TABELA 15	Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson entre as características comprimento total de raízes (CT), área da superfície (AS), diâmetro médio (DM) e número de raízes finas (RF).....	96
TABELA 16	Esquema da análise de variância e estimativa das esperanças dos quadrados médios para os parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais.....	109
TABELA 17	Esquema da análise de variância e estimativa das esperanças dos quadrados médios para os parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais.....	114
TABELA 18	Resumo das análises de variância conduzidas para procedências 1 e 2 (Proc. 1, Proc. 2) e respectivas progênies (P) de <i>Eremanthus erythropappus</i> , para as características de diâmetro do colo, altura total e taxa de sobrevivência das mudas no campo, aos seis meses após o plantio.....	118

TABELA 19	Estimativa conjunta dos parâmetros genéticos para todas as progênes e para as progênes dentro das procedências 1 e 2 de <i>Eremanthus erythropappus</i> , para a característica altura total das mudas, aos seis meses após o plantio.....	119
TABELA 20	Estimativa de parâmetros fenotípicos e genotípicos para as características diâmetro nas idades de oito meses no viveiro (8V) e na idade do plantio (0C), e altura nas idades 8V, 0C e seis meses após o plantio (6C) de <i>Eremanthus erythropappus</i> .....	122
TABELA 21	Variâncias, covariâncias e correlações fenotípicas e genotípicas entre as idades no plantio (0C) e seis meses após o plantio (6C) para a característica diâmetro medido à altura do colo de plantas de <i>Eremanthus erythropappus</i> .....	123
TABELA 22	Variâncias, covariâncias e correlações fenotípicas e genotípicas entre as idades no plantio (0C) e seis meses após o plantio (6C) para a característica altura total das mudas de <i>Eremanthus erythropappus</i> .....	124
TABELA 23	Média dos diâmetros, das alturas e das taxas de sobrevivência (Sobr.) de todas as mudas das 40 progênes (Prog.) de candeia ( <i>Eremanthus erythropappus</i> ), dentro das duas procedências (Proc.) coletadas nas altitudes de 1200 a 1400m (proc. 1) e 1400 a 1600m (proc. 2) nas idades de oito meses no viveiro (8V), na idade do plantio (0C) e seis meses após o plantio (6C).....	127

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Desenho esquemático de um galho de candeia (Araújo, 1944).....	12
FIGURA 2	Sementeira de mudas de candeia ( <i>Eremanthus erythropappus</i> ).....	48
FIGURA 3	Mudas de candeia ( <i>Eremanthus erythropappus</i> ) repicadas para tubetes.....	48
FIGURA 4	Valores médios dos diâmetros medidos à altura do colo e das alturas das mudas de candeia das procedências de <i>Eremanthus erythropappus</i> de São Tomé das Letras e de Carrancas, com e sem inoculação, avaliadas aos oito meses após a repicagem.....	55
FIGURA 5	Dependência micorrízica (DM%) para a característica altura, entre as procedências de <i>Eremanthus erythropappus</i> de São Tomé das Letras (STL) e Carrancas (CAR), medida aos oito meses após a repicagem.....	56
FIGURA 6	Distribuição das médias da taxa de sobrevivência (%) das procedências de <i>Eremanthus erythropappus</i> de São Tomé das Letras e de Carrancas, com e sem inoculação com micorriza, medidas aos oito meses após a repicagem.....	57
FIGURA 7	Distribuição das médias dos crescimentos em altura das procedências de <i>Eremanthus erythropappus</i> de São Tomé das Letras (STL) e de Carrancas (CAR), inoculadas (I) e não inoculadas (NI), medidas do primeiro ao oitavo mês após a repicagem.....	58
FIGURA 8	Distribuição das médias da taxa de sobrevivência das procedências de <i>Eremanthus erythropappus</i> de São Tomé das Letras (STL) e de Carrancas (CAR), inoculadas (I) e não inoculadas (NI), medidas do primeiro ao oitavo mês após a repicagem.....	59
FIGURA 9	Dependência micorrízica (DM%) para a característica altura, para as progênes 1, 2 e 3, dentro das procedências de <i>Eremanthus erythropappus</i> de São Tomé das Letras (STL) e de Carrancas (CAR), medida aos oito meses após a repicagem.....	62
FIGURA 10	Distribuição das médias do crescimento em altura de todas as progênes de <i>Eremanthus erythropappus</i> , inoculadas (I) e não inoculadas (NI), medidas do primeiro ao oitavo mês após a repicagem.....	63

FIGURA 11	Distribuição das médias da taxa de sobrevivência de todas as progênes de <i>Eremanthus erythropappus</i> , inoculadas (I) e não inoculadas (NI), medidas do primeiro ao oitavo mês após repicagem.....	64
FIGURA 12	Mudas de <i>Eremanthus erythropappus</i> inoculadas e não inoculadas com fungos micorrízicos.....	65
FIGURA 13	Matriz de candeia ( <i>Eremanthus erythropappus</i> ) localizada no Parque Florestal Quedas do Rio Bonito; Lavras, MG.....	75
FIGURA 14	Sementeira com mudas de progênes de <i>Eremanthus erythropappus</i> oriundas de sementes colhidas de matrizes no Parque Municipal Quedas do Rio Bonito, Lavras, MG.	75
FIGURA 15	Imagens de raízes de mudas de <i>Eremanthus erythropappus</i> digitalizadas por scanner óptico - 1600 dpi.....	77
FIGURA 16	Mudas de candeia ( <i>Eremanthus erythropappus</i> ) no viveiro.....	105
FIGURA 17	Plantio das mudas de candeia ( <i>Eremanthus erythropappus</i> ), Itutinga, MG.....	107
FIGURA 18	Local de plantio das mudas de candeia ( <i>Eremanthus erythropappus</i> ) no município de Itutinga, MG.....	107
FIGURA 19	Gráfico do crescimento em diâmetro de mudas de <i>Eremanthus erythropappus</i> aos oito meses no viveiro (8V), na idade do plantio (0C) e seis meses após o plantio (6C).....	125
FIGURA 20	Gráfico do crescimento em altura de mudas de <i>Eremanthus erythropappus</i> aos oito meses no viveiro (8V), na idade do plantio (0C) e seis meses após o plantio (6C).....	125

## RESUMO

SILVA, Ana Carolina. **Variações genéticas em candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish): simbiose e desenvolvimento radicular e estabelecimento inicial em áreas degradadas.** 2003. 130 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG \*

A candeia é uma espécie indicada para a recuperação de áreas degradadas, por ocorrer naturalmente em solos pobres e pedregosos. O sucesso da recuperação dessas áreas está relacionado à rapidez com que a vegetação é restabelecida. Assim, a busca de genótipos superiores e adaptados, com crescimento acelerado e um sistema radicular eficiente na captura de nutrientes e água, e também eficientes na simbiose micorrízica, para rapidamente recolonizar a área, é de grande importância econômica e ambiental. Para a avaliação da dependência micorrízica foram coletadas sementes de seis matrizes localizadas em duas procedências do sul do estado de Minas Gerais (três de São Tomé das Letras e três de Carrancas). Na análise de variância para avaliação de procedências, verificou-se que as variações foram significativas somente para a característica altura entre as procedências, os tratamentos de inoculação e a interação procedência inoculação. Na análise de variância para variação de progênies, verificou-se que não há diferenças significativas entre progênies para nenhuma característica avaliada e que há diferença para o tratamento de inoculação somente para a característica altura. Com o objetivo de estimar os parâmetros genéticos relativos às qualidades do sistema radicular de candeia, foram utilizadas mudas provenientes de sementes colhidas em 24 progênies de polinização livre no Parque Estadual Quedas do Rio Bonito. Dois meses após a germinação, as imagens das raízes de nove mudas de cada progênie distribuídas em três classes de tamanho (grande, médio e pequeno) foram obtidas por scanner óptico. Posteriormente, as mesmas raízes foram coradas com corante azul de astra a 0,1%, durante 15 minutos e novamente analisadas. As leituras feitas com a utilização ou não do corante mostraram diferenças significativas entre si, sendo necessário o seu uso. Na análise de variância houve diferenças significativas entre as progênies e entre os tamanhos analisados para as características: comprimento total de raízes, área da superfície, diâmetro médio e

---

\* Comitê orientador: Sebastião Carlos da Silva Rosado – UFLA (Orientador), Dulcinéia de Carvalho – UFLA (Co-orientadora).

número de raízes finas. Os ganhos genéticos esperados com a seleção mostraram que essas características devem ser estudadas nas mudas grandes, pois apresentam os maiores ganhos esperados. No teste de progênie implementado no campo foram coletadas sementes no município de Aiuruoca, MG, provenientes de 40 matrizes de polinização livre distribuídas ao longo de dois gradientes de altitude, o primeiro variando de 1.200 a 1.400m (procedência 1) e o segundo de 1.400 a 1.600m (procedência 2). As sementes foram semeadas em sacos plásticos arranjados em quatro blocos casualizados. A partir do oitavo mês de idade obtiveram-se os valores de diâmetro à altura do colo e altura total das mudas no viveiro. Um ano após a germinação, as mudas foram cultivadas no campo onde essas características e a taxa de sobrevivência foram avaliadas. A análise realizada aos seis meses após o plantio mostrou que as duas procedências, ao longo do gradiente altitudinal, não são distintas. De acordo com os parâmetros genéticos estimados aos oito meses de idade no viveiro, na idade do plantio e aos seis meses após o plantio das mudas no campo, a melhor estratégia de melhoramento seria selecionar para a característica altura.

Palavras-chave: *Eremanthus erythropappus*, variação genética, teste de procedência/progênie, micorriza, sistema radicular.



## ABSTRACT

SILVA, Ana Carolina. Genetic variations in candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish): root symbiosis and development, and initial growth in degraded lands. 2003. 130 p. Dissertation (Master Program in Forestalls Engineering) – Federal University of Lavras, Lavras, MG\*

Candeia trees are indicated for recuperation of degraded lands, because they occur naturally in unproductive and stony soil. The success of recuperation of these lands is related to the rapidity of vegetation reestablishment. Superior and adapted genotypes with accelerated growth, an efficient root system in absorption of nutrients and water, and efficient mycorrhizal symbiosis, colonize the area rapidly and have a great economical and environmental importance. To estimate the mycorrhizal dependence, open-pollinated seeds were collected from six plus trees of two distinct populations: São Tomé das Letras and Carrancas, Minas Gerais state, Brasil. The analysis of variance showed significant variations in eight month old seedlings for the following characteristics: height between the two origins, inoculation treatments, and for the interaction between origins and inoculation treatments. It was verified that there are no significant differences among progenies when considering the evaluated characteristic. The difference for inoculation treatment was verified only for height measurements. The seedlings originated from seeds collected from 24 open-pollinated progenies were used in the state park of Quedas do Rio Bonito in order to estimate the genetic parameters concerning the quality of the candeia root system. Two months after germination, the images of new seedling roots of each progeny distributed in three size classes (big, medium and small) were obtained using an optic scanner. Subsequently, the same roots, stained with 0,1% blue astra color during 15 minutes, were analyzed again. The readings showed significant differences between colored and no colored root samples demonstrating the necessity of staining the roots prior to the analysis. The analysis of variance also showed significant differences among progenies and size classes, which were analyzed for the following characteristics: the total root length, the surface area, the average diameter and the number of fine roots. The genetic gain expected with selection showed that these characteristics might be studied in grown seedlings because it presents the larger expected gain. During the progeny test implemented in the field, open-pollinated seeds were collected from 40 plus trees distributed along two altitudinal gradients in the Aiuruoca municipal

---

\* Adviser Committee: Sebastião Carlos da Silva Rosado – UFLA (Adviser), Dulcinéia de Carvalho – UFLA (Co-Adviser).

district, Minas Gerais state, Brasil. The first one varies from 1200 to 1400m (source 1) and the second one from 1400 a 1600m (source 2). The seeds were sowed in plastic bags arranged in four casual blocks. After eight months the diameter at soil height and total height of the seedlings were obtained. One year after germination, seedlings were transferred to the field where diameter at soil height and total height and survival rate were evaluated again. The analysis accomplished six months after plantation in the field showed that the two sources occurring along the altitudinal gradient are not distinct. In accordance to the genetic parameters estimated eight months and one year after sowing, and six months after plantation in the field, the best strategy for improvement could be to select for height characteristic.

**Key words:** *Eremanthus erythropappus*, genetic variation, test of origin/progeny, mycorrhiza, root system.

## CAPÍTULO 1

### 1 INTRODUÇÃO GERAL

A utilização dos recursos naturais e dos solos é, na maioria das vezes, realizada sem os princípios da sustentabilidade, ocasionando assim sua degradação. Segundo Souza & Silva (1996), os efeitos danosos da degradação dos solos refletem na redução de sua capacidade produtiva, sendo que, em condições mais severas, pode ocorrer a transformação de áreas florestadas em áreas desertificadas.

→ Altos níveis de degradação dos solos quase sempre impedem que eles se restabeçam de forma natural, demandando medidas antrópicas, tal como a revegetação promovida por práticas silviculturais adequadas. Nesse contexto, o atual desafio da silvicultura brasileira é a promoção da produtividade florestal em áreas onde os efeitos dos estresses bióticos e abióticos no crescimento e desenvolvimento das árvores são bastante acentuados (Rosado, 1996).

São muitas as estratégias para recuperar as áreas degradadas e a escolha da mais apropriada depende dos níveis de degradação, das condições intrínsecas da região em que ela se encontra e dos objetivos que se deseja alcançar com a recuperação.

→ No sul de Minas Gerais, principalmente em áreas com solos rasos, são localizados vários sítios degradados que dificultam a indicação de espécies florestais que possam ser cultivadas tanto para alcançar as metas da restauração ambiental quanto para participarem no processo de geração de produtos florestais e renda nas propriedades rurais. Essas áreas estão em regiões montanhosas, que possuíam vegetação natural não muito densa, sobre solos

na resistência ao cisalhamento, atribuído ao aumento da coesão aparente do solo (Glufke, 1999).

Andrae (1978) reforça esse conceito ressaltando que as raízes agem na formação do solo: mecanicamente, pela pressão exercida por elas; quimicamente, por meio da matéria orgânica e exsudações das raízes e, indiretamente, criando um ambiente favorável à microfauna e organismos decompositores.

Ao contrário, um solo desnudo sofre a ação dos raios solares e ventos que o dessecam e das águas pluviais que o arrastam, provocando a erosão em lençol e em sulcos (voçorocas) (Glufke, 1999). A cobertura vegetal, então, terá a capacidade de proteger o solo contra essas perturbações, fixando-o e recobrin-

o (Glufke, 1999).

✓ O sucesso na recuperação de áreas degradadas é altamente dependente da rapidez e eficiência com que o processo sucessório da vegetação é restabelecido para, precocemente, possibilitar a proteção e enriquecimento do solo e o fornecimento de abrigo e alimento para fauna (Rosado, 1999).

✓ A sustentabilidade de qualquer ecossistema natural baseia-se na sua biodiversidade, ciclagem de nutrientes e fluxo de energia. O primeiro passo na revegetação de um ecossistema degradado consiste em fornecer meios de regeneração capazes de restabelecer tais bases, permitindo que o processo sucessional volte a ocorrer naturalmente (Souza & Silva, 1996).

✓ A implementação das condições prévias para este estabelecimento tem sido feita pelo recobrimento imediato do solo degradado, utilizando espécies arbóreas pioneiras que apresentam características de alta tolerância aos estresses ambientais, crescimento acelerado, grande deposição de resíduos vegetais e um amplo desenvolvimento radicular para promover a estabilização do solo (Rosado, 1997).

Em áreas de mineração, a situação é ainda mais grave: além de retirada da vegetação natural, observa-se intensa movimentação do solo na abertura da lavra e, em alguns casos, acrescidas de considerável volume de rejeitos que também contribuem para o distúrbio da área (Souza & Silva, 1996).

O ponto mais crítico da degradação pela mineração é a perda da matéria orgânica contida nessa camada superficial que é retirada, pois causa sérios problemas na estrutura, disponibilidade de água e atividade biológica do solo, prejudicando o suprimento de nutrientes essenciais às plantas, como P, S e, principalmente, o N (Franco et al., 1995).

### **2.1.1 Recuperação de áreas degradadas**

→ Resende et al. (1992, citados por Glufke, 1999) ressaltam que nos casos em que a natureza não apresenta condições de se recompor, ou a recuperação vegetal apresenta-se muito lenta, é necessária a intervenção técnica para permitir que os processos de sucessão natural possam ser efetivos.

Assim, recuperar solos degradados significa intervir, promovendo o retorno às suas formas e utilizações segundo planos de uso previamente definidos (Brown, 1993). Nestes planos são incluídos, principalmente, trabalhos de engenharia e biologia direcionados para o restabelecimento de um ecossistema plenamente funcional (Brown, 1993).

→ Segundo Glufke (1999), a preocupação em recuperar áreas degradadas está ligada a fatores como a recomposição da paisagem, a conservação de recursos hídricos, a fixação e a conservação da fauna e da flora, a preservação das encostas, a contenção da erosão, a prevenção do assoreamento dos cursos d'água e o cumprimento da legislação ambiental vigente.

A cobertura florestal exerce importante função na estabilização e formação do solo, com a malha superficial das raízes provocando um aumento

na resistência ao cisalhamento, atribuído ao aumento da coesão aparente do solo (Glufke, 1999).

Andrae (1978) reforça esse conceito ressaltando que as raízes agem na formação do solo: mecanicamente, pela pressão exercida por elas; quimicamente, por meio da matéria orgânica e exsudações das raízes e, indiretamente, criando um ambiente favorável à microfauna e organismos decompositores.

Ao contrário, um solo desnudo sofre a ação dos raios solares e ventos que o dessecam e das águas pluviais que o arrastam, provocando a erosão em lençol e em sulcos (voçorocas) (Glufke, 1999). A cobertura vegetal, então, terá a capacidade de proteger o solo contra essas perturbações, fixando-o e recobrimdo-o (Glufke, 1999).

→ O sucesso na recuperação de áreas degradadas é altamente dependente da rapidez e eficiência com que o processo sucessório da vegetação é restabelecido para, precocemente, possibilitar a proteção e enriquecimento do solo e o fornecimento de abrigo e alimento para fauna (Rosado, 1999).

→ A sustentabilidade de qualquer ecossistema natural baseia-se na sua biodiversidade, ciclagem de nutrientes e fluxo de energia. O primeiro passo na revegetação de um ecossistema degradado consiste em fornecer meios de regeneração capazes de restabelecer tais bases, permitindo que o processo sucessional volte a ocorrer naturalmente (Souza & Silva, 1996).

→ A implementação das condições prévias para este estabelecimento tem sido feita pelo recobrimento imediato do solo degradado, utilizando espécies arbóreas pioneiras que apresentam características de alta tolerância aos estresses ambientais, crescimento acelerado, grande deposição de resíduos vegetais e um amplo desenvolvimento radicular para promover a estabilização do solo (Rosado, 1997).

Segundo Glufke (1999), para a recomposição e recuperação de áreas degradadas, a escolha correta das espécies mais adequadas a cada caso e local é fundamental. A ausência de conhecimentos sobre as espécies florestais nativas para iniciar este processo e promover a evolução da escala sucessória nos ecossistemas florestais se constitui no principal entrave para o alcance das metas estabelecidas nos planos de recuperação de áreas degradadas (Rosado, 1999).

## → 2.2 Candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish)

*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish (*Vanillosmopsis erythropappa* (DC.) Schultz-Bip) foi classificada como da família Asteraceae, segundo Carvalho, em 1994 (igual a Compositae, descrita por Corrêa, 1931). É conhecida popularmente como candeia, pau de candeia e cambará (Corrêa, 1931). O nome candeia deve-se à combustão da madeira e até mesmo das folhas, que produzem uma chama semelhante a das candeias, com luz clara e brilhante, não deixando quase resíduos, devido à presença de óleo essencial (Araújo, 1944).

### 2.2.1 Áreas de ocorrência da candeia

As áreas de ocorrência natural da candeia localizam-se nos estados da Bahia, Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo, formando amplos agregados nos cerrados, campos e lugares devastados (Araújo, 1944). A candeia é particularmente dispersa no estado de Minas Gerais.

Por suas características, pode-se incluir a candeia na lista de espécies consideradas pioneiras no processo de sucessão ecológica (*sensu* Whitmore, 1989; *sensu* Budowski, 1965; *sensu* Swaine & Hall, 1983). É considerada

precursora na invasão de campos (Rizzini, 1979), colonizando solos pobres, arenosos e até mesmo pedregosos (Rizzini, 1979; Araújo, 1944). Para Araújo (1944), a exigência da candeia é menor com relação às condições do solo que às de clima, pois está dispersa em terrenos bem drenados do alto das serras, em solos arenosos, onde poucas plantas conseguem se estabelecer.

Trata-se de uma das poucas árvores de hábitat especial, pois, em estado nativo, é encontrada em altitudes em torno de 1.000 metros, nas famosas "terras frias", onde o solo se classifica como cambissolo e litossolo, com rochas afloradas, com presença de arenito, xistos e outros minerais em decomposição (Pereira, 1998).

A candeia prefere local em que a temperatura anual seja relativamente baixa, porém, sem ocorrência de geadas (Cândido, 1991). Em estudos realizados por CETEC (1994), observou-se, a campo, que indivíduos jovens de candeia são altamente susceptíveis a baixas temperaturas, apresentando-se totalmente queimados depois de geada. Nas localidades de ocorrência natural, as chuvas são relativamente bem distribuídas e em quantidades que variam entre 1.200 a 1.600mm por ano (Cândido, 1991).

A candeia reveste com rapidez os terrenos, sendo por isso aconselhável para o reflorestamento, quando este reclame efeito imediato (Corrêa, 1931). É também recomendada para a recuperação de áreas degradadas (CETEC, 1994), por sua baixa exigência edáfica.

Dias (2000) concluiu em seus estudos no Parque Estadual de Ibitipoca, que em locais onde se estabelece o candeial, a pobreza química do ambiente parece ser limitante da não-ocorrência de uma floresta mais densa. Os solos deste mesmo estudo, além de pobres (são eletronegativos e com acentuado distrofismo), são em geral álicos, com valores de saturação de Al superiores a 80% no horizonte A1.



Dentre as cinco espécies estudadas por Teixeira et al. (1998) para a fixação de metais, entre eles metais pesados, em áreas degradadas pela mineração de ferro, duas Asteraceae, *Eremanthus erythropappus* e *E. glomerulatus*, destacaram-se por promover uma maior fixação dos metais e por fixar dois metais que as outras espécies estudadas (*Trembleya parviflora*, *T. laniflora* e *Microlicia crenulata*) não fixaram, Cr e Ni. Essas duas Asteraceae também fixaram uma maior razão de acumulação (concentração média nas folhas/concentração média no substrato) do elemento Cu. Os outros metais fixados em suas folhas foram: Zn, Mn, Fe e Cd.

Esta alta adaptação da candeia a terrenos mais pobres e a condições inapropriadas ao crescimento da maioria das espécies de plantas não a exclui de se estabelecer em terrenos melhores. Segundo Cândido (1991), em locais pobres e em áreas montanhosas, ela apresenta um crescimento mais lento em relação aos solos sem limitações. Acredita-se, no entanto, que a maior concentração desta espécie está nos locais mais pobres devido à maior disponibilidade de luz e à menor competição das espécies arbóreas, uma vez que poucas espécies conseguem se estabelecer nestas condições edáficas (CETEC, 1994).

Os indivíduos de candeia conseguem sobreviver em clareiras que, sem a competição com outros vegetais, formam agrupamentos densos (Cândido, 1991). Onde existe, ela forma um maciço ou povoamento mais ou menos puro e isto pode indicar que ela prefere locais ensolarados e sem a competição com espécies que cresçam mais do que ela (Cândido, 1991; Araújo, 1944).

Estudos feitos pelo CETEC (1994) concluíram que nas áreas onde a vegetação apresentou-se mais estruturada, com sombreamento, houve uma redução significativa das populações de candeia. Silva (2001) estudou o comportamento da candeia no Parque Estadual do Itacolomi e concluiu que quanto mais avançado é o estágio sucessional da área, mais indivíduos mortos de

candeia são encontrados, sendo os estágios sucessionais mais avançados o maior limitante para a ocorrência desta espécie.

### 2.2.2 Nutrição da candeia

Mesmo com evidências de que a candeia apresenta baixa exigência edáfica, Pereira (1988), estudando a sua nutrição pela técnica do elemento faltante, verificou que: i) nos tratamentos sem adubação ou com adubação incompleta (sem adição de P) as plântulas não se desenvolvem; ii) a omissão de N, S, Mg e B na formulação também se mostrou limitante, afetando o crescimento em altura das plantas; iii) as demais omissões de nutrientes mostraram-se indiferentes em relação ao tratamento completo; iv) a omissão de Zn mostrou uma tendência de maior produção de biomassa, mostrando que o Zn reduz o desenvolvimento da candeia; v) a tortuosidade das mudas de candeia é afetada pela omissão do micronutriente boro.

Além disso, outro estudo realizado por Vasconcelos (2001) em substrato retirado de pilhas de rejeito estéril geradas pela mineração de pedra são tomé, no município de São Tomé das Letras, mostrou que a candeia necessita de adubação e tem uma melhor produção de matéria seca quando inoculada com fungos micorrízicos. Esses estudos podem sugerir uma ineficiência do plantio de candeia em substratos desprovidos de nutrientes ou quando não há fungos micorrízicos capazes de formar simbiose com o sistema radicular a fim de auxiliar a planta na absorção de nutrientes, principalmente do fósforo.

Entre as pragas que atacam a candeia destacam-se as formigas cortadeiras, cujo controle normalmente é feito antes, durante e após o plantio (Cândido, 1991). Os cupins também podem atacar um tronco mais velho, sem prejudicá-lo (Pedrosa, 1982; citado por Pereira, 1998). Entretanto, Cândido (1991) cita que, entre os cupins, o mais perigoso para a candeia é o subterrâneo.

### 2.2.3 Características das plantas de candeia

Em ambiente natural, a candeia apresenta porte pequeno a médio, fuste irregular e curto - em relação à copa muito ampla (Rizzini, 1979) -, podendo alcançar 10m de altura e 30cm de DAP e se desenvolve muitas vezes no sentido horizontal (CETEC, 1994). Nos campos e cerrados, bordas de morros ou capões de mata, que é onde ela mais ocorre, o seu fuste não atinge 3 metros, sempre com muita emissão de galhos ou então retorcido pelos ventos (Fonseca Filho citado por Pereira, 1998).

Porém, quando a candeia é utilizada em plantios uniformes, ela apresenta maior altura (12 m), com fuste regular, reto e cilíndrico, mais longo em relação à copa, que é diminuída pela competição entre os indivíduos (Cândido, 1991). Este mesmo autor recomenda que o plantio da candeia seja realizado no espaçamento de 2m x 2m para se obter um fuste mais retilíneo.

A raiz da candeia é do tipo pivotante, com a principal ramificando-se intensamente, formando, assim, um sistema radicular homogêneo, pouco desenvolvido e que não explora uma camada de terra muito profunda (Araújo, 1944). Não há afloramento de raízes e nem dilatações exageradas na base do tronco (Ramalho, s/d; Araújo, 1944 e Cândido, 1992, citados por CETEC, 1994). O crescimento radicular é rápido e, por não apresentar esse sistema radicular muito profundo, há uma boa adaptação aos solos rasos, características potenciais para impedir a erosão do solo (CETEC, 1994).

As folhas da candeia têm uma característica marcante, que é a dupla coloração. Na parte superior, elas são verdes e glabras, e, na parte inferior, possuem um tom branco, tomentoso e são aveludadas (Corrêa, 1931). Estas folhas são simples, opostas com pilosidade cinérea (Chaves & Ramalho, 1996).

A candeia possui flores andróginas, que se apresentam em inflorescências de cor púrpura nas extremidades dos ramos (Araújo, 1944). O

fruto é do tipo cipsela, que é um aquênio de ovário ínfero. Este fruto possui superfície cilíndrica e dez arestas de cor pardo-escura, com aproximadamente 2mm de comprimento (Figura 1); cada fruto contém uma só semente (Araújo, 1944 e Chaves & Ramalho, 1996).



FIGURA 1. Desenho esquemático de um galho de candeia (Araújo, 1944).

Nos indivíduos adultos de candeia, o tronco é castanho-escuro, acentuadamente sulcado (Araújo, 1944) e nos indivíduos mais jovens, o caule apresenta-se com estrias fissuradas, arroxeadado próximo à base, subcilíndrico e com o coleto ligeiramente engrossado (Chaves & Ramalho, 1996).

A madeira da candeia é branco-acinzentada, com grã mais escura, dura, compacta, resistente à umidade e à putrefação, pesada e lisa (Rizzini, 1979). Os anéis de crescimento mostram-se perceptíveis, enquanto o albúrne e o cerne são mal-distintos (dois terços são de cerne) (Rizzini, 1979). Seu peso específico é de 0,912, apresentando resistência ao esmagamento: carga perpendicular, 339kg/cm<sup>2</sup> e carga paralela, 472kg/cm<sup>2</sup> (Corrêa, 1931). É conhecida no meio

rural como "madeira branca", mas sua resistência ao apodrecimento e ao ataque de cupins e bactérias do solo é algo extraordinário (Pereira, 1998).

#### 2.2.4 Utilizações da madeira de candeia

Ela é muito utilizada para moirões de cerca, postes e esteios, por apresentar grande durabilidade natural; serve ainda para construção de barcos ou navios (Rizzini, 1979). De acordo com CETEC (1994), é usada também para caibros, carvão vegetal, tacos, dormentes e vigas.

O odor dessa madeira é peculiar e intenso, lembrando a essência de valeriana e o ácido valeriânico (Rizzini, 1979). Este cheiro deve-se a uma substância oleosa, exsudada pelo lenho dos exemplares velhos, a qual, em contato com o ar, se solidifica, formando algo semelhante a cerume (Araújo, 1944).

A madeira da candeia também pode ser utilizada com sucesso para lenha, pois queima mesmo enquanto verde, produzindo uma chama clara (Rizzini, 1979). No entanto, essa queima produz uma fumaça que apresenta cheiro desagradável (Rizzini, 1979).

Porém, a madeira de candeia tem seu amplo mercado, sendo utilizada para moirões de cerca, além da extração do óleo essencial. Embora a candeia tenha uma taxa de crescimento inferior à do eucalipto, a sua madeira, usada na forma de moirões, apresenta durabilidade cinco vezes maior (Cândido, 1991).

Pérez (2001), em seus estudos realizados em Aiuruoca, MG, constatou que a idade média das plantas de candeia em ambiente natural é de 18 anos para árvores com diâmetro entre 5 e 10 cm, de 23 anos para a classe de diâmetro com valor central de 12,5 cm, em torno de 28,5 anos para as classes de valor central de 17,5 e 22,5 cm, de 34 anos para a classe de valor central de 27,5 cm e de 50 anos para a classe de diâmetro de valor central de 32,5 cm.

A candeia é rica em óleo essencial, já introduzido em farmácia como veículo para certos medicamentos que, aplicados à pele, impedem a penetração de cercárias do *Schistosoma* (Rizzini, 1979). O *Schistosoma* tem seu ciclo de vida em moluscos que, no Brasil, possui esse ciclo em especial na espécie *Biomphalaria glabrata* (Mendes et al., 1999). Estes últimos autores, expondo os moluscos durante 24 horas ao extrato da candeia, obtiveram 100% de morte dos mesmos.

A fórmula química do óleo essencial extraído da madeira da candeia é:  $C_{15}H_{26}O$ , que contém 84,9% de alfabisabolol, 1,9% de betabisabolol, 1,8% de ácido isovalérico e 1% de óxido betabisaboleno (Laboratories LBVH, 2002).

Segundo Clementi (1987, citado por CETEC, 1994), o princípio ativo que é extraído do óleo essencial é o alfabisabolol, que exibe propriedades antiflogísticas, antibacteriana, antimicótica, dermatológica e espasmódica, podendo ser usado também na preparação de vários cosméticos. Estudos realizados por Cristina (1989) mostraram propriedades antimicrobianas (antibacteriana e antifúngica) do óleo essencial da candeia.

O óleo retirado da candeia é um excelente substituto da *Matricaria camomilla* (camomila), sendo usado como cicatrizante, antiinflamatório e anti-séptico (CETEC, 1994). Estudos realizados por Nogueira (2000) mostraram que o composto alfabisabolol é o possível responsável pela atividade antiulcerogênica do óleo essencial da candeia.

De acordo com Pérez (2001), este óleo refinado atinge, no mercado, o valor de US\$ 60,00/kg, pois é muito usado pela indústria internacional, principalmente na indústria farmacêutica alemã (Lopes et al., 1991).

Pérez (2001) concluiu em seus estudos que o peso do óleo essencial extraído do fuste da candeia aumenta com o aumento da classe diamétrica desta. Em média, esse peso é de 1,585 kg. Esse estudo realizado por Pérez (2001) também revelou que o peso mínimo do óleo foi de 0,109 kg para árvores entre 5

cm e 10 cm de diâmetro, e peso máximo de 4,042 kg para árvores entre 30 e 35 cm de diâmetro.

Além disso, Pérez (2001) concluiu que é possível e viável extrair o óleo dos galhos finos e das folhas das árvores de candeia, além do óleo já extraído tradicionalmente do fuste das árvores. Extraindo óleo dos galhos finos se agregam, em média, 19,35% a mais de óleo que o existente no fuste quantificado pelo processo industrial. Das folhas, agregam-se 25,78% a mais de óleo em relação ao existente no fuste quantificado pelo processo industrial.

### **2.2.5 Fenologia da floração e frutificação da candeia**

A floração da candeia começa quando a planta atinge três anos de idade; a partir daí, as sementes já podem ser colhidas (Cândido, 1991). Embora a época de floração varie de lugar para lugar e de ano para ano, esta ocorre no início do segundo semestre (agosto e setembro) e a frutificação se dá dois a três meses após. A colheita é feita de outubro a novembro, quando os frutos começam a cair, segundo estudos feitos por Cândido (1991), na região de Viçosa, MG. De acordo com CETEC (1994), no ano de 1993, as árvores de candeia localizadas na Estação Ecologia do Tripuí, em Ouro Preto, MG, começaram a desenvolver seus botões florais em março. As flores abriram de maio a agosto e o pico de floração foi no mês de julho, quando alguns indivíduos começaram a frutificar, apresentando o pico da frutificação entre os meses de setembro e outubro, quando se inicia a dispersão dos frutos. A maior taxa de germinação das sementes foi obtida quando essas foram coletadas no mês de setembro, mostrando sua maior maturação neste mês.

CETEC (1994) concluiu que os eventos fenológicos da floração e posterior frutificação estão intimamente relacionados às condições ambientais, principalmente à umidade e que, em anos mais secos, a floração e frutificação

Estudos realizados por CETEC (1994) mostram que as taxas de germinação das sementes também variam de acordo com diversos fatores: com a matriz na qual foram coletadas as sementes, pois houve taxas de germinação que variaram de 32,75% a 45,75%, na matriz que mais germinou a 2,25% a 8,0%, na matriz que obteve menor taxa de germinação; com as condições do solo, pois as matrizes que apresentaram menores taxas de germinação estavam localizadas em solos mais rasos e litólicos, e as demais em solos mais estruturados (cambissolos); com as temperaturas utilizadas para a germinação das sementes, pois ensaios a temperaturas de 20°C a 25°C mostraram que a 20°C houve maior taxa e rapidez da germinação, mostrando uma maior adaptação da candeia a temperaturas menos elevadas, e com a época de colheita dessas sementes, pois a maior taxa de germinação foi obtida daquelas coletadas no final do mês de setembro.

### **2.2.7 Variabilidade genética em candeia**

Com relação à variabilidade genética da candeia, estudos realizados por Freitas (2001) em seis áreas localizadas na Estação Ecológica do Tripuí e duas localizadas no Parque Estadual do Itacolomi (Minas Gerais) mostraram um alto polimorfismo genético (89,9%) nesta espécie. Além disso, o mesmo autor verificou que os maiores níveis de diversidade genética entre os indivíduos ocorreram dentro das populações. Somente 14,3% da variação genética foram devido à variação entre as populações.



### 2.3 Variação entre e dentro de espécies florestais

A variação genética que existe entre e dentro de espécies florestais, tanto em procedência como em progênies, tem várias funções, constituindo uma proteção contra as mudanças ambientais e climáticas, servindo também de base para a seleção e cruzamento (Fao, 1978; citado por Dias, 1998).

Um programa de melhoramento genético por seleção fundamenta-se na existência de variabilidade genética, a qual, se aplicada uma determinada intensidade de seleção, representa ganhos em produtividade nas próximas gerações (Kageyama, 1980).

Os programas de melhoramento genético para essências florestais visam, principalmente, o aumento da produtividade e da qualidade da madeira dos povoamentos, por meio da manipulação da variabilidade genética entre os indivíduos (Kageyama, 1980). Portanto, a estimação da variação genética e outros parâmetros genéticos é necessária para a predição do ganho e escolha da melhor e mais viável estratégia de melhoramento genético (Kageyama, 1980).

A variação entre espécies florestais pode ser do tipo clinal, quando esta é contínua e as características observadas na população são relacionadas a gradientes ambientais, como um gradiente altitudinal, por exemplo (Oliveira, 1998). Ou pode ser ecotípica, quando esta é descontínua, ocasionada por barreiras ecológicas ou geográficas entre as populações de uma mesma espécie, não existindo, porém, barreiras genéticas para a troca de genes entre os diversos ecótipos (Oliveira, 1998).

Wright (1964) ressalta que definir a natureza da variação envolvida em uma espécie florestal é de fundamental importância em um programa de melhoramento porque, no caso desta variação ser ecotípica, é importante conhecer os seus limites. Porém, se for clinal, é possível prever o comportamento de uma procedência não testada pelo comportamento de duas de

suas procedências, situadas em extremos distintos do hábitat natural (Wright, 1964).

Kageyama (1980) cita que, dentro de uma espécie com ampla distribuição geográfica, a variação genética entre populações, ou seja, entre procedências, é muito maior que aquelas existentes em famílias selecionadas em uma mesma população e em um mesmo local.

Esse autor explica que o isolamento reprodutivo, o tamanho da população e a pressão de seleção são os fatores mais importantes que regem a diferenciação genética das populações. A diferença na pressão de seleção e o isolamento reprodutivo por grandes distâncias podem conduzir a formação de ecótipos diferentes.

#### **2.4 Teste de procedência/progênie**

Conhecer o tipo e a intensidade da variação genética envolvida nas espécies florestais é um dos principais desafios enfrentados pelos melhoristas. A maneira tradicional de se conhecer estes parâmetros é o uso de testes de procedência/progênie, que fornecerão, além da variação entre populações ou procedências, também a variação dentro destas (Kageyama, 1980).

O termo procedência indica a localização geográfica e ambiental das árvores ou povoamentos fornecedores de materiais reprodutivos, tais como sementes, pólen ou propágulos, embora para essências florestais nativas, este termo se confunda com a origem (Ferreira & Araújo, 1981).

Falconer (1987) conceitua os testes de progênies como sendo a avaliação de um indivíduo por meio da performance de seus descendentes. Estes testes de progênies, quando realizados para espécies vegetais perenes, possibilitam a comparação dos progenitores em suas várias gerações, sem que se percam as

árvores matrizes e, assim, selecionar aquelas superiores e promover a sua recombinação (Oliveira, 1998).

Os testes de progênes se prestam para a determinação do valor reprodutivo dos indivíduos selecionados e para a estimação dos parâmetros genéticos da população (Menk et al., 1986). Namkoong (1966; citado por Oliveira, 1998) propõe que a maior contribuição dos testes de progênes seria a determinação do valor genotípico dos melhores indivíduos, dando continuidade ao processo por meio da seleção recorrente.

De acordo com Sampaio et al. (2000), uma estratégia eficiente para a seleção de genótipos é a utilização combinada dos testes de procedência e progênes. Estes testes permitem o estudo dos componentes de variância e a estimação da herdabilidade das características desejadas, propiciando a escolha de métodos mais adequados de seleção, principalmente de plantas jovens, diminuindo, assim, o ciclo de melhoramento da espécie (Costa et al., 2000). Para a restauração de ambientes degradados, essas características desejadas são um maior ganho de biomassa, resultando em um rápido recobrimento do solo para impedir a erosão e a perda de matéria orgânica e nutriente (Rosado, 2002).

Kageyama (1980) observou que o restrito conhecimento a respeito dos resultados obtidos com a seleção, praticada ou a praticar, para as diversas características de espécies perenes e a impossibilidade de se pensar, em curto prazo, em muitos ciclos recorrentes de seleção com estas espécies, têm causado um esforço que vem sendo despendido nos estudos de determinação dos parâmetros genéticos, dos quais os principais são: variâncias genéticas, coeficiente de herdabilidade, interações dos efeitos genéticos e ambientais e as correlações genéticas.

Esse autor também observa que os principais objetivos a serem alcançados com a estimação dos parâmetros genéticos são: prever os ganhos genéticos e assim poder formular estratégias alternativas para o melhoramento

genético, permitindo a escolha da estratégia mais adequada; proporcionar informações sob a ação dos genes responsáveis pela herança das características estudadas; obter bases para a avaliação dos programas de melhoramento da população e a informação para o desenvolvimento de novos enfoques nos programas.

#### **2.4.1 Herdabilidade**

O termo herdabilidade é a descrição quantitativa da relação entre a variação genética e variação fenotípica em uma característica, ou seja, é a expressão da confiança do valor fenotípico como guia para o valor genético (Falconer, 1987).

Segundo Falconer (1987), o conhecimento da herdabilidade é um dos principais objetivos no estudo genético de um caráter métrico e sua magnitude orienta decisões práticas sobre os procedimentos a serem usados.

O coeficiente de herdabilidade pode variar de zero a um. Quando a herdabilidade é alta, ou seja, próxima a um, diz-se que o controle genético é alto e esta característica é altamente hereditária (Falconer, 1987). Nesse caso, o fenótipo de um indivíduo é indicativo de seu genótipo. Por outro lado, quando a herdabilidade é baixa, diz-se que a característica é altamente influenciada pelo ambiente (Falconer, 1987).

As estimativas de herdabilidade são, portanto, ajudas preciosas no planejamento dos programas de melhoramento genético florestal que envolvem seleção, auxiliando no julgamento sobre a quantidade de esforço que deve ser despendido em cada uma das características que se pretende melhorar (Falconer, 1987).

De acordo com Falconer (1987), a herdabilidade não é uma propriedade de único caráter, mas de toda a população e das circunstâncias ambientais a que

estão submetidos os indivíduos desta população. Este autor analisa ainda que qualquer componente da variância entre grupos de indivíduos aparentados é igual à covariância dos membros deste grupo; a variância entre médias de famílias de meios-irmãos estima, portanto, a covariância genotípica de meios-irmãos, que equivale aproximadamente a um quarto da variância aditiva (Falconer, 1964).

## 2.5 Fungos micorrízicos

Entre as simbioses que ocorrem entre plantas e microrganismos, a formação de micorrizas é a mais comum, especialmente pelas micorrizas arbusculares (FMAs) (Souza & Silva, 1996).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) se associam com a maioria das espécies vegetais vasculares e são os mais comuns e importantes simbiontes radiculares encontrados em sistemas agrícolas e florestais dos trópicos (Bjorkman, 1970; Siqueira & Franco, 1988; Brundrett, 1991). Entre as plantas vasculares que formam associações encontram-se membros da maioria das angiospermas e gimnospermas (Trappe, 1987).

A função dos fungos micorrízicos consiste em estabelecer uma ligação entre as raízes da planta hospedeira com o solo e sua biota, por meio da micorrizosfera, resultando, em geral, em um aumento da capacidade de estabelecimento, desenvolvimento e reprodução das plantas, e na estruturação do solo (Souza & Silva, 1996).

Evidências fósseis, que remontam ao início do período devoniano, época do surgimento das primeiras plantas terrestres, indicam longo período de co-evolução entre as plantas e esses fungos simbiontes, mediante um processo de co-acomodação (Pirozynski & Dalpé, 1989; Taylor et al., 1995).

Dessa forma, algumas plantas não crescem sem uma associação micorrízica efetiva (plantas microtróficas obrigatórias), outras crescem bem sem a micorrização em solos férteis, mas são beneficiadas por tal associação em solos com baixos níveis de nutrientes disponíveis (plantas microtróficas facultativas) e outro grupo não forma a associação sob nenhuma condição (plantas não microtróficas) (Souza & Silva, 1996).

### **2.5.1 Benefícios da simbiose micorrízica**

Entre os benefícios gerados pela simbiose micorrízica estão incluídos: melhoria do estado nutricional da planta hospedeira, maior tolerância ao estresse hídrico, aumento na absorção de água, amenizador de estresses abióticos, como acidez, metais pesados e outros (Smith & Gianinazzi-Pearson, 1988; Hetrick, 1988; Quintero-Ramos, 1993; Herera et al., 1993; Lambais & Cardoso, 1993; Ricken & Hofner, 1993; Rosado et al., 1994) e aumento da tolerância a patógenos de solo (Zambolim, 1987; Brundrett, 1991).

Jasper (1994) ainda considera que os fungos micorrízicos arbusculares contribuem para: a revegetação através de mecanismos de manutenção da biodiversidade, por meio da melhoria da capacidade das espécies em competir por fatores de crescimento; a ciclagem eficiente dos nutrientes e estabilidade do ecossistema e a estabilidade do solo, por meio de efeitos na agregação e estabilização dos agregados.

Embora a micorrização tenha efeito sobre diferentes elementos utilizados na nutrição das plantas (Manjunath & Habte, 1987; Siqueira & Saggin Júnior, 1993; Marschener & Dell, 1994), o seu efeito mais acentuado e de maior interesse econômico vem sendo atribuído à maior absorção de fósforo (P) em solos com baixa fertilidade ou em solos onde as concentrações desse nutriente na solução do mesmo são extremamente baixas (Perry & Amaranthus, 1990;

Manjunath & Habte, 1990a; Bolan, 1991; Pearson & Jakobsen, 1993; Siqueira & Saggin Júnior, 1993; Santos, 1995).

As plantas micorrizadas possuem a capacidade de mobilizar P do solo (incluindo a mineralização do P orgânico) e promover alterações em características relacionadas com a cinética de absorção, translocação e utilização do P (Zambolim & Siqueira, 1985; Faquin et al., 1990; Bolan, 1991; Jayachandran et al., 1992).

De acordo com Bielski (1973), a importância dos fungos micorrízicos cresce quando são observados dados de que aproximadamente 95% a 99% do fósforo do solo ocorrem em formas não prontamente disponíveis às plantas. De modo geral, nos solos tropicais sua difusão é reduzida e, por isso, aparece em baixas concentrações na solução do solo (Bielski, 1973).

### **2.5.2 Dependência micorrízica**

Segundo Gerdemann (citado por Hetrick, 1988), a dependência micorrízica é o grau no qual a planta depende do parceiro fúngico para obter seu melhor crescimento ou produção a um dado nível de fertilidade do solo, podendo ser obtida pela relação matemática entre o crescimento ou produção das plantas micorrizadas e aquele apresentado pelas plantas não micorrizadas (Menge et al., 1978; Siqueira & Franco, 1988).

### **2.5.3 Variações genéticas na simbiose micorrízica**

A extensão com que as espécies de plantas hospedeiras são beneficiadas pela simbiose é fortemente influenciada ou regulada, entre outros fatores, pelas condições do solo e genótipo da planta hospedeira (Thomson et al., 1991; Siqueira & Saggin Júnior, 1993).

Entre os fatores do solo, a disponibilidade de P destaca-se como um dos mais importantes, pois comumente a incidência dos FMAs é maior quando esta disponibilidade está abaixo do ótimo para o crescimento satisfatório da planta (Thomson et al., 1991; Siqueira & Saggin Júnior, 1993).

Pelo lado do genótipo da planta hospedeira, existem variações inter e intra-específicas quanto à susceptibilidade à colonização e ao grau de dependência micorrízica (Lambert et al., 1980; Krishna et al., 1985; Saif, 1987; Lackie et al., 1988; Graham et al., 1992; Graham & Eissenstat, 1994; Rosado et al., 1994), as quais são, em parte, decorrentes das variações existentes na morfologia e crescimento radicular ou na alocação de carboidratos (Saif, 1987; Hetrich, 1988; Manjunath & Habte, 1991b; Rosado et al., 1994; Amijee et al., 1993).

Devido a estas variações, parece ser possível o desenvolvimento de um programa de melhoramento de árvores pela seleção de genótipos com maior taxa de colonização e resposta aos benefícios da simbiose para serem cultivados em áreas degradadas.

Alguns estudos sobre as variações genéticas na simbiose micorrízica têm evidenciado a sua magnitude e a possibilidade desta importante função biológica ser incorporada aos programas de melhoramento genético, principalmente para atender às necessidades de seleção de materiais genéticos para serem cultivados em ambientes degradados (Rosado, 1993).

De acordo com Siqueira & Franco (1988), as variações entre espécies florestais, cujas mudas são pré-inoculadas com fungos micorrízicos, podem apresentar uma amplitude de resposta na taxa de crescimento de 150% a 8.000%.

Alguns outros trabalhos têm relatado que, dentro de uma mesma espécie, a dependência micorrízica também é variável.



A existência de variações genéticas intra-específicas em características do sistema radicular (Dvorak, 1990; Rosado et al., 1994) também reforça a idéia de que a formação e os benefícios derivados das associações micorrízicas irão variar dependendo do genótipo hospedeiro.

Krishna et al. (1985) e Hetrick et al. (1993) sugerem que a habilidade para formar associações com FMAs é uma característica hereditária. Portanto, a seleção de genótipos com maior habilidade para formar associações com fungos micorrízicos pode ser incorporada em programas de melhoramento genético.

Alguns estudos demonstraram valores relativamente altos de coeficiente de herdabilidade para a taxa de colonização micorrízica (Lackie et al., 1988; Rosado et al., 1994), o que evidencia o alto grau de controle genético desta característica.

## **2.6 O sistema radicular**

A distribuição de raízes no solo é resultante de uma série de processos complexos e dinâmicos, os quais incluem as interações entre o ambiente, o solo e as plantas em pleno crescimento (Fante Júnior, 1997). Todos estes fatores interagem com as características intrínsecas, ou seja, o genótipo da espécie, resultando numa arquitetura radicular única para cada árvore e a sua forma, profundidade e distribuição lateral dependem do potencial genético de cada espécie (Mello, 1997).

A caracterização da distribuição do sistema radicular no solo e o conhecimento de suas variações genéticas são fundamentais para a escolha de melhores progênies, ou seja, as mais adaptadas às condições de estresse do solo e, conseqüentemente, com maiores capacidades de crescimento e produtividade nestes solos.

A quantidade de raízes, ou seja, o comprimento radicular, é um importante parâmetro para a determinação da qualidade do sistema radicular da planta, pois irá resultar em uma planta que absorve mais ou menos nutrientes e água (Bohm, 1979).

Esse fator é particularmente importante na recuperação de áreas degradadas, onde os nutrientes e a água são escassos, demandando assim maior comprimento radicular e maior quantidade de raízes, para aumentar as chances desse sistema radicular absorver os nutrientes e a água de que a planta necessita para sua sobrevivência e crescimento.

Do ponto de vista funcional, as raízes finas ou de absorção são aquelas que apresentam intensa atividade metabólica, tendo como principal atribuição fisiológica a absorção de água e nutrientes; as raízes de sustentação, bem mais espessas e suberificadas, são aquelas responsáveis pelo suporte estrutural das árvores e pela condução de soluções entre o sistema radicular e a parte aérea (Mello, 1997).

Os principais macronutrientes (N, P e K) podem ser absorvidos por qualquer parte do sistema radicular, porém, o Ca é absorvido quase que totalmente através de raízes não suberificadas, ou seja, das raízes mais finas, onde também a absorção de água é muito mais efetiva (Russel et al., 1981).

Além da maior absorção de nutrientes e água, as raízes mais finas intercambiam os processos de transferência micorriza/árvore, pois são nelas os maiores crescimentos miceliais dos fungos micorrízicos, que são especialmente importantes para a incorporação de fósforo (Sanni, 1976, citado por Mello, 1997).

Porém, são exatamente essas raízes mais finas as mais difíceis de serem mensuradas, por possuírem um menor diâmetro e serem, em geral, quase transparentes.

### 2.6.1 Fatores que influenciam o crescimento das raízes

Os fatores determinantes do crescimento radicular são complexos e envolvem o estado nutricional da planta, disponibilidade de oxigênio no solo, hormônios de crescimento atuantes, suprimento de carboidratos e sua alocação relativa na raiz e na parte aérea, que se traduzem por expressões singulares de seu material genético e, ao mesmo tempo, associados às condições do meio ao qual ela toma parte (Mello, 1997).

Os fatores que podem influenciar o crescimento das raízes, portanto, se traduzem em fatores ambientais, tais como os edáficos e das condições climáticas, e os fatores genéticos da planta, ou seja, o seu genótipo.

Dentre os fatores ambientais estudados, Persson (1983), em um estudo em floresta boreal, concluiu que, em solos pobres, há uma tendência de crescimento de raízes longas, que ocupam grande volume de solo. Já a ocorrência de numerosas raízes curtas, muitas vezes associadas a micorrizas, é mais comum em solos férteis ou com maior quantidade de matéria orgânica. Fabião et al. (1995), em seus estudos com *Eucalyptus globulus*, observaram que o crescimento de raízes finas diminui com a adubação e particularmente com a fertirrigação, o que não se observou com as raízes grossas (maiores que 5mm de diâmetro).

Entre os fatores ambientais capazes de influenciar o crescimento das raízes, as temperaturas do solo e do ar também são importantes reguladores da atividade radicular (Mello, 1997). Nambiar (1983, citado por Mello, 1997) constatou um incremento maior do comprimento em relação ao peso das raízes de *Pinus radiata* quando a temperatura do solo era superior a 15°C. Verificou também que o crescimento e a regeneração de raízes apresentaram uma estreita relação com o teor de água no solo. O mesmo autor verificou ainda que a

compactação do solo influenciou na distribuição de raízes, mas não no crescimento radicular.

De acordo com Roberts (1976, citado por Mello, 1997), a radiação solar está diretamente relacionada ao crescimento radicular, a qual é fonte de energia para a produção de fotoassimilados produzidos nas folhas e alocados no sistema radicular.

### **2.6.2 Medição de raízes**

O conhecimento apropriado do sistema radicular é de grande importância para a compreensão da capacidade produtiva das plantas e adequação das práticas de manejo (Leles, 1995; Mello, 1997; Fante Júnior, 1997), além de fornecer subsídios para a seleção dos genótipos com maior qualidade desse sistema radicular.

Há uma estreita relação entre os parâmetros de crescimento das árvores, a arquitetura de raízes e o potencial de produtividade dos povoamentos florestais (Leles, 1995). Portanto, é de grande importância o conhecimento do tamanho e da composição do sistema radicular.

De acordo com Bohm (1979), tradicionalmente, os estudos sobre crescimento radicular são feitos por meio da avaliação das características das raízes, como massa seca, comprimento, área explorada, volume de solo explorado, no tempo e no espaço, em conjunto com os fatores do ambiente que influenciam a distribuição das raízes, como densidade e porosidade do solo; água, ar e nutrientes disponíveis no solo, e pH do solo.

Esses métodos indiretos para os estudos de raízes não permitem um conhecimento adequado do sistema radicular, como a quantidade de raízes finas e diâmetro médio das raízes, importantes parâmetros para a determinação da qualidade deste sistema. Segundo Bohm (1979), as metodologias utilizadas

tradicionalmente para as avaliações realizadas nas raízes destacam-se como os principais fatores limitantes na investigação da distribuição do sistema radicular.

Muitos métodos de medição do comprimento de raízes têm sido propostos e freqüentemente são métodos que produzem resultados inexatos (Costa et al., 2001; Fanté Júnior, 1997) e muitas vezes não são operacionais por consumirem muito tempo (Costa et al., 2000). As medições de raízes com precisão sempre foram um desafio contínuo para pesquisadores (Costa et al., 2001).

Um método de medição do comprimento radicular baseado no princípio de cruzamento de linhas foi proposto por Newman (1966) e mais tarde aperfeiçoado por Marsh (1971) e Tennant (1975). Este método diminuiu o tempo de medição das raízes comparado com o método manual, mas ainda é um longo tempo, não sendo operacional em alguns casos e que pode produzir muitos erros, principalmente quando há grande quantidade de raízes finas (Costa et al., 2002).

Com o uso de computadores e análise de imagens, tem-se aumentado o potencial para medir raízes, reduzindo o tempo requerido para a medida e permitindo a avaliação de diferentes variáveis da raiz, anteriormente não possíveis de serem mensuradas, como o número de raízes finas e o diâmetro médio das raízes (Costa et al., 2001). As avaliações das características das raízes pelos softwares são feitas rapidamente, com mais exatidão e menor subjetividade que os métodos anteriormente propostos (Costa et al., 2002).

Nesses novos métodos, a aquisição das imagens para as análises é feita por uma máquina fotográfica digital ou um scanner óptico. No caso das imagens obtidas por scanner óptico, as raízes que possuem diâmetros pequenos, como as raízes finas, podem ter seu valor subestimado, pois o scanner pode não detectá-las. Mas, estes dados obtidos pelo scanner podem ser otimizados quando se melhora a sua resolução e faz-se a coloração das raízes com corantes específicos antes da medição, aumentando o contraste (Costa et al., 2001).

Em estudos realizados por Costa et al. (2001) com a coloração ou não de raízes com azul de toluidina a 0,1% durante 15 minutos houve diferenças significativas na medição das raízes coradas e não coradas em algumas espécies. Foram estudadas por estes autores as espécies herbáceas *Zea mays*, *Hordeum vulgare*, *Avena sativa*, *Glycine max*, *Triticum aestivum* e *Fragaria x ananassa* e as espécies arbóreas *Gleditsia triacanthos*, *Celtis occidentalis*, *Acer saccharinum*, *Acer platanoide* e *Fraxinus pennsylvanica*. A maioria dessas espécies, tanto das herbáceas quanto das arbóreas, mostrou diferenças significativas na utilização ou não do corante azul de toluidina para a medição das raízes.

No entanto, como não foram todas as espécies que mostraram diferenças significativas na utilização desse corante, pode-se concluir que não é necessário o seu uso na medição do sistema radicular por scanner óptico para todas as espécies. Portanto, é necessário o estudo de quais espécies necessitam de sua utilização.

### 3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMIJEE, F.; STRIBLEY, D. P.; TINKER, P. B. The development of endomycorrhizal root systems: VIII. Effects of soil phosphorus and fungal colonization on the concentration of soluble carbohydrates in roots. *New Phytologist*, Cambridge, v. 123, n. 2, p. 297-306, Feb. 1993.

ANDRAE, H. F. *Ecologia floresta*. Santa Maria: UFSM, 1978. 230 p.

ARAÚJO, L. C. *Vanillosmopsis erythropappa* (DC.) Sch. Bip: sua exploração florestal. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Agronomia, 1944. 54 p.

BIELSKI, B. L. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, v. 24, p. 225-252, 1973.

BJORKMAN, E. Forest tree mycorrhiza the conditions for its formation and significance for tree growth and afforestation. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 32, n. 3, p. 589-610, 1970.

BOHM, W. *Methods of studying root systems*. New York: Springer-Verlag, 1979. 189 p.

BOLAN, N. S. A critical review on the role of micorrhyzal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 134, n. 2, p. 189-207, July 1991.

BROWN, S. Tropical forests and the global carbon cycle: the need for sustainable land-use patterns. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, New York, v. 46, n. 4, p. 31-44, Mar. 1993.

BRUNDRETT, M. Mycorrhizas in natural ecosystems. *Advances in Ecological Research*, New York, v. 21, p. 171-313, 1991.

BUDOWISKI, G. Distribution of tropical American rain forest species in the light of succession process. *Turrialba*, San José, v. 15, n. 1, p. 40-42, ene./mar. 1965.

CÂNDIDO, J. F. Cultura da candeia (*Vanillosmopsis erythropappa* Sch. Bip). Viçosa: UFV, 1991. 7 p. (Boletim de extensão, 35).

CARPANEZZI, A. A.; COSTA, L. G. S.; KAGEYAMA, P. Y.; et al. Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO, 3., 1990, Curitiba. **Recuperação de áreas degradadas**. Curitiba: FUPEF, 1990. p. 9-16.

→ CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidade e uso da madeira**. Brasília: EMBRAPA-CNPQ, 1994. 640 p.

→ CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC. **Ecofisiologia da candeia**. Belo Horizonte: SAT/CETEC, 1994. 104 p. (Relatório técnico).

CHAVES, M. M. F.; RAMALHO, R. S. Estudos morfológicos em sementes, plântulas e mudas de duas espécies arbóreas pioneiras da família Asteraceae (*Vanillosmopsis erythropappa* Schult. Bip e *Vernonia discolor* (Spreng- Less)). *Revista Árvore*, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 1-7, jan./mar. 1996.

CORRÊA, M. P. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1931. v. 1, p. 431-433.

COSTA, C.; DWYER, L. M.; HAMEL, C.; MUAMBA, D. F.; WANG, X. L.; NANTAIS, L.; SMITH, D. L. Root contrast enhancement for measurement with optical scanner-based image analysis. *Canadian Journal of Botany*, Ottawa, v. 79, n. 1, p. 23-29, Jan. 2001.

COSTA, C.; DWYER, L. M.; HAMILTON, R. I.; HAMEL, C.; NANTAIS, L.; SMITH, D. L. A Sampling Method for Measurement of Large Root Systems with Scanner-Based Image Analysis. *Agronomy Journal*, Madison, v. 92, n. 4, p. 621-627, July/Aug. 2000.

COSTA, C.; DWYER, L. M.; ZHOU, X.; DUTILLEUL P.; HAMEL C. , REID, L. M.; SMITH D. L. Root Morphology of Contrasting Maize Genotypes. *Agronomy Journal*, Madison, v. 94, n. 1, p. 96-101, Jan./Feb. 2002.

→ CRISTINA, D. S. **Estudo "in vitro" da atividade antifúngica e antibacteriana de extratos de plantas brasileiras da família Compositae (Asteraceae) e de alguns de seus constituintes**. 1989. 114 p. Dissertação (Mestrado em Farmacologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

DIAS, H. C. T. **Geoambientes e pedogênese do Parque Estadual do Ibitipoca, município de Lima Duarte**. 2000. 180 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.



DIAS, I. S. Variabilidade genética de diferentes tipos de populações naturais de Bracatinga *Mimosa scabrella* Bentham. 1998. 62 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. ↗

DVORAK, W. S. Genetical variation in root morphology of *Pinus ayacahuite* and *Pinus chiapensis*. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 19., 1990, Montreal. **Proceedings...** Montreal, 1990. p. 112-119.

FABIÃO, A.; MADEIRA, M.; STEEN, E.; KÄTTERER, T.; RIBEIRO, C.; ARAÚJO, C. Development of root biomass in a *Eucalyptus globulus* plantation under different water and nutrient regimes. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 168-169, n. 1/3, p. 215-223, Jan./Feb. 1995.

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

FANTE JÚNIOR, L. **Sistema radicular de aveia forrageira avaliado por diferentes métodos, incluindo processamento de imagens digitais**. 1997. 119 p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, SP.

FAQUIN, V.; MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T. Cinética da absorção de fosfato em soja sob influência de micorriza vesículo-arbuscular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 41-48, jan./mar. 1990.

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

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; DIAS, L. E.; FARIA, S. M. de. Use of nodulated and mycorrhizal legume trees for revegetation of residues from bauxite mining. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE AGRICULTURE FOR THE TROPICS – NITROGEN FIXATION, 1995, Angra dos Reis. **Abstracts...** Angra dos Reis: EMBRAPA-CNPAB; UFRRJ; Brazilian Academy of Sciences, 1995. p. 80.

FREITAS, V. L. O. **Variabilidade genética em *Vanillosmopsis erythropappa* Schultz Bip. (Asteraceae) em áreas de candeial e de mata**. 2001. 70 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. ↗

GLUFKE, C. **Espécies florestais recomendadas para recuperação de áreas degradadas**. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 1999. 48 p.

GRAHAM, J. H.; EISSENSTAT, D. M. Host genotype and formation and function of VA mycorrhizae. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 159, n. 1, p. 179-185, Feb. 1994.

GRAHAM, J. H.; EISSENSTAT, D. M.; DROUILLARD, D. L. On the relationship between a plant's mycorrhizal dependency and rate of vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization. **Functional Ecology**, Oxford, v. 5, n. 6, p. 773-779, 1992.

HERRERA, M. A.; SALAMANCA, C. P.; BAREA, J. M. Inoculation of woody legumes with selected arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia to recover desertified mediterranean ecosystems. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 59, n. 1, p. 129-133, Jan. 1993.

HETRICK, B. A. D. Acquisition of phosphorus by VA mycorrhizal fungi and the growth responses of their host plants. In: BODDY, L.; MARCHANT, R.; READ, D. J. **Nitrogen, phosphorus and sulphur utilization by fungi**. Cambridge, 1988. p. 204-225.

HETRICK, B. A.; GAIL, W. T. W.; COX, T. S. Inheritance of mycorrhizal dependence in wheat. In: NORTH AMERICAN CONFERENCE ON MYCORRHIZAE, 9., 1993, Ontario. **Abstracts...** Ontario: University of Guelph, 1993. p. 150.

JASPER, D. A. Management of micorrizas in revegetation. In: ROBSON, A. D.; ABBOTT, L. K.; MALAJCZUK, N. **Management of micorrizas in agriculture, horticulture and forestry**. Amsterdam, 1994. p. 211-219.

JAYACHANDRAN, K.; SCHWAB, A. P.; HETRICK, B. A. D. Mycorrhizal mediation of phosphorus availability: Synthetic iron chelate effects on phosphorus solubilization. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53, n. 6, p. 1701-1706, Nov./Dec. 1992.

KAGEYAMA, P. Y. **Variação genética em origens de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden**. 1980. 125 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

KRISHNA, K. R.; SHETTY, K. G.; DART, P. J.; ANDREWS, D. J. Genotype dependent variation in mycorrhizal colonization and response to inoculation of pearl millet. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 86, n. 1, p. 113-125, 1985.

LABORATORIES LBVH. Disponível em:

<<http://www.labo-hevea.com/tarifpro/vanillosmopsis.htm>> Acesso em: 6 maio 2002.

LACKIE, S. M.; BOWLEY, S. R.; PETERSON, R. L. Comparison of colonization among half-sib families of *Medicago sativa* L. by *Glomus vesiforme* (Daniels and Trappe) Berch. **New Phytologist**, Cambridge, v. 108, n. 4, p. 477-482, Apr. 1988.

LAMBAIS, M. R.; CARDOSO, E. J. B. N. Response of *Stylosanthes guianensis* to endomycorrhizal fungi inoculation as affected by lime and phosphorus applications. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 150, n. 1, p. 109-116, Mar. 1993.

LAMBERT, D. H.; COLE, Jr. H.; BAKER, D. E. Variation in the response of alfalfa clones and cultivars to mycorrhizae and phosphorus. **Crop Science**, Madison, v. 20, n. 5, p. 615-618, Sept./Oct. 1980.

LELES, P. S. S. **Crescimento, alocação de biomassa e distribuição de nutrientes e uso de água em *E. camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos.** 1995. 133 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

LOPES, J. N. C.; LOPES, J. L. C.; VICHNEWSKI, W., RODRIGUES, D. C.; GOTTLIEB, O. R. Chemical Variability of *Vanillosmopsis erythropappa* **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 63, n. 1, p. 21-22, mar. 1991.

LUGO, A. E. Restoration ecology. **Ambio**, The Hague, v. 22, n. 4, p. 106-109, Apr. 1994.

MANJUNATH, A.; HABTE, M. Development of mycorrhizal colonization and uptake of immobile nutrients. In: NORTH AMERICAN CONFERENCE ON MYCORRHIZAE, 7., 1987, Florida, **Proceedings...** Florida, 1987.

MANJUNATH, A.; HABTE, M. Relationship between mycorrhizal dependency and rate variables associated with P uptake, utilization and growth. **Communications in Soil Science in Plant Analysis**, New York, v. 22, n. 17/18, p. 1423-1437, 1991a.

MANJUNATH, A.; HABTE, M. Root morphological characteristics of host species having distinct mycorrhizal dependency. **Canadian Journal of Botanic**, Ottawa, v. 69, n. 3, p. 671-676, Mar. 1991b.

MARSCHENER, H.; DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 159, n. 1, p. 89-102, Feb. 1994.

MARSH, B. a'B. Measurement of length in random arrangements of lines. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 8, n. 2, p. 265-267, Aug. 1971.

MELLO, S. L. M. **Características do sistema radicular de povoamentos de eucaliptos propagados por sementes e estacas**. 1997. 79 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

MENDES, N. M.; QUEIROZ, R. O.; GRANDI, T. S. M.; ANJOS, A. M. G.; OLIVEIRA, A. B.; ZANI, C. L. Screening of Asteraceae (Compositae) Plant Extracts for Molluscicidal Activity. **Memorias do Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v. 94, n. 3, p. 411-412, mar./jun. 1999.

MENGE, J. A.; JOHNSON, E. L. V.; PLATT, R. G. Mycorrhizal dependency of several citrus cultivars under three nutrient regimes. **New Phytologist**, London, v. 81, n. 3, p. 553-558, Mar. 1978.

MENK, A. L. M.; ODA, S.; DAGEYAMA, P. Y. Variação genética em progênies de árvores de pomar semente por mudas de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden na região de Biritiba Mirim – São Paulo. **IFEF**, Piracicaba, v. 33, n. 3, p. 5-18, ago. 1986.

MIRANDA, C. A. K. **Importância das clareiras no processo de sucessão da candeia (*Vanillosmopsis erythropappa* Schult. Bip.) na Estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto/MG**. Belo Horizonte, 2000. (Relatório de atividades).

NEWMAN, E. I. A method of estimating the total root length in a sample. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 3, n. 1, p. 139-145, Apr. 1966.

NOGUEIRA, D. C. F. **Atividade antiulcerogênica do óleo essencial e da fração rica em alfa-bisabolol, obtidos das espécies do gênero *Eremanthus***. 2000. 83 p. Dissertação (Mestrado em Farmacologia) – Universidade Federal de Campinas, Campinas, SP.

NUNES, Y. R. F.; TEIXEIRA, M. C. B.; PEDRALLI, G. Recrutamento de plântulas de candeia (*Vanillosmopsis erythropappa* Shult. Bip.). In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 48., 1997, Crato. **Resumos...** Crato, 1997.

OLIVEIRA, A. N. **Variação genética entre e dentro de procedências de baru (*Dipteryx alata*) Vog.**. 1998. 80 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 4

PEARSON, J. N.; JAKOBSEN, I. The relative contribution of hyphae and roots to phosphorus uptake by arbuscular mycorrhizal plants, measured by dual labelling with <sup>32</sup>P and <sup>33</sup>P. **New Phytologist**, Cambridge, v. 124, n. 3, p. 489-494, July 1993.

PEDRALLI, G. Estrutura diamétrica, vertical e análise do crescimento da candeia (*Vanillosmopsis erythropappa* Schult. Bip) na Estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 301-306, abr./jun. 1997.

PEREIRA, A. A. S. **Nutrição e adubação da candeia (*Vanillosmopsis erythropappa*)**. 1998. 22 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PÉREZ, J. F. M. **Sistema de manejo para a candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish)**. 2001. 71 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PERRY, D. A.; AMARANTHUS, M. P. The plant-soil bootstrap: Microorganisms and reclamation of degraded ecosystems. In: BERGER, J. J. **Environmental restoration, science and strategies for restoring the earth**. Wahington, 1990. p. 95-102.

PERSSON, H. A. The distribution and productivity of fine root in boreal forests. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 71, n. 1/2, p. 87-121, 1983.

PIROZYNSKI, K. A.; DALPÉ, Y. Geological history of the Glomaceae with particular reference to mycorrhizal symbiosis. **Symbiosis**, Rehovot, v. 7, n. 1, p. 1-36, 1989.

QUINTERO-RAMOS, M.; ESPINOZA-VICTORIA, D.; FERRERA-CERRATO, R.; BETHLENFALVAY, G. J. Fitting plants to soil trough

- mycorrhizal fungi: Mycorrhiza effects on plant growth and soil organic matter. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 15, n. 2, p. 103-106, Feb. 1993.
- RICKEN, B.; HÖFNER, W. VA- Mycorrhiza in heavy metal polluted soils. In: NORTH AMERICAN CONFERENCE ON MICORRHIZAE, 9., 1993, Ontario. Abstracts... Ontario: University of Guelph, 1993. p. 24.
- RIZZINI, C. T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira**. São Paulo: E. Edgard Blücher, 1979. 296 p.
- ROSADO, S. C. S. Genética quantitativa aplicada em fungos ectomicorrízicos. In: SIQUEIRA, J. O. **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras, 1996. p. 101-133.
- ROSADO, S. C. S. **Recuperação de áreas mineradas: uma consideração sobre os fatores do solo**. Mataraca, 1997. (Boletim técnico TIBRAS 01).
- ROSADO, S. C. S. **Recuperação de áreas mineradas pela Millennium Inorganic Chemicals**. Mataraca, 1999. (Relatório técnico 01/99).
- ROSADO, S. C. S. Revegetação de dunas degradadas no litoral norte da Paraíba. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 5., 2002, Belo Horizonte. **Palestras...** Lavras: SOBRADE, 2002. p. 105-122.
- ROSADO, S. C. S. **Variations génétiques chez la symbiose ectomycorrhizienne. *Pinus elliotti - Pisolithus tinctorius***. 1993. 88 p. Tese (Doutorado) - Universidade Laval, Québec, Canadá. .
- ROSADO, S. C. S.; KROPP, B. R.; PICHÉ, Y. Genetics of ectomycorrhizal symbiosis: I. Host plant variability and heritability of ectomycorrhizal and root traits. **New Phytologist**, Cambridge, v. 126, n. 1, p. 105-110, Jan. 1994.
- RUSSEL, R. S. Plant Root Systems – their function and interaction with the soil methods. In: SYMPOSIUM ON THE SOIL / ROOT SYSTEM, 1981, Londrina. **Proceedings...** Londrina: Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR, 1981. p. 3-20.
- SAIF, S. R. Growth responses of tropical forage plant species to vesicular-arbuscular mycorrhizae: Growth, mineral uptake and and mycorrhizal dependency. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 97, n. 1, p. 25-35, 1987.

SAMPAIO, P. T. B.; RESENDE, M. D. V.; ARAÚJO, A. J. Estimativas de parâmetros genéticos e métodos de seleção para o melhoramento genético de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 35, n. 11, p. 2243-2253, nov. 2000.

SANTOS, O. M. Efeito de fungo micorrízico vesículo-arbuscular sobre o crescimento e a absorção de fósforo, de nitrato e de amônio por mudas de *Eucalyptus grandis* Hill, ex Maiden e de *E. camaldulensis* Dehnh., sob estresse hídrico e solo compactado. 1995. 77 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SILVA, E. F. Caracterização edáfica e fitossociológica em áreas de ocorrência natural de candeia (*Vanillosmopsis erythropappa* Sch. Bip.). 2001. 114 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas.** Lavras: MEC/ESAL/FAEPE/ABEAS, 1988. 235 p.

SIQUEIRA, J. O.; SAGGIN JÚNIOR, O. J. Importance of mycorrhizal in low-fertility soils. In: CIMMYT, J. A. **Stress physiology.** Deutsch, 1993. (in press).

SMITH, S. E.; GIANINAZZI-PEARSON, V. Physiological interações between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. **Annual Reviews Plant Physiology**, Palo Alto, v. 39, p. 221-244, 1988.

SOUZA, F. A.; SILVA, E. M. R. Micorrizas arbusculares na revegetação de áreas degradadas. In: SIQUEIRA, J. O. **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas.** Lavras, 1996. p. 255-290.

SWAINE, M. D.; HALL, J. B. Early succession on cleared forest land in Ghana. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 71, n. 2, p. 601-627, 1983.

TAYLOR, T. N.; REMY, W.; HASS, H.; KERP, H. Fossil arbuscular mycorrhizae from early Devonian. **Mycologia**, Bronx, v. 87, n. 4, p. 560-573, July/Aug. 1995.

TEIXEIRA, M. C. B.; NUNES, Y. R. F.; MAIA, K. M. P.; RIBEIRO, R. N. Influência da luz na germinação de sementes de candeia (*V. erythropappa* Schult. Bip.). In: ERBOT – SBB, 18., 1996, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: PUC, 1996. p. 20.

TEIXEIRA, W. A.; LEMOS FILHO, J. P. Metais pesados em folhas de espécies lenhosas colonizadoras de uma área de mineração de ferro em Itabirito, Minas Gerais. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 381-387, jul./set. 1998.

TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *Journal of Ecology*, Oxford, v. 63, n. 3, p. 995-1101, 1975.

THOMSON, B. D.; ROBSON, A. D.; ABBOTT, L. K. Soil mediated effects of phosphorus supply on formation of mycorrhizas by *Scutellispora calospora* (Nicol e Gerd.) Walker e Sanders on subterranean clover. *New Phytologist*, Cambridge, v. 118, n. 3, p. 463-469, July 1991.

TRAPPE, J. M. Phylogenetic and ecologic aspects of mycotrophy in the Angiosperms from na evolutionary standpoint. In: SAFIR, G. R. *Ecophysiology of V A mycorrhizal plants*. Boca Raton, 1987. p. 5-25.

VASCONCELOS, F. C. W. *Desenvolvimento de tecnologia para a recomposição vegetal, com espécies nativas, nas pilhas de rejeito/estéril, geradas pela mineração de pedra São Tomé, no município de São Tomé das Letras, Minas Gerais*. 2001. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

WHITMORE, T. C. Canopy gaps and two major groups of forest trees. *Ecology*, Washington, v. 70, n. 3, p. 536-538, June 1989.

WRIGHT, J. *Mejoramiento genetico de los arboles forestales*. Roma: FAO, 1964. 436 p.

ZAMBOLIM, L. Tolerância de plantas micorrizadas a fitonematóides. In: REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 2., 1987, São Paulo. Resumos... São Paulo: USP, 1987. p. 103-125.

ZAMBOLIM, L.; SIQUEIRA, J. O. *Importância e potencial das associações micorrízicas para a agricultura*. Belo Horizonte: EPAMIG, 1985. 36 p. (Série Documentos, 26).



## CAPÍTULO 2

### VARIABILIDADE EM *Eremanthus erythropappus* PARA A RESPOSTA À INOCULAÇÃO MICORRÍZICA

#### 1 RESUMO

SILVA, Ana Carolina. Variabilidade em *Eremanthus erythropappus* para a resposta à inoculação micorrízica. 2003. 26 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.\*

Este estudo teve como objetivo avaliar a variação entre e dentro de duas procedências de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para a resposta à inoculação com fungos micorrízicos. Foram coletadas sementes de polinização livre em seis matrizes localizadas em duas procedências do sul do estado de Minas Gerais (três de São Tomé das Letras e três de Carrancas). Dessas, foram produzidas mudas que foram arranjadas em parcelas subdivididas com quatro blocos casualizados, onde as parcelas constituíram-se dos tratamentos com e sem inoculação micorrízica e a subparcela as progênies de meios-irmãos. Do primeiro ao oitavo mês após a repicagem para tubetes foram coletados os dados de altura, diâmetro e taxa de sobrevivência das mudas no viveiro. Na análise de variância para avaliação de procedências, verificou-se que as variações foram significativas somente para a característica altura entre as procedências, os tratamentos de inoculação e a interação procedência inoculação. Na análise de variância para variação de progênies, verificou-se que não há diferenças significativas entre progênies para nenhuma característica avaliada e que há diferença para o tratamento de inoculação somente para a característica altura.

Palavras-chave: micorriza, *Eremanthus erythropappus*, candeia, variação genética.

---

\* Comitê orientador: Sebastião Carlos da Silva Rosado – UFLA (Orientador), Dulcinéia de Carvalho – UFLA (Co-orientadora).

## 2 ABSTRACT

SILVA, Ana Carolina. *Variability in Eremanthus erythropappus for an answer in mycorrhizal inoculation*. 2003. 26 p. Dissertation (Master Program in Forestalls Engineering) – Federal University of Lavras, Lavras, MG\*

This study had an objective to estimate the variations between and within the two origins of candeia (*Eremanthus erythropappus*) for an answer to inoculation with mycorrhizal fungi. Open-pollinated seeds were collected from six plus trees of two distinct populations: São Tomé das Letras and Carrancas, Minas Gerais state, Brasil. The seedlings produced from that were arranged in split plot in four randomized block, where the split were constituted of treatments with or without mycorrhizal inoculation and the plot the genotype. From the first to the eight months after repackage seedlings into containers the height data, diameter and survival rate of seedlings in the nursery were collected. The analysis of variance showed significant variations in eight month old seedlings for the following characteristics: height between the two origins, inoculation treatments, and for the interaction between origins and inoculation treatments. It was verified that there are no significant differences among progenies when considering the evaluated characteristic. The difference for inoculation treatment was verified only for height measurements.

**Key words:** mycorrhiza, *Eremanthus erythropappus*, candeia, genetic variation.

---

\* Adviser Committee: Sebastião Carlos da Silva Rosado – UFLA (Adviser), Dulcinéia de Carvalho – UFLA (Co-Adviser).

### 3 INTRODUÇÃO

As estratégias mais promissoras para recuperar áreas degradadas incluem os programas de melhoramento genético, por meio da seleção de genótipos mais adaptados a condições de estresses ambientais e à utilização da inoculação com fungos micorrízicos. Esses microorganismos são capazes de amenizar o impacto de fatores estressantes no crescimento e desenvolvimento vegetal (Marx, 1991).

Os fungos micorrízicos agem no sentido de aumentar a absorção e transporte de água e nutrientes do solo para as raízes (Skinner & Bowen, 1974a, 1974b), assim como fornecer maior tolerância à acidez, à toxidez de metais pesados e a temperaturas elevadas do solo (Marx, 1991), aumentando também a resistência a doenças do sistema radicular (Kope et al., 1990).

Além desses benefícios, a existência de significativa variação intra-específica em várias espécies de plantas quanto à dependência micorrízica (Menge et al., 1978; Rajapakse & Miller, 1988) permite prever que o cultivo de materiais genéticos de plantas (procedências e progênies) que possuem alto grau de dependência micorrízica tem alta probabilidade de insucesso quando as condições ambientais se tornarem adversas, se as raízes não estiverem adequadamente colonizadas pelo parceiro fúngico.

Mesmo em espécies tolerantes às condições ambientais adversas, como é o caso da candeia, o alcance de níveis adequados de estabilidade fenotípica no crescimento em áreas degradadas pode depender da seleção de procedências e progênies mais adaptadas a essas condições e da inoculação de suas raízes com fungos micorrízicos que maximizem o seu potencial restaurador de sítios de baixa qualidade.

Assim, esse trabalho teve como objetivo: i) avaliar a variação entre e dentro de procedências de candeia (*Eremanthus erythropappus*) quanto à capacidade de crescimento e desenvolvimento inicial no viveiro; ii) verificar se há o desenvolvimento de associação com os fungos micorrízicos arbusculares e iii) avaliar a possibilidade de selecionar genótipos de candeia com melhor resposta para os benefícios da simbiose.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Material genético

Para esse estudo, foram utilizados materiais genéticos constituídos por seis progênies de meios-irmãos de polinização livre coletados em duas populações naturais de candeia (procedências) localizadas nos municípios de São Tomé das Letras (latitude 21,722, longitude 44,985 e altitude 1300 m) e Carrancas (latitude 21,488, longitude 44,643 e altitude 1000 m), no sul de Minas Gerais. Em cada população foram coletadas sementes de três matrizes distanciadas entre si pelo menos 100 metros.

### 4.2 Produção de mudas

As sementes foram semeadas a lanço em sementeiras (Figura 2) constituídas por uma mistura de 70 litros de esterco de curral peneirado, 70 litros de palha de arroz carbonizada e 200 litros de terra de barranco peneirada.

As mudas identificadas por procedência e progênie foram repicadas para tubetes de polietileno rígido escuro de 250cm<sup>3</sup> (Figura 3). O substrato dos tubetes foi esterilizado com brometo de metila e receberam as seguintes misturas: 200 litros de esterco de curral peneirado, 100 litros de vermiculita, 150 litros de casca de arroz carbonizada, 50 litros de terra de barranco peneirada, 250g de sulfato de amônia, 100g de cloreto de potássio, 100g de adubo com a formulação contendo os micronutrientes Zn 9%, B 1,8%, Cu 0,8%, Fe 3%, Mn 2% e Mo 0,1% e 1 kg de adubo com a formulação contendo os nutrientes Ca 20%, B 0,1%, Mn 0,12%, Mo 0,006%, Mg 7%, Zn 0,55%, Cu 0,5% e S 6%.



FIGURA 2. Sementeira de mudas de candeia (*Eremanthus erythropappus*).

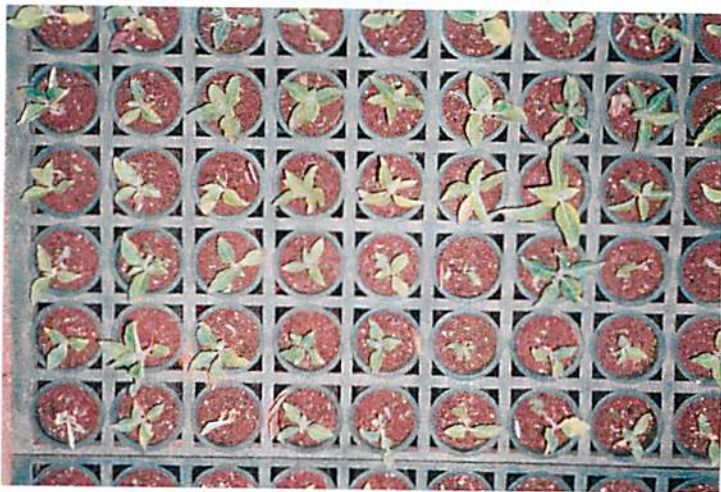


FIGURA 3. Mudas de candeia (*Eremanthus erythropappus*) repicadas para tubetes.

Metade das mudas repicadas foi inoculada com uma mistura de FMAs na seguinte proporção: *Glomus etunicatum* 70%, *Glomus occultum* 25%, *Acaulospora scrubiculata* 5%, e a outra metade recebeu o filtrado, conforme recomendação pessoal de J. O. Siqueira.

### 4.3 Análise estatística

Do primeiro ao oitavo mês após a repicagem em tubetes avaliaram-se a altura das plantas, com o auxílio de uma régua graduada em centímetros e o diâmetro do caule a altura do solo, medido com o auxílio de um paquímetro, que realizou suas leituras em milímetros.

O arranjo experimental foi em parcelas subdivididas com quatro blocos e oito plantas por parcela. Na primeira análise realizada (análise 1), a parcela foi constituída pelos tratamentos com e sem inoculação com fungos micorrízicos e a subparcela pelas duas procedências (São Tomé das Letras e Carrancas). Na segunda análise (análise 2), a parcela foi novamente constituída pelos tratamentos com e sem inoculação com fungos micorrízicos e a subparcela foi substituída pelas seis progênies. Os dados foram submetidos à análise de variância seguindo o procedimento de parcela subdividida, que foi realizado pelo Programa GENES – Genética Quantitativa e Estatística Experimental V.5 (Cruz, 2001), em que o modelo biométrico utilizado foi:

$$Y_{ijk} = \mu + B_k + P_i + \epsilon_{ik} + S_j + PS_{ij} + \delta_{ijk}.$$

Sendo:  $Y_{ijk}$ : valor médio observado na  $i^{\text{ésima}}$  inoculação do  $j^{\text{ésimo}}$  material genético (procedência ou progênie) no  $k^{\text{ésimo}}$  bloco;  $\mu$ : média geral observada;  $B_k$ : efeito do  $k^{\text{ésimo}}$  bloco;  $P_i$ : efeito da  $i^{\text{ésima}}$  inoculação (parcela com efeito fixo);  $\epsilon_{ij}$ : erro aleatório a;  $S_j$ : efeito do  $j^{\text{ésimo}}$  material genético (subparcela com efeito

fixo na primeira análise, das procedências e aleatório na segunda análise, das progênies);  $PS_{ij}$ : efeito da interação inoculação x material genético;  $\delta_{ijk}$ : erro aleatório b.

As esperanças dos quadrados médios dessas análises encontram-se nas Tabelas 1 e 2.

TABELA 1. Esquema da análise de variância das procedências e estimativa das esperanças dos quadrados médios para os parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais.

Fonte de variação	QM	E(QM)	F
Blocos	QMB	$\hat{\sigma}_{cb}^2 + s\hat{\sigma}_{ca}^2 + ps\hat{\sigma}_b^2$	-
Parcela	QMP	$\hat{\sigma}_{cb}^2 + s\hat{\sigma}_{ca}^2 + r\hat{\phi}_p$	QMP/QMEa
Erro a	QMEa	$\hat{\sigma}_{cb}^2 + s\hat{\sigma}_{ca}^2$	-
Subparcela	QMS	$\hat{\sigma}_{cb}^2 + r\hat{\phi}_s$	QMS/QMEb
P x S	QMPS	$\hat{\sigma}_{cb}^2 + r\hat{\phi}_{ps}$	QMPS/QMEb
Erro b	QMEb	$\hat{\sigma}_{cb}^2$	-

$\hat{\sigma}_b^2$ : variância entre blocos;  $\hat{\sigma}_{ca}^2$ : variância do erro a;  $\hat{\sigma}_{cb}^2$ : variância do erro b;  $\hat{\phi}_p$ : componente quadrático da parcela;  $\hat{\phi}_s$ : componente quadrático da subparcela;  $\hat{\phi}_{ps}$ : componente quadrático da interação parcela subparcela; p, s e r referem-se, respectivamente, ao número de tratamentos (com e sem inoculação), materiais genéticos (duas procedências) e repetições.



TABELA 2. Esquema da análise de variância das progênies e estimativa das esperanças dos quadrados médios para os parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais.

Fonte de variação	QM	E(QM)	F
Blocos	QMB	$\hat{\sigma}_{cb}^2 + s\hat{\sigma}_{ca}^2 + ps\hat{\sigma}_b^2$	-
Parcela	QMP	$\hat{\sigma}_{cb}^2 + s\hat{\sigma}_{ca}^2 + r\frac{p}{p-1}\hat{\sigma}_{ps}^2 + rs\hat{\phi}_p$	(QMP+QMEb) / (QMPS+QMEa)
Erro a	QMEa	$\hat{\sigma}_{cb}^2 + s\hat{\sigma}_{ca}^2$	-
Subparcela	QMS	$\hat{\sigma}_{cb}^2 + rp\hat{\sigma}_s^2$	QMS/QMEb
P x S	QMPS	$\hat{\sigma}_{cb}^2 + r\frac{p}{p-1}\hat{\sigma}_{ps}^2$	QMPS/QMEb
Erro b	QMEb	$\hat{\sigma}_{cb}^2$	-

$\hat{\sigma}_b^2$ : variância entre blocos;  $\hat{\sigma}_s^2$ : variância da subparcela;  $\hat{\sigma}_{ps}^2$ : variância da interação parcela subparcela;  $\hat{\sigma}_{ca}^2$ : variância do erro a;  $\hat{\sigma}_{cb}^2$ : variância do erro b;  $\hat{\phi}_p$ : componente quadrático da parcela; **p**, **s** e **r** referem-se, respectivamente, ao número de tratamentos (com e sem inoculação), materiais genéticos (seis progênies) e repetições.

Para as estimativas dos componentes de variância e quadrático foram utilizadas as seguintes expressões descritas por Cruz (2001):

- componentes quadráticos da parcela:  $\hat{\phi}_p = \frac{QMP - QME_a}{rs}$ , para a primeira análise e  $\hat{\phi}_p = \frac{QMP - QME_b - QME_a - QMPS}{rs}$ , para a segunda análise;

- componentes quadrático e de variância da subparcela:

$$\hat{\phi}_s = \frac{QMS - QME_b}{rp}, \text{ para a primeira análise e } \hat{\sigma}_s^2 = \frac{QMS - QME_b}{rp}, \text{ para}$$

a segunda análise;

- componentes quadrático e de variância da interação parcela x subparcela:

$$\hat{\phi}_{ps} = \frac{QMPS - QME_b}{r}, \text{ para a primeira análise e}$$

$$\hat{\sigma}_{ps}^2 = \frac{(QMPS - QME_b) p - 1}{r p}, \text{ para a segunda análise.}$$

A fórmula usada para calcular a dependência micorrízica, segundo Menge et al. (1978) e Siqueira & Franco (1988), foi:

$$DM = \frac{\text{mudas inoculadas} - \text{mudas não inoculadas}}{\text{mudas não inoculadas}} \times 100$$

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Variações entre as procedências

Os resultados obtidos pela análise de variância entre as procedências de São Tomé das Letras e Carrancas (análise 1), realizada no oitavo mês após a repicagem das mudas para tubetes, são apresentados na Tabela 3. Nesta, verifica-se que houve variação significativa entre procedências ( $P < 0,05$ ) somente para a característica altura das mudas, indicando que essa característica pode ser usada em programas de seleção de procedências de candeia.

Para os tratamentos com e sem inoculação com FMAs e para a interação entre procedências e inoculação, também houve variações significativas ( $P < 0,01$ ) somente para a característica altura, mostrando que a micorrização tem efeito sobre essa característica. Além disso, a interação significativa entre procedência e inoculação indica que uma das procedências responde melhor à inoculação. Neste caso, foi a procedência de Carrancas.

As outras duas características analisadas, diâmetro medido à altura do colo e taxa de sobrevivência das mudas, não sofreram efeitos significativos de procedências, de inoculação e de interação de procedência por inoculação.

TABELA 3. Resumo das análises de variância conduzidas para as procedências (Pc) de *Eremanthus erythropappus* de São Tomé das Letras (STL) e de Carrancas (CAR), para as características diâmetro medido à altura do colo, altura e taxa de sobrevivência das mudas, aos oito meses após a repicagem.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios		
		Diâmetro	Altura	Sobrevivência
Blocos	3	0,0558	0,8489	36,0383
Inoculação	1	0,0625 <sup>NS</sup>	4,1006 <sup>**</sup>	720,9225 <sup>NS</sup>
Erro a	3	0,0158	0,4106	142,3175
Procedências (Pc)	1	0,0025 <sup>NS</sup>	4,7306 <sup>*</sup>	205,9225 <sup>NS</sup>
Pc x Inoculação	1	0,0025 <sup>NS</sup>	1,1556 <sup>*</sup>	15,21 <sup>NS</sup>
Erro b	6	0,0092	0,1681	79,5379

Ns. Não significativo pelo teste de F ( $p > 0,05$ ). \*\* e \*, significativo pelo teste de F ( $p < 0,01$ ) e ( $p < 0,05$ ), respectivamente.

Na Figura 4 estão representadas as médias dos diâmetros medidos à altura do colo (mm) e alturas total das mudas (cm) das procedências de São Tomé das Letras e de Carrancas, avaliadas aos oito meses após a repicagem das mudas para tubetes, para os tratamentos com e sem inoculação.

As características diâmetro e altura mostraram valores superiores para os tratamentos com inoculação (Figura 4) nas duas procedências estudadas (São Tomé das Letras e Carrancas). Porém, a significância estatística somente foi verificada para a altura das mudas.

A procedência de Carrancas mostrou uma resposta à inoculação bastante superior à procedência de São Tomé das Letras. O incremento na altura da procedência de Carrancas foi da ordem de 1,6cm, enquanto que na procedência de São Tomé das Letras foi de apenas 0,5cm.

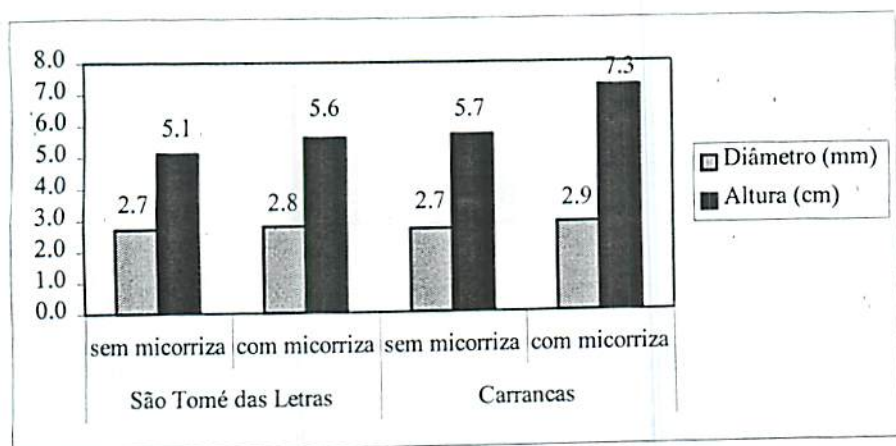


FIGURA 4. Valores médios dos diâmetros medidos à altura do colo e das alturas das mudas de candeia das procedências de *Eremanthus erythropappus* de São Tomé das Letras e de Carrancas, com e sem inoculação, avaliadas aos oito meses após a repicagem.

A partir dessas diferenças entre procedências estimou-se a dependência micorrízica para a característica altura (Figura 5). Observa-se que a dependência micorrízica possui valor bastante superior para a procedência de Carrancas (28,1%) em relação à procedência de São Tomé das Letras (9,8%). Isso revela que, em condições de campo, a procedência Carrancas deve ser inoculada para atingir seu máximo crescimento ou produção, enquanto que a procedência São Tomé das Letras, por possuir baixa dependência micorrízica, pode apresentar uma relação custo/benefício que inviabilize a inoculação.

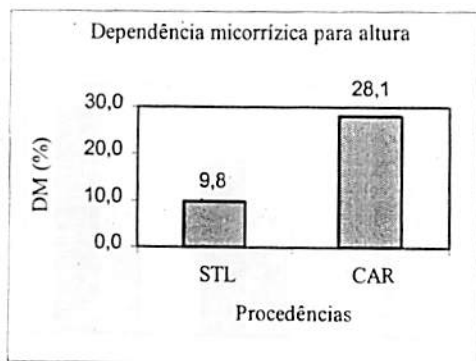


FIGURA 5. Dependência micorrízica (DM%) para a característica altura, entre as procedências de *Eremanthus erythropappus* de São Tomé das Letras (STL) e Carrancas (CAR), medida aos oito meses após a repicagem.

Apesar da análise de variância (Tabela 3) não mostrar variações significativas dos efeitos da inoculação na taxa de sobrevivência das mudas, necessita ser comentado, conforme apresentado na Figura 6, que algum benefício na taxa de sobrevivência foi alcançado com o uso da inoculação. Nota-se que a sobrevivência das mudas de São Tomé das Letras e de Carrancas foi aumentada, quando inoculadas em 15,4% e 11,5%, respectivamente. Esses aumentos poderão ser ainda mais expressivos em condições de áreas degradadas, onde os estresses ambientais são mais intensos.

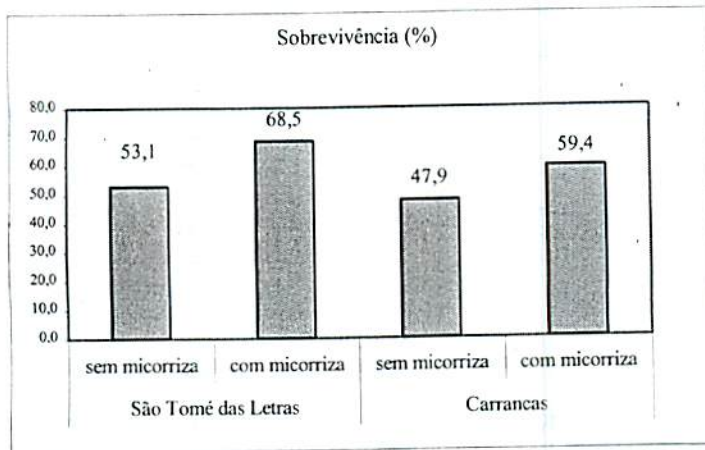


FIGURA 6. Distribuição das médias da taxa de sobrevivência (%) das procedências de *Eremanthus erythropappus* de São Tomé das Letras e de Carrancas, com e sem inoculação com micorriza, medidas aos oito meses após a repicagem.

A Figura 7 evidencia a evolução do crescimento em altura das procedências de São Tomé das Letras e de Carrancas, do primeiro ao oitavo mês após a repicagem das mudas para os tubetes. Verifica-se que as mudas inoculadas sempre foram maiores que as não inoculadas, assim como as mudas da procedência de Carrancas comparadas com as de São Tomé das Letras.

Pode-se perceber pelo gráfico da Figura 7 que as mudas da procedência de Carrancas apresentaram um incremento maior em altura, quando inoculadas, que as mudas da procedência de São Tomé das Letras. Confirmando-se, assim, a maior dependência micorrízica das mudas dentro da procedência de Carrancas, mostrada pela Figura 5.

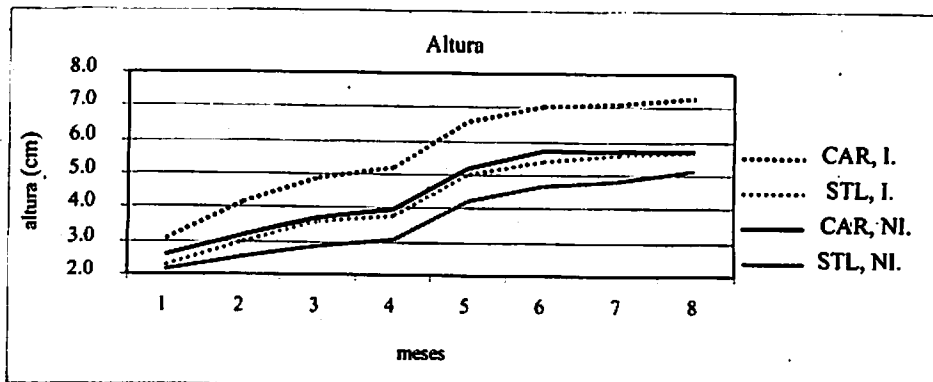


FIGURA 7. Distribuição das médias dos crescimentos em altura das procedências de *Eremanthus erythropappus* de São Tomé das Letras (STL) e de Carrancas (CAR), inoculadas (I) e não inoculadas (NI), medidas do primeiro ao oitavo mês após a repicagem.

O gráfico da Figura 8 mostra a evolução da taxa de sobrevivência das mudas das procedências de São Tomé das Letras e de Carrancas, inoculadas e não inoculadas com FMAs, medidas do primeiro ao oitavo mês após a repicagem das mudas para tubetes. A partir do terceiro mês houve um forte aumento da mortalidade das mudas, que ocorreu devido à contaminação do experimento pelo fungo *Fusarium sp.*, cuja identificação foi realizada pela Clínica Epidemiológica do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras. Essa mortalidade foi mais severa nas mudas não inoculadas, indicando o benefício da micorrização na redução dos efeitos de fungos patogênicos. Na literatura, esse tipo de benefício foi registrado por Zambolim (1987), Kope et al. (1990) e Brundrett (1991).



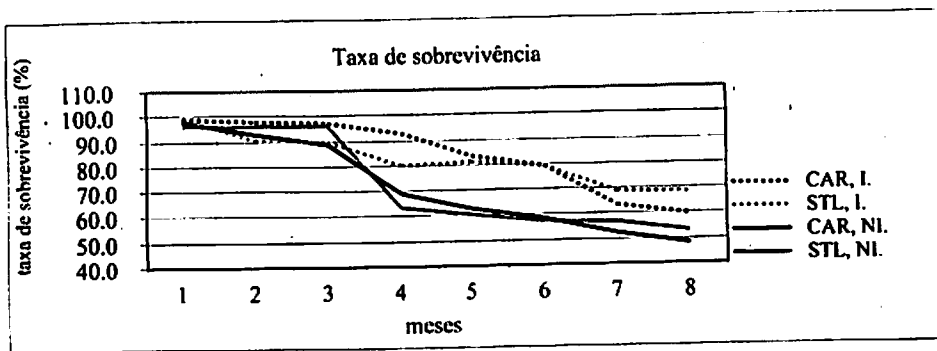


FIGURA 8. Distribuição das médias da taxa de sobrevivência das procedências de *Eremanthus erythropappus* de São Tomé das Letras (STL) e de Carrancas (CAR), inoculadas (I) e não inoculadas (NI), medidas do primeiro ao oitavo mês após a repicagem.

## 5.2 Variações entre as progênes

Os resultados da análise de variância no estudo de progênes (análise 2) encontram-se na Tabela 4. Verifica-se que para todas as características avaliadas não houve variações significativas entre progênes e para a interação progênie inoculação ( $P > 0,05$ ). Isso indica que a seleção de progênes de candeia, aos oito meses após a repicagem das mudas para tubetes, não é viável para nenhuma das características avaliadas.

O efeito de inoculação foi significativo somente para a altura das mudas, mostrando a inoculação necessária para o seu maior crescimento.

Apesar da análise de variância (Tabela 4) não mostrar variações significativas dos efeitos da inoculação na taxa de sobrevivência das mudas, nota-se que benefício na taxa de sobrevivência foi alcançado com o uso da inoculação.

TABELA 4. Resumo das análises de variância conduzidas para todas as progênies (P) de *Eremanthus erythropappus* para as características diâmetro, altura e taxa de sobrevivência das mudas, no oitavo mês após a repicagem.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios		
		Diâmetro	Altura	Sobrevivência
Blocos	3	0,3774	2,6455	142,1441
Inoculação	1	0,0052 <sup>NS</sup>	6,3075*	1435,5469 <sup>NS</sup>
Erro a	3	0,2630	0,5986	584,8524
Progênies (P)	5	0,2929 <sup>NS</sup>	10,0878 <sup>NS</sup>	284,5052 <sup>NS</sup>
P x Inoculação	5	0,1502 <sup>NS</sup>	2,157 <sup>NS</sup>	404,2969 <sup>NS</sup>
Erro b	33	0,1989	1,4781	347,8733

Ns. Não significativo pelo teste de F ( $p > 0,05$ ). \* significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

Na Tabela 5 são mostrados os valores médios do diâmetro medido à altura do colo (mm), altura todas das mudas (cm) e taxa de sobrevivência das mudas (%) das seis progênies estudadas, inoculadas e não inoculadas, medidas no oitavo mês após a repicagem. As mudas das progênies dentro da procedência de Carrancas obtiveram maiores valores de diâmetro quando inoculadas e as mudas das progênies dentro da procedência de São Tomé das Letras mostraram-se indiferentes quanto à inoculação.

Verifica-se que todas as progênies, particularmente a 2 de Carrancas, obtiveram maior média quando inoculadas. Em geral, percebe-se um maior ganho em altura na inoculação das mudas das progênies dentro da procedência de Carrancas.

TABELA 5. Valores médios do diâmetro, altura e taxa de sobrevivência das progênies de número 1, 2 e 3, dentro das procedências de *Eremanthus erythropappus* de São Tomé das Letras (STL) e de Carrancas (CAR), inoculadas (IN) e não inoculadas (NI), medidas aos oito meses após a repicagem.

		Características					
		Diâmetro (mm)		Altura (cm)		Sobrevivência (%)	
Procedências	Progênies	I	NI	I	NI	I	NI
STL	1	2,8	2,8	5,0	4,7	75,0	56,3
	2	2,8	2,6	5,5	4,7	62,5	62,5
	3	2,8	2,8	6,3	6,1	68,8	40,6
CAR	1	2,8	2,6	6,2	5,2	65,6	46,9
	2	2,8	2,5	8,5	6,3	50,0	43,8
	3	3,0	2,8	7,2	5,7	59,4	53,1

Foram calculados os graus de dependência micorrízica da característica altura total para as mudas das progênies dentro das procedências de Carrancas e da procedência de São Tomé das Letras (Figura 9), pois essa característica mostrou diferenças significativas na análise de variância realizada entre os tratamentos com e sem inoculação com micorriza (Tabela 4), indicando a sua dependência à inoculação por fungos micorrízicos.

Observa-se, pela Figura 9, que as mudas das progênies dentro da procedência de São Tomé das Letras possuem baixos valores de dependência micorrízica, enquanto que as mudas das progênies dentro da procedência de Carrancas mostram altos valores. Esses resultados indicam ganhos consideráveis em altura nessas progênies quando inoculadas.

Houve maior dependência micorrízica na progênie 2 de Carrancas, que obteve dependência de 34,2%. Esse alto valor foi seguido pelas progênies de

número 3 de Carrancas (26,0%) e pela progênie 1, também de Carrancas (18,5%).

Em contraste, as progênies dentro da procedência de São Tomé das Letras mostraram baixos valores de dependência micorrízica, como a progênie de número 3, que mostrou valor de apenas 3,2%, indicando que não há ganhos consideráveis em altura quando esta é inoculada. Portanto, devido à baixa relação custo/benefício, não se recomenda sua inoculação com fungos micorrízicos. As outras progênies dentro da procedência de São Tomé das Letras também apresentaram baixos valores de dependência micorrízica, como a progênie de número 1, que apresentou valor de 5,2% e a progênie de número 2, que apresentou valor de 15,8% de dependência micorrízica.

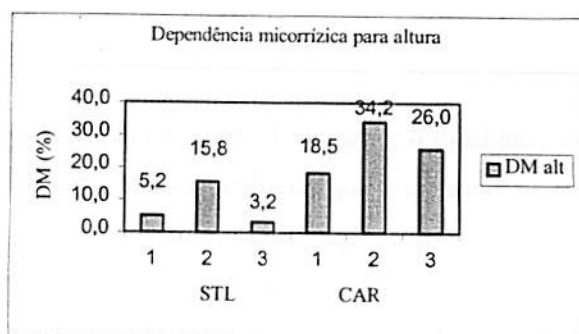


FIGURA 9. Dependência micorrízica (DM%) para a característica altura, para as progênies 1, 2 e 3, dentro das procedências de *Eremanthus erythropappus* de São Tomé das Letras (STL) e de Carrancas (CAR), medida aos oito meses após a repicagem.

A Figura 10 mostra a média do crescimento em altura de todas as progênies medidas do primeiro ao oitavo mês após a repicagem das mudas para os tubetes. Pode-se perceber que as mudas inoculadas obtiveram um maior crescimento em altura do que as mudas não inoculadas. Essa diferença entre os tratamentos com e sem inoculação é confirmada pela análise de variância

realizada no oitavo mês após a repicagem (Tabela 4), que mostra diferenças significativas para a característica altura.

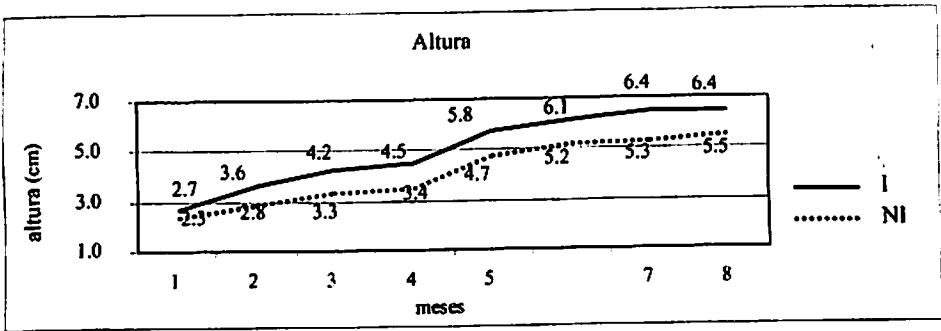


FIGURA 10. Distribuição das médias do crescimento em altura de todas as progênies de *Eremanthus erythropappus*, inoculadas (I) e não inoculadas (NI), medidas do primeiro ao oitavo mês após a repicagem.

As médias da diminuição das taxas de sobrevivência de todas as progênies, avaliadas do primeiro ao oitavo mês após a repicagem das mudas para os tubetes, estão no gráfico da Figura 11. A partir do terceiro mês após a repicagem, as mudas obtiveram alta taxa de mortalidade, restando apenas, no oitavo mês, 63,5% das mudas inoculadas e 50,5% das mudas não inoculadas. Essa alta mortalidade ocorreu devido à contaminação das mudas do experimento pelo fungo *Fusarium sp.* As mudas mais resistentes à mortalidade foram as inoculadas. No entanto, a análise de variância (Tabela 4) não mostrou diferenças significativas no tratamento de inoculação para as progênies estudadas, provavelmente devido à pouca diferença na taxa de sobrevivência das mudas inoculadas e não inoculadas no oitavo mês.

Essas diferenças nas taxas de sobrevivência, que se iniciou a partir do terceiro mês após a repicagem, quando começaram as contaminações pelo fungo, foram maiores no quarto, quinto e sexto meses, devido à maior

resistência das mudas inoculadas. Portanto, a inoculação é eficiente para tornar as mudas mais resistentes a fungos patogênicos.

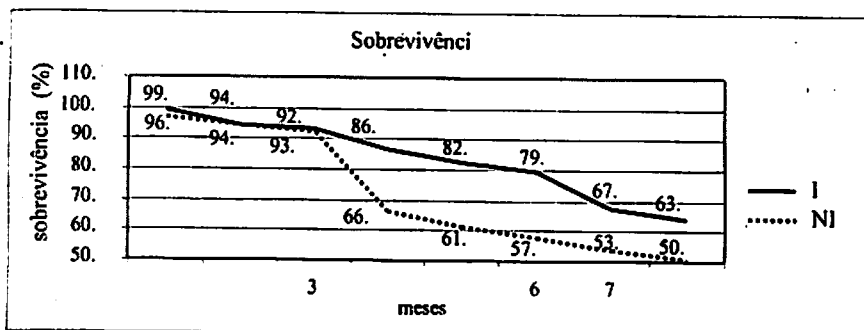


FIGURA 11. Distribuição das médias da taxa de sobrevivência de todas as progênes de *Eremanthus erythropappus*, inoculadas (I) e não inoculadas (NI), medidas do primeiro ao oitavo mês após repicagem.

Na Figura 12 estão representadas mudas inoculadas e mudas não inoculadas, mostrando o incremento em altura das mudas quando inoculadas. Esse maior incremento nas mudas inoculadas mostrou variações significativas tanto na análise 1, entre as procedências, quanto na análise 2, entre as progênes, sendo, portanto, necessária a inoculação quando se deseja maior crescimento em altura das mudas.

Vasconcelos et al. (2001), estudando o crescimento da candeia (*Eremanthus erythropappus*) em rejeitos de mineração da pedra São Tomé com ou sem adubação e com mudas inoculadas ou não inoculadas com fungos micorrízicos, concluiu que há a necessidade de adubação e de inoculação das mudas, pois essas apresentaram maior crescimento em altura e maior produção de biomassa quando adubadas e inoculadas.



FIGURA 12. Mudas de *Eremanthus erythropappus* inoculadas e não inoculadas com fungos micorrízicos.



## 6 CONCLUSÕES

Na candeia a altura de plantas pode ser melhorada geneticamente quando a seleção é realizada entre procedências; entre progênies não, há a possibilidade de melhoramento no estágio de crescimento inicial no viveiro.

A inoculação é um importante fator quando se deseja aumentar o crescimento de mudas de candeia, além de ser eficiente para tornar as mudas mais resistentes a fungos patogênicos.

É possível selecionar as procedências mais responsivas à inoculação micorrízica para a característica altura.



## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRUDRETT, M. Mycorrhizas in natural ecosystems. *Advances in Ecological Research*, New York, v. 21, p. 171-313, 1991.
- CRUZ, C.D. *Programa Genes: Versão Windows*. Viçosa: UFV, 2001. 648 p.
- KOPE, H. H.; TSANTRIZOS, Y. S. C; FORTIN, J. A.; OGILVIE, K. K. p-hydroxybenzoylformic and (R)-(-)-p-hydroxymandelic acid, two antifungal compounds isolated from liquid culture of the ectomycorrhizal fungus *Pisolithus arhizus*. *Canadian Journal of Microbiology*, Ottawa, v. 37, n. 4, p. 258-264, Apr. 1990.
- MARX, D. H. *Forest application of the ectomycorrhizal fungus Pisolithus tinctorius*. Stockholm: The Marcus Wallenberg Prize, 1991.
- MENGE, J. A.; JOHNSON, E. L. V.; PLATT, R. G. Mycorrhizal dependency of several citrus cultivars under three nutrient regimes. *New Phytologist*, London, v. 81, n. 3, p. 553-558, 1978.
- RAJAPAKSE, S.; MILLER, JR. J. C. Relationship between cowpea root systems and mycorrhizal dependency. *Hort Science*, Alexandria, v. 23, n. 3, p. 568-570, June 1988.
- SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. *Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas*. Lavras: MEC/ESAL/FAEPE/ABEAS, 1988. 235 p.
- SKINNER, M. F.; BOEN, J. A. The penetration of soil by mycelial strands of ectomycorrhizal fungi. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 6, n. 1, p. 437-457, 1974a.
- SKINNER, M. F.; BOEN, J. A. The uptake and translocation of phosphate by mycelial strands of pine mycorrhizas. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 6, n. 1, p. 53-56, 1974b.
- VASCONCELOS, F. C. W.; SCOTTI, M. R.; PINTO, C. L. L. Recomposição vegetal em pilhas de quartzito sericítico, São Tomé das Letras (MG). *Semearh - Revista de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos*, Belo Horizonte, v. 2, n. 3, p. 7-9, set. 2001.

ZAMBOLIM, L. Tolerância de plantas micorrizadas a fitonematóides. In: REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 2., 1987, São Paulo. Resumos... São Paulo: USP, 1987. p. 103-125.

## CAPÍTULO 3

### VARIAÇÕES GENÉTICAS NA QUALIDADE DO SISTEMA RADICULAR DE MUDAS DE CANDEIA (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish)

#### 1 RESUMO

SILVA, Ana Carolina. **Variações genéticas na qualidade do sistema radicular de mudas de candeia.** 2003. 31 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG\*

Com o objetivo de estimar os parâmetros genéticos relativos às qualidades do sistema radicular de candeia, foram utilizadas mudas provenientes de sementes colhidas em 24 progênies de polinização livre no Parque Estadual Quedas do Rio Bonito. Dois meses após a germinação, as imagens das raízes de nove mudas de cada progênie distribuídas em três classes de tamanho (grande, maiores mudas dentro de cada progênie, médio, mudas médias dentro da progênie e pequeno, mudas em torno de 5cm) foram obtidas por scanner óptico. Posteriormente, as mesmas raízes foram coradas com corante azul de astra a 0,1%, durante 15 minutos e novamente analisadas. As leituras feitas com a utilização ou não do corante mostraram diferenças significativas entre si, sendo necessário o seu uso. Na análise de variância houve diferenças significativas entre as progênies e entre os tamanhos analisados para as características: comprimento total de raízes, área da superfície, diâmetro médio e número de raízes finas. Os ganhos genéticos esperados com a seleção mostraram que essas características devem ser estudadas nas mudas grandes, pois apresentam os maiores ganhos esperados.

Palavras-chave: sistema radicular, scanner óptico, qualidade morfológica, candeia, *Eremanthus erythropappus*.

---

\* Comitê orientador: Sebastião Carlos da Silva Rosado – UFLA (Orientador), Dulcinéia de Carvalho – UFLA (Co-orientadora).

## 2 ABSTRACT

SILVA, Ana Carolina. Genetic variations in quality of root system of candeia seedlings (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish). 2003. 31 p. Dissertation (Master Program in Forestalls Engineering) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.\*

The seedlings originated from seeds collected from 24 open-pollinated progenies were used in the state park of Quedas do Rio Bonito in order to estimate the genetic parameters concerning the quality of the candeia root system. Two months after germination, the images of new seedling roots of each progeny distributed in three size classes (big, medium and small) were obtained using an optic scanner. Subsequently, the same roots, stained with 0,1% blue astra color during 15 minutes, were analyzed again. The readings showed significant differences between colored and no colored root samples demonstrating the necessity of staining the roots prior to the analysis. The analysis of variance also showed significant differences among progenies and size classes, which were analyzed for the following characteristics: the total root length, the surface area, the average diameter and the number of fine roots. The genetic gain expected with selection showed that these characteristics might be studied in grown seedlings because it presents the larger expected gain.

Key words: root system, optic scanner, morphologic quality, candeia, *Eremanthus erythropappus*.

---

\* Adviser Committee: Sebastião Carlos da Silva Rosado – UFLA (Adviser), Dulcinéia de Carvalho – UFLA (Co-Adviser).

### 3 INTRODUÇÃO

Quando se trata da revegetação de áreas degradadas é importante que a espécie escolhida possua um crescimento vegetativo acelerado, pois o sucesso da recuperação está diretamente relacionado a um rápido recobrimento do solo (Rosado, 2002). Para isso, nas condições de intensos estresses ambientais, como os que ocorrem em sítios degradados, o uso de mudas com sistema radicular de qualidade superior torna-se extremamente importante para melhorar o desempenho das suas funções de fixação e absorção de nutrientes e água.

De acordo com Bohm (1979), o comprimento radicular é um dos melhores parâmetros para se estimar a capacidade de absorção de água e nutrientes. A esta importante característica acrescenta-se a quantidade de raízes finas que permitem maximizar o fenômeno da absorção e a quantidade de raízes mais espessas, que realizam a função de estruturação da planta e condução entre o sistema radicular e a parte aérea (Mello, 1997).

Os macronutrientes N, P e K podem ser absorvidos por todas as partes do sistema radicular, porém, a maior parte do Ca é absorvido somente pelas raízes finas, responsáveis também pela maior absorção de água (Russel et al., 1981). Além disso, as raízes finas são estruturas radiculares onde, naturalmente, ocorrem as colonizações por fungos micorrízicos e, a partir do crescimento micelial, ocorre a melhoria do processo de transferência de nutrientes e água para a planta hospedeira, aumentando principalmente a absorção de fósforo (Sanni, 1976).

A distribuição das raízes no solo, envolvendo principalmente a sua quantidade e profundidade, além de depender de fatores ambientais, tais como tipo de solo, grau de compactação e de interações entre o ambiente e a planta

(Fante Júnior, 1997), também depende de características intrínsecas da planta, ou seja, do seu genótipo (Mello, 1997).

Assim, a caracterização da distribuição do sistema radicular e o conhecimento da variação genética de suas características que expressam a sua qualidade são fundamentais para a escolha dos melhores materiais genéticos, ou seja, aqueles mais adaptados às condições de estresses ambientais.

A candeia (*Eremanthus erythropappus*) é uma espécie indicada para a recuperação de áreas degradadas, pois ela ocorre naturalmente em solos pobres, arenosos e pedregosos (Rizzini, 1979). Porém, para a recuperação dessas áreas, com extrema escassez de nutrientes e água, pode haver a necessidade da seleção de genótipos de candeia que possuam um sistema radicular mais profundo, com maior quantidade de raízes, principalmente de raízes finas, que possam melhor nutrir a planta, promovendo assim uma maior capacidade de crescimento e desenvolvimento em sítios desfavoráveis.

Tradicionalmente, os estudos sobre o crescimento radicular são realizados utilizando métodos indiretos que avaliavam as características das raízes relacionadas à massa seca, ao comprimento de raiz, à sua área e ao volume de solo explorado por elas (Bohm, 1979). Esses métodos não permitem um conhecimento adequado do sistema radicular, como quantidade de raízes finas e diâmetro das raízes, importantes parâmetros para a determinação da qualidade do sistema radicular.

Recentemente, o uso de computadores e softwares específicos para análises de imagens, que podem ser obtidas por máquinas fotográficas digitais ou scanner óptico, tem melhorado as medições no sistema radicular, envolvendo maior quantidade de características avaliadas, exatidão dos dados obtidos e redução do tempo na obtenção desses dados (Costa et al., 2001; 2002).

Estudos dessa natureza, envolvendo raízes coradas ou não com azul de toluidina, foram realizados por Costa et al. (2000; 2001; 2002) em *Zea mays*,

*Hordeum vulgare*, *Avena sativa*, *Glycine max*, *Triticum aestivum* e *Fragaria x ananassa* e, também, em espécies arbóreas como a *Gleditsia triacanthos*, *Celtis occidentalis*, *Acer saccharinum*, *Acer platanoide* e *Fraxinus pennsylvanica*. Outro estudo, realizado por Rodrigues et al. (2003) em raízes de *Eucalyptus* sp., utilizou o corante azul de astra para obter uma melhor visualização dessas raízes pelo scanner óptico.

Esses avanços podem possibilitar a condução de estudos do sistema radicular de diferentes genótipos de plantas para permitir a realização de seleções com o objetivo de obter plantas mais adaptadas às condições de estresses ambientais.

Dessa forma, os objetivos desse estudo foram: i) avaliar a necessidade da utilização de corante nas raízes de candeia para aumentar a acurácia na obtenção dos seguintes dados de raízes: comprimento total (CT), área da superfície (AS), diâmetro médio (DM) e número de raízes finas (RF); ii) avaliar os componentes de variância fenotípica, genotípica, ambiental e herdabilidade em progênies de meios-irmãos de candeia para as características mencionadas; iii) avaliar a possibilidade de selecionar progênies de candeia com maior qualidade radicular para serem cultivadas em projetos de recuperação de áreas degradadas e iv) avaliar as correlações entre as características estudadas do sistema radicular.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais genéticos utilizados foram constituídos por mudas provenientes de sementes de polinização livre coletadas em 24 árvores matrizes distanciadas entre si em pelo menos 100 metros (Figura 13). Essas árvores encontram-se no Parque Florestal Quedas do Rio Bonito, localizado no município de Lavras, no estado de Minas Gerais. Lavras está localizada a 21°14'43" de latitude sul e 44°59'59" de longitude oeste do Meridiano de Greenwich, com altitude variando entre 822m a 1.259m. O tipo climático da região é o Cwa, segundo a classificação de Köppen, sendo a temperatura média de 19,4°C e a precipitação anual média de 1530mm. Lavras também está inserida no Planalto Sudeste, com relevo predominantemente ondulado. A vegetação natural da região faz parte do complexo do Cerrado e pode ser caracterizada como gramíneo-lenhosa.

As mudas de candeia foram produzidas no viveiro do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras (UFLA) em Minas Gerais. As sementes coletadas foram semeadas a lanço em sementeiras (Figura 14) com substrato constituído por uma mistura de 70 litros de esterco de curral peneirado, 70 litros de palha de arroz carbonizada e 200 litros de terra de barranco peneirada.



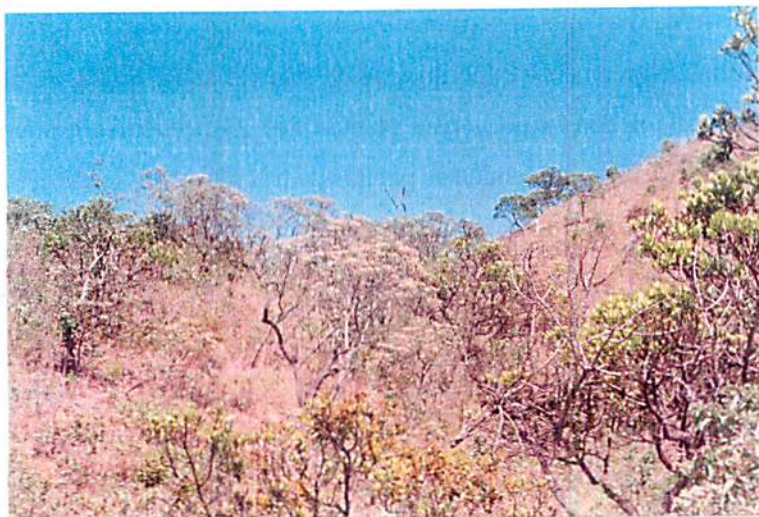


FIGURA 13. Matriz de candeia (*Eremanthus erythropappus*) localizada no Parque Florestal Quedas do Rio Bonito, Lavras, MG.

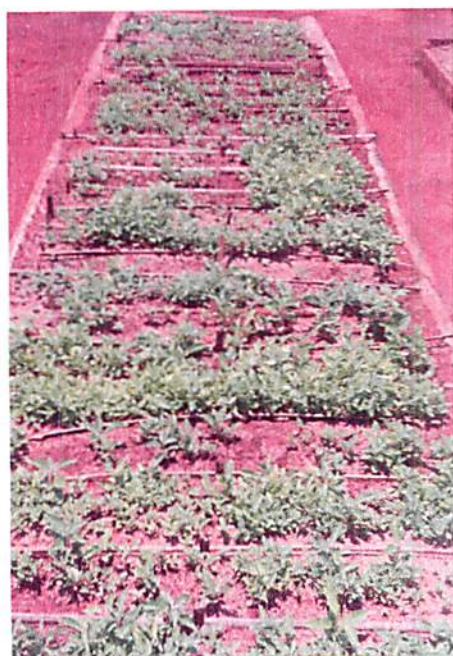


FIGURA 14. Sementeira com mudas de progênies de *Eremanthus erythropappus* oriundas de sementes colhidas de matrizes no Parque Municipal Quedas do Rio Bonito, Lavras, MG.

Sessenta dias após a germinação das sementes, as mudas foram colhidas seguindo um delineamento experimental de parcela subdividida. A unidade de parcela inteira foi constituída pelas plantas das 24 progênies e a unidade de parcela subdividida compreendeu as plantas de três alturas da parte aérea: grandes (mudas mais altas dentro da progênie, geralmente em torno de 15cm), médias (altura média das mudas dentro da progênie, entre 5cm e 15cm) e pequenas (mudas com altura em torno de 5cm). Assim, o fator da parcela inteira foi progênies e o fator da subparcela tamanho (mudas), com três repetições. Em cada uma dessas mudas foram feitas cinco leituras com o scanner óptico e estimada a média das leituras para a análise. Após as leituras, as raízes foram coradas com o corante azul de astra na concentração de 0,1%, durante o tempo de 15 minutos. Feita a coloração, as mesmas raízes foram novamente mensuradas. Dois exemplares de raízes com a imagem digitalizada encontram-se na Figura 15.

A obtenção dessas imagens foi feita pelo scanner HP ScanJet 3c/T (Hewlett-Packard) com resolução 1600 dpi e a avaliação da qualidade do sistema radicular foi realizada pelo programa WinRhizo versão 2002a (Régent Instrument, 2001). Esse programa avaliou as características de comprimento total da raiz (cm), de área da superfície (cm<sup>2</sup>), de diâmetro médio das raízes (mm) e do número de raízes finas, considerando-se como raízes finas aquelas com diâmetro menor que 0,5mm.

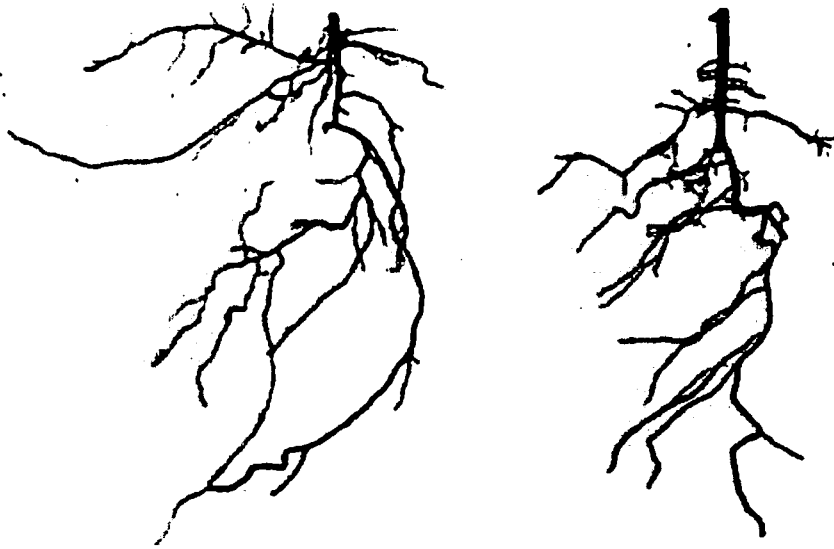


FIGURA 15. Imagens de raízes de mudas de *Eremanthus erythropappus* digitalizadas por scanner óptico - 1600 dpi.

Os dados dessas características foram submetidos à análise de variância, seguindo o procedimento de parcela subdividida, que foi realizado pelo programa GENES – Genética Quantitativa e Estatística Experimental V.5 (Cruz, 2001), conforme o seguinte modelo biométrico:

$$Y_{ijk} = \mu + B_j + P_i + \varepsilon_{ij} + S_k + PS_{ik} + \delta_{ijk}$$

em que:  $Y_{ijk}$  : valor observado na  $i^{\text{ésima}}$  progênie no  $k^{\text{ésimo}}$  tamanho de mudas e no  $j^{\text{ésimo}}$  bloco;  $\mu$  : média geral observada;  $B_j$ : efeito do  $j^{\text{ésimo}}$  bloco;  $P_i$ : efeito da  $i^{\text{ésima}}$  progênie (efeito aleatório da parcela);  $\varepsilon_{ij}$ : erro a;  $S_k$ : efeito do  $k^{\text{ésimo}}$  tamanho de mudas (efeito fixo da subparcela);  $PS_{ik}$ : efeito da interação da  $i^{\text{ésima}}$  progênie com o  $k^{\text{ésimo}}$  tamanho (efeito aleatório da interação);  $\delta_{ijk}$ : erro b.

As esperanças dos quadrados médios dessa análise, utilizadas na estimativa dos componentes de variância, encontram-se na Tabela 6.

TABELA 6. Esquema da análise de variância e estimativa das esperanças dos quadrados médios para os parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais.

Fonte de variação	QM	E(QM)	F
Blocos	QMB	$\hat{\sigma}_{cb}^2 + s\hat{\sigma}_{ca}^2 + ps\hat{\sigma}_b^2$	-
Parcela (P): progênes	QMP	$\hat{\sigma}_{cb}^2 + s\hat{\sigma}_{ca}^2 + rs\hat{\sigma}_p^2$	QMP/QMEa
Erro a	QMEa	$\hat{\sigma}_{cb}^2 + s\hat{\sigma}_{ca}^2$	-
Subparcela (S): tamanho	QMS	$\hat{\sigma}_{cb}^2 + r\frac{s}{s-1}\hat{\sigma}_{ps}^2 + rp\hat{\phi}_s$	QMS/QMPS
Interação P x S	QMPS	$\hat{\sigma}_{cb}^2 + r\frac{s}{s-1}\hat{\sigma}_{ps}^2$	QMPS/QMEb
Erro b	QMEb	$\hat{\sigma}_{cb}^2$	-

$\hat{\sigma}_b^2$ : variância entre blocos;  $\hat{\sigma}_p^2$ : variância de parcela;  $\hat{\sigma}_{ps}^2$ : variância da interação parcela subparcela;  $\hat{\sigma}_{ca}^2$ : variância do erro a;  $\hat{\sigma}_{cb}^2$ : variância do erro b;  $\hat{\phi}_s$ : componente quadrático da subparcela; p, s e r referem-se, respectivamente, ao número de progênes, tamanhos das mudas e repetições.

Para as estimativas dos componentes de variância (Tabela 6), dos valores de herdabilidade e dos coeficientes de correlação de Pearson, foram utilizadas as seguintes expressões descritas por Cruz (2001):

- componente de variância da parcela:  $\hat{\sigma}_p^2 = \frac{QMP - QMEa}{rs}$ ;

- componente quadrático da subparcela:  $\hat{\phi}_s = \frac{QMS - QMPS}{rp}$ ;
- componente de variância da interação parcela subparcela:  

$$\hat{\sigma}_{ps}^2 = \frac{(QMPS - QMEb) s - 1}{r s}$$
;
- herdabilidade:  $h^2 = \frac{\hat{\sigma}_p^2}{(QMP / sr)}$ ;
- coeficiente de variação genético:  $CVg = \frac{100\sqrt{\hat{\sigma}_p^2}}{\text{média}}$ ;
- coeficiente de variação experimental da parcela:  $CVe = \frac{100\sqrt{QMEa}}{\text{média}}$ ;
- coeficiente de variação experimental da subparcela:  

$$CVe = \frac{100\sqrt{QMEb}}{\text{média}}$$
;
- correlação de Pearson:  $r = \frac{Cov_{(x,y)}}{\sqrt{V_{(x)} \cdot V_{(y)}}}$ , sendo  $Cov_{(x,y)}$ : covariância entre duas características (X e Y),  $V_{(x)}$  e  $V_{(y)}$ : variâncias da característica X e da característica Y.

Para as características em que a interação parcela subparcela foi significativa, procederam-se a análises separadas por classe de tamanho das mudas. Nessas análises utilizou-se o procedimento de blocos ao acaso, que foi realizado pelo programa GENES (Cruz, 2001).

O modelo biométrico utilizado foi:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + b_j + \varepsilon_{ij}$$

em que:  $Y_{ij}$ : valor observado no  $i^{\text{ésimo}}$  genótipo do  $j^{\text{ésimo}}$  bloco;  $\mu$ : média geral observada;  $g_i$ : efeito do  $i^{\text{ésimo}}$  genótipo (efeito aleatório);  $b_j$ : efeito do  $j^{\text{ésimo}}$  bloco (efeito aleatório);  $\varepsilon_{ij}$ : erro experimental.

A análise de variância e a esperança dos quadrados médios para as estimativas dos parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais encontram-se na Tabela 7.

TABELA 7. Esquema da análise de variância e estimativa das esperanças dos quadrados médios para os parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais.

Fonte de variação	QM	E(QM)	F
Blocos	QMB	$\hat{\sigma}^2 + g\hat{\sigma}_b^2$	-
Genótipos (G)	QMG	$\hat{\sigma}^2 + b\hat{\sigma}_g^2$	QMG/QMR
Resíduo (Pc)	QMR	$\hat{\sigma}^2$	-

$\hat{\sigma}^2$ : variância residual;  $\hat{\sigma}_g^2$ : variância genotípica;  $\hat{\sigma}_b^2$ : variância entre blocos;  $g$ : número de genótipos ( $g = 40$ );  $b$ : número de blocos ( $b = 3$ ).

Para as estimativas dos componentes de variância, dos valores de herdabilidades e dos coeficientes de variação foram utilizadas as seguintes expressões descritas por Cruz (2001):

- variância fenotípica média:  $\hat{\sigma}_f^2 = \frac{QMG}{b}$ ;
- variância ambiental média:  $\hat{\sigma}_e^2 = \frac{QMR}{b}$ ;
- variância genotípica média:  $\hat{\sigma}_g^2 = \frac{QMG - QMR}{b}$ ;
- herdabilidade para seleção baseada na média de família:  $h^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_f^2}$ ;
- correlação intraclasses:  $\hat{\rho} = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_e^2}$ ;
- coeficiente de variação genético:  $CV_g \% = \frac{(100 \cdot \sqrt{\hat{\sigma}_g^2})}{\text{média}}$ ;
- razão  $CV_g / CV = \sqrt{\frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_e^2}}$ .

Os ganhos esperados para as características de qualidade do sistema radicular foram estimados a partir das herdabilidades e dos desvios-padrões genéticos calculados pela análise de blocos casualizados.

Esses ganhos foram estimados segundo expressão descrita por Cruz (2001):

$$GS_i = i \hat{\sigma}_{gi} h_i$$

em que:  $i$ : índice de seleção padronizado;  $\hat{\sigma}_{gi}$ : desvio-padrão genético;

$h_i$ : raiz quadrada da herdabilidade média de família.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Comparação entre os métodos de raízes coradas e não coradas

A análise que comparou as médias das progênies para as características do sistema radicular, comprimento total (CT), área da superfície (AS), diâmetro médio (DM) e número de raízes finas (RF) mostrou diferenças significativas pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ) entre a utilização ou não do corante azul de astra para todas as características (Tabela 8). Há, portanto, a necessidade de se usar o corante azul de astra na concentração de 0,1% durante 15 minutos para a medição de mudas de candeia (*E. erythropappus*) avaliadas aos dois meses de idade.

TABELA 8. Médias das 24 progênies de meios-irmãos de *Eremanthus erythropappus* para as características comprimento total de raízes (CT), área da superfície (AS), diâmetro médio (DM) e número de raízes finas (RF) obtidas em raízes coradas (C) e não coradas (NC).

CT (cm)		AS (cm <sup>2</sup> )		DM (mm)		RF <sup>†</sup>	
C	NC	C	NC	C	NC	C	NC
117,51**	115,69	32,38*	32,21	0,874**	0,884	145,23**	135,25

\*,\*\* Diferenças entre médias significativas pelo teste de t a 5% e 1% de probabilidade. †. Comparações entre médias transformadas em  $\log_{10}RF$ .

Alguns estudos semelhantes também evidenciaram a necessidade de proceder à coloração das raízes para melhorar a qualidade das imagens capturadas pelo scanner óptico. Dentre esses estudos destaca-se o de Costa et al. (2001), que verificaram, em raízes de espécies lenhosas e herbáceas, que a maioria das espécies por eles estudadas apresentou diferenças significativas na

coloração, e o de Rodrigues et al. (2003), que também verificaram, em *Eucalyptus* sp., diferenças significativas entre o uso ou não de corante. No primeiro estudo os autores utilizaram o corante azul de toluidina e no segundo utilizou-se o corante azul de astra.

## **5.2 Análise de variância e avaliação dos parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais**

Na Tabela 9 encontra-se o resumo das análises de variância para as características comprimento total de raízes (CT), área da superfície (AS), diâmetro médio (DM) e número de raízes finas (RF). Também se encontra nessa tabela a estimativa dos parâmetros genéticos e ambientais para a característica diâmetro médio de raízes (DM), a única em que a interação progênie tamanho da muda não foi significativa.

Para todas as características avaliadas houve variações significativas entre todas as progênies e entre os tamanhos estudados (pequeno, médio e grande). É, portanto, possível selecionar melhores progênies de candeia quanto às características que oferecem qualidade ao sistema radicular.

Essas variações na qualidade do sistema radicular entre as progênies de candeia podem ter uma relação com o crescimento e desenvolvimento dessas, que também apresentaram diferenças significativas para as características altura e diâmetro entre progênies, como citado por Silva et al. (2002). Um sistema radicular mais desenvolvido, com maiores quantidades de raízes, principalmente de raízes finas, pode resultar em uma muda mais vigorosa e com mais chances de sobrevivência em ambientes degradados e com escassez de nutrientes e água.

TABELA 9. Resumo das análises de variância para as características comprimento total de raízes (CT), área da superfície (AS), diâmetro médio (DM) e número de raízes finas (RF); realizadas para as raízes coradas e estimativas dos parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais em progênie de polinização livre de candeia.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios			
		CT	AS	DM	RF
Blocos	2	416,9	50,7	0,0003	2793,4
Progênie (P)	23	14172,3**	1065,9**	0,0075**	21869,5**
Erro a	46	2136,9	166,5	0,0021	3322,3
Tamanho (S)	2	161566,2**	14194,4**	0,0649**	148991,4**
Interação P x S	46	5735,3**	447,7**	0,0026 <sup>NS</sup>	6941,5*
Erro b	96	2543,3	199,8	0,0019	4061,9
Média	-	117,5 (cm)	32,4 (cm <sup>2</sup> )	0,8738 (mm)	145,22
$\hat{\sigma}_p^2$	-	-	-	0,000606	-
$\hat{\phi}_s$	-	-	-	0,000866	-
$\hat{\sigma}_{ps}^2$	-	-	-	0,000141	-
h <sup>2</sup> (%)	-	-	-	72,49	-
CVg (%)	-	-	-	2,82	-
CVep (%)	-	-	-	5,21	-
CVes (%)	-	-	-	5,03	-

<sup>NS</sup>. Não significativo pelo teste de F ( $p > 0,05$ ). \*\* e \*, significativo pelo teste de F ( $p < 0,01$ ) e ( $p < 0,05$ ). Os parâmetros são: média,  $\hat{\sigma}_p^2$ : componente de variância de progênie (parcela),  $\hat{\phi}_s$ : componente quadrático de tamanho da muda (subparcela),  $\hat{\sigma}_{ps}^2$ : componente de variância da interação progênie/tamanho, h<sup>2</sup>: herdabilidade média de família (%), CVg: coeficiente de variação genética (%), CVep: coeficiente de variação experimental da parcela (%), CVes: coeficiente de variação experimental da subparcela (%).

Observa-se também pela Tabela 9 que houve interações progênie tamanho para todas as características avaliadas, exceto para o DM. Essas interações significativas indicam respostas diferenciadas das progênies de acordo com o grau de desenvolvimento das mudas. Por isso, procederam-se a análises de variância e estimativas dos parâmetros genéticos separadamente para os grupos de mudas grandes, médias e pequenas (Tabelas 10, 11 e 12).

A análise de variância separada por classe de tamanho das mudas para a característica comprimento total de raízes (Tabela 10) mostra diferenças significativas entre progênies nas mudas de tamanho grande e médio, e diferenças não significativas para as mudas de tamanho pequeno.

Esses resultados indicam que as mudas médias e grandes expressam a variação que existe no comprimento radicular entre as progênies, ao contrário das mudas que possuem uma parte aérea menor, que não expressam essa variação. Essa irá, provavelmente, se expressar quando as mudas atingirem os tamanhos médio e grande. Portanto, para se realizar estudos para melhoramento genético do comprimento total de raízes de candeia, é necessário que esses sejam conduzidos em mudas com parte aérea maior que cinco centímetros de altura.

Os parâmetros genotípicos e fenotípicos dos três tamanhos de mudas para a característica comprimento total das raízes são apresentados na Tabela 10. As variâncias genéticas mostraram valores de 5261,63; 890,66 e 0 para mudas grandes, médias e pequenas, respectivamente.

As herdabilidades mostraram valores de 78,81%, 62,92% e 0% para mudas grandes, médias e pequenas, respectivamente. Esse maior valor de herdabilidade, associado ao maior valor de coeficiente de variação genética (43,06%) registrado no lote de mudas maiores, indica a possibilidade de obtenção de maiores ganhos genéticos em seleções quando conduzidas no referido lote.

TABELA 10. Resumo da análise de variância para a característica comprimento total de raízes (CT), realizada para as raízes coradas e estimativa dos parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais em progênies de polinização livre de candeia.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios para CT		
		G	M	P
Blocos	2	3394,92	323,40	928,73
Genótipos	23	20027,83**	4246,67**	1368,49 <sup>NS</sup>
Resíduo	46	4242,93	1574,69	1443,11
Média	-	168,5cm	109,28cm	74,79cm
$\hat{\sigma}_f^2$	-	6675,94	1415,56	456,16
$\hat{\sigma}_c^2$	-	1414,31	524,90	481,04
$\hat{\sigma}_g^2$	-	5261,63	890,66	0
$h^2$ (%)	-	78,81	62,92	0
$\hat{\rho}$	-	55,36	36,13	0
$CV_g$ (%)	-	43,06	27,31	0
$CV_c$ (%)	-	38,67	36,31	50,79
Razão	-	1,11	0,75	0
$CV_g/CV_c$	-			

<sup>NS</sup>. Não significativo pelo teste de F ( $p > 0,05$ ). \*\* e \*, significativo pelo teste de F ( $p < 0,01$ ) e ( $p < 0,05$ ). Os parâmetros são: média,  $\hat{\sigma}_f^2$ : variância fenotípica,  $\hat{\sigma}_c^2$ : variância ambiental,  $\hat{\sigma}_g^2$ : variância genotípica,  $h^2$ : herdabilidade média (%),  $\hat{\rho}$ : correlação interclasse,  $CV_g$ : coeficiente de variação genética (%),  $CV_c$ : coeficiente de variação experimental (%), razão  $CV_g/CV_c$ : razão entre os coeficientes de variação genética e experimental.

TABELA 11. Resumo da análise de variância para a característica área da superfície (AS), realizada para as raízes coradas e estimativa dos parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais em progênie de polinização livre de candeia.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios para AS		
		G	M	P
Blocos	2	303,84	16,43	73,81
Genótipos	23	1557,99**	307,34**	95,85 <sup>NS</sup>
Resíduo	46	346,98	123,58	97,91
Média	-	47,51cm <sup>2</sup>	29,83cm <sup>2</sup>	19,78cm <sup>2</sup>
$\hat{\sigma}_f^2$	-	519,33	102,45	31,95
$\hat{\sigma}_e^2$	-	115,66	41,19	32,64
$\hat{\sigma}_g^2$	-	403,67	61,25	0
H <sup>2</sup> (%)	-	77,73	59,79	0
$\hat{\rho}$	-	53,78	33,14	0
CV <sub>g</sub> (%)	-	42,29	26,23	0
CV <sub>e</sub> (%)	-	39,20	37,26	50,03
Razão CV <sub>g</sub> /CV <sub>e</sub>	-	1,08	0,70	0

<sup>NS</sup>. Não significativo pelo teste de F (p>0,05). \*\* e \*, significativo pelo teste de F (p<0,01) e (p<0,05). Os parâmetros são: média,  $\hat{\sigma}_f^2$ : variância fenotípica,  $\hat{\sigma}_e^2$ : variância ambiental,  $\hat{\sigma}_g^2$ : variância genotípica, h<sup>2</sup>: herdabilidade média (%),  $\hat{\rho}$ : correlação interclasse, CV<sub>g</sub>: coeficiente de variação genética (%), CV<sub>e</sub>: coeficiente de variação experimental (%), razão CV<sub>g</sub>/CV<sub>e</sub>: razão entre os coeficientes de variação genética e experimental.

TABELA 12. Resumo da análise de variância para a característica número de raízes finas (RF), realizada para as raízes coradas e estimativa dos parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais para uma população de progênie de polinização livre de candeia.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios para RF		
		G	M	P
Blocos	2	8046,72	988,39	150,01
Genótipos	23	23457,22**	8926,20**	3368,98 <sup>NS</sup>
Resíduo	46	5050,79	2918,10	3552,61
Média	-	193,51	138,97	103,18
$\hat{\sigma}_f^2$	-	7819,07	2975,40	1122,99
$\hat{\sigma}_e^2$	-	1683,60	972,70	1184,20
$\hat{\sigma}_g^2$	-	6135,47	2002,70	0
H <sup>2</sup> (%)	-	78,47	67,31	0
$\hat{\rho}$	-	54,85	40,70	0
CV <sub>g</sub> (%)	-	40,48	32,20	0
CV <sub>e</sub> (%)	-	36,73	38,87	57,77
Razão	-	1,10	0,83	0
CV <sub>g</sub> /CV <sub>e</sub>	-			

<sup>NS</sup>. Não significativo pelo teste de F ( $p > 0,05$ ). \*\* e \*, significativo pelo teste de F ( $p < 0,01$ ) e ( $p < 0,05$ ). Os parâmetros são: média,  $\hat{\sigma}_f^2$ : variância fenotípica,  $\hat{\sigma}_e^2$ : variância ambiental,  $\hat{\sigma}_g^2$ : variância genotípica,  $h^2$ : herdabilidade média (%),  $\hat{\rho}$ : correlação interclasse, CV<sub>g</sub>: coeficiente de variação genética (%), CV<sub>e</sub>: coeficiente de variação experimental (%), razão CV<sub>g</sub>/CV<sub>e</sub>: razão entre os coeficientes de variação genética e experimental.

A maior relação  $CV_g/CV_e$  no lote de mudas grandes (1,11) que no lote de mudas médias (0,75) também revela que a seleção deve, prioritariamente, ser processada em estudos com mudas com altura em torno de 15cm (Tabela 10). Segundo Vencovsky & Barriga (1992), quando os valores dessa razão são superiores a um, há indicação de que ganhos expressivos podem ser alcançados pela seleção.

A análise de variância realizada para a característica área da superfície de raízes (Tabela 11) mostrou resultados similares ao da análise realizada para a característica comprimento total de raízes (Tabela 10).

Mudas de tamanhos médios e grandes mostraram variações significativas pelo teste F a 1% de probabilidade entre todas as progênies estudadas, enquanto que as mudas de tamanho pequeno não mostraram variações significativas.

Os parâmetros genéticos (Tabela 11) estimados para a característica área da superfície de raízes, para mudas em diferentes tamanhos (grande, médio e pequeno), também mostraram comportamentos similares ao da característica comprimento total de raízes (Tabela 10), com valores de variância genética, variância experimental, herdabilidade e relação entre o coeficiente de variação genético e o coeficiente de variação experimental (razão  $CV_g/CV_e$ ) superiores para as mudas grandes, seguidas pelos das mudas médias e pequenas. Isso indica que as mudas grandes têm maiores chances de obterem ganhos genéticos quando submetidas à seleção.

As mudas grandes apresentaram coeficiente de variação genético de 42,29%, valor bastante alto, enquanto as mudas médias apresentaram valor de 26,23% e as mudas pequenas valor nulo. Isso, juntamente com o maior valor de herdabilidade (77,7%), indica que altos ganhos genéticos na área de superfície de raízes podem ser obtidos com a seleção conduzida nas mudas grandes.



O componente de variância experimental, apesar de mostrar valor maior para as mudas grandes, não influenciou negativamente na razão  $CV_g/CV_e$ , que mostrou valor de 1,08, valor esse superior a um e que possibilita a obtenção de altos ganhos genéticos no melhoramento.

Os resultados da análise de variância separada por classe de tamanho (mudas com a parte aérea de tamanho grande, médio e pequeno) entre todas as progênies para a característica número de raízes finas encontram-se na Tabela 12.

Semelhantemente aos resultados apresentados para as características comprimento total de raízes (Tabela 10) e área da superfície de raízes (Tabela 11), a característica número de raízes finas também mostrou variações significativas a 1% de probabilidade pelo Teste F somente para as mudas de tamanho grande e médio. As mudas de tamanho pequeno não mostraram variações significativas para a característica número de raízes finas, nas progênies avaliadas.

Comparando a magnitude dos valores de herdabilidade, coeficiente de variação genético e a relação  $CV_g/CV_e$ , estimados nos três lotes de mudas (Tabela 12), pode-se constatar que os maiores ganhos genéticos no número de raízes curtas serão obtidos em mudas com altura da parte aérea em torno de 15cm.

Nas mudas grandes tanto quanto nas médias, os baixos valores de coeficientes de variação experimental (5,21 a 39,20) para os estudos de CT, AS, DM e RF indicam a confiabilidade na condução das referidas seleções e obtenção de ganhos genéticos, conforme apresentados a seguir.

### 5.3 Ganhos com a seleção

A estimativa dos ganhos genéticos pela seleção de uma progênie entre as 24 progênies desse estudo encontra-se na Tabela 13. Estes ganhos genéticos foram estimados para mudas grandes e médias, situações em que a variação entre progênies foi significativa.

Observa-se que, para todas as características avaliadas, ou seja, comprimento total de raízes, área da superfície de raízes, diâmetro médio das raízes e número de raízes finas, houve um maior ganho genético esperado com a seleção realizada em mudas grandes do que na seleção realizada em mudas médias.

Para a característica comprimento total de raízes, por exemplo, houve um ganho de 137,55cm no comprimento médio das raízes das mudas grandes quando se seleciona a melhor progênie, a de número 12, que apresentou um CT de 442,9cm (Tabela 14). Esse ganho esperado é da ordem de 81,65% em relação à média. Quando se seleciona a melhor progênie das mudas médias, o valor desse ganho cai pela metade, 50,57cm e, em porcentagem, 46,27% em relação à média.

A característica área da superfície mostra comportamento semelhante nos ganhos genéticos. Na seleção da progênie 12, que apresenta mudas grandes com AS de 124cm<sup>2</sup> (Tabela 14), houve um ganho genético esperado de 37,84cm<sup>2</sup> ou 79,64%. Se a seleção for realizada em mudas médias, o ganho genético esperado será de apenas 12,93cm<sup>2</sup> ou 43,33%, ou seja, houve também uma queda pela metade no ganho esperado.

Para a característica diâmetro médio das raízes, houve um ganho esperado pela seleção de 0,06mm para mudas grandes (7,17%) e 0,03mm para mudas médias (3,97%), mostrando mais uma vez os maiores ganhos genéticos para as mudas de maiores tamanhos.

Para a característica número de raízes finas, importante para se estimar qualidade do sistema radicular, principalmente em mudas destinadas à recuperação de áreas degradadas, houve um ganho genético esperado de 148,21 raízes finas quando se seleciona mudas de tamanho maior, ou seja, uma ganho de 76,59% em relação à média. Quando se selecionam mudas de tamanho médio, há um ganho genético esperado de 78,42 raízes finas, ou seja, 56,43% de ganho em relação à média. Para o caso da seleção das mudas grandes, a progênie selecionada é, também, a de número 12, que apresentou uma média de 457 raízes finas (Tabela 14).

TABELA 13. Ganhos diretos na unidade de medida das características e em porcentagem esperados pela seleção de uma progênie para as características do sistema radicular (C) de comprimento total (CT), área da superfície (AS), diâmetro médio (DM) e número de raízes finas (RF) das progênies de tamanho (T) grande (G) e médio (M).

C	T	$\hat{\sigma}_{gi}$	$h_i$	Média	$G_i$	$G_i\%$
CT	G	72,54cm	0,89	168,45cm	137,55cm	81,65
	M	29,84cm	0,79	109,28cm	50,57cm	46,27
AS	G	20,09cm <sup>2</sup>	0,88	47,51cm <sup>2</sup>	37,84cm <sup>2</sup>	79,64
	M	7,83cm <sup>2</sup>	0,77	29,83cm <sup>2</sup>	12,93cm <sup>2</sup>	43,33
DM	G	0,04mm	0,75	0,9055mm	0,06mm	7,17
	M	0,02mm	0,74	0,8701mm	0,03mm	3,97
RF	G	78,33	0,89	193,51	148,21	76,59
	M	44,75	0,82	138,97	78,42	56,43

i: refere-se ao índice de seleção padronizado ( $i = 2,136$  para a seleção de uma progênie em 24);  $\hat{\sigma}_{gi}$ : refere-se ao desvio-padrão genético do caráter i;  $h_i$ : refere-se à raiz quadrada da herdabilidade genotípica para o  $i^{\text{ésimo}}$  caráter;  $G_i$ : refere-se ao ganho genético na unidade de medida das características;  $G_i\%$ : refere-se ao ganho genético esperado em porcentagem.

#### 5.4 Teste de média entre as progênies no lote de mudas grandes

A Tabela 14 mostra os valores médios das características da qualidade do sistema radicular de progênies de candeia em mudas grandes, avaliados em raízes coradas com azul de astra.

É possível observar, por essa tabela, que a progênie de número 12 apresenta os maiores valores de comprimento total de raízes (442,9cm), de área da superfície (124,31cm<sup>2</sup>) e de número de raízes finas (457). Essas características também possuem altos valores de herdabilidade, com 78,81% para o comprimento total de raízes (Tabela 10), 77,73% para a área da superfície (Tabela 11) e 78,47% para o número de raízes finas (Tabela 12), indicando que essas características favoráveis da progênie de número 12 são herdáveis quando a seleção se processa em mudas de tamanho grande.

Além disso, no teste de médias para as características CT, AS e RF, a progênie de número 12 é a única que se apresenta com valor estatisticamente diferente e superior ao das raízes das mudas das outras progênies.

Outras progênies com qualidade superior do sistema radicular também são apresentadas na Tabela 14; entre essas destacam-se as progênies de número 13, 18, 19, 22 e 23.

Para a característica diâmetro médio de raízes, a progênie de número 3 se destacou apresentando as raízes mais grossas. No entanto, esta não é uma qualidade favorável quando se deseja raízes com maior capacidade de absorção de nutrientes e água, capacidade essa desenvolvida pelas raízes mais finas, como as da progênie de número 24, que também apresenta número alto de raízes finas.

Apesar da qualidade superior do sistema radicular da progênie de número 24 e da qualidade inferior do sistema radicular da progênie de número 3 para a característica diâmetro médio de raízes, esses valores não mostram diferenças significativas entre as progênies pelo teste de médias realizado.

TABELA 14. Valores médios de progênies para as características comprimento total (CT), área da superfície (AS), diâmetro médio (DM) e número de raízes finas (RF), estimadas no lote de mudas grandes.

Progênies	Características			
	CT (cm)	AS (cm <sup>2</sup> )	DM (mm)	RF
1	93,52 c	27,83 c	0,95 a	102 c
2	93,07 c	27,13 c	0,92 a	109 c
3	66,11 c	20,67 c	1,08 a	67 c
4	69,09 c	18,25 c	0,84 a	91 c
5	108,02 c	30,23 c	0,88 a	142 c
6	150,72 c	42,76 c	0,93 a	191 c
7	130,10 c	35,33 c	0,87 a	136 c
8	131,09 c	39,37 c	0,96 a	134 c
9	88,80 c	25,53 c	0,92 a	116 c
10	190,78 c	51,45 c	0,84 a	204 c
11	131,75 c	36,30 c	0,88 a	183 c
12	442,90 a	124,31 a	0,89 a	457 a
13	233,22 b	65,78 b	0,90 a	243 b
14	157,68 c	47,03 c	0,94 a	161 c
15	177,27 c	50,30 c	0,90 a	145 c
16	127,61 c	36,46 c	0,91 a	119 c
17	179,63 c	48,55 c	0,86 a	222 b
18	238,78 b	70,04 b	0,93 a	266 b
19	261,33 b	74,81 b	0,90 a	296 b
20	172,30 c	49,68 c	0,93 a	240 b
21	149,98 c	44,31 c	0,95 a	205 c
22	257,53 b	71,70 b	0,89 a	287 b
23	227,53 b	60,25 b	0,84 a	307 b
24	164,07 c	42,26 c	0,82 a	223 b

\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

### 5.5 Correlações

As correlações de Pearson entre as características comprimento total de raízes (CT), área da superfície de raízes (AS), diâmetro médio de raízes (DM) e número de raízes finas (RF) estão representadas na Tabela 15.

As correlações entre as características CT, AS e RF foram altas, positivas e altamente significativas, mostrando que se a seleção for praticada para qualquer uma das características citadas, influenciará positivamente nas outras duas. Entre a característica DM e AS, a correlação foi positiva, porém menor e significativa somente a 5%. É, portanto, uma baixa correlação. As correlações entre o DM e as características CT e RF foram não significativas, mostrando que não há correlações lineares entre elas.

TABELA 15. Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson entre as características comprimento total de raízes (CT), área da superfície (AS), diâmetro médio (DM) e número de raízes finas (RF).

Variáveis	$V_{(x)}$	$V_{(y)}$	$Cov_{(x,y)}$	$\hat{r}$ (correlação)
CT x AS	5842,83	467,13	1645,52	0,996**
CT x DM	5842,83	0,0033	0,4026	0,0921 <sup>NS</sup>
CT x RF	5842,83	7761,15	6381,05	0,9476**
AS x DM	467,13	0,0033	0,2005	0,1622*
AS x RF	467,13	7761,15	1771,09	0,9302**
DM x RF	0,0033	7761,15	-0,1741	-0,0346 <sup>NS</sup>

<sup>NS</sup>. Não significativo pelo teste t ( $p > 0,05$ ). \*\* e \*, significativo pelo teste t ( $p < 0,01$ ) e ( $p < 0,05$ ).

## 6 CONCLUSÕES

É necessário o uso de corante para a melhor visualização das raízes de mudas de candeia pelo scanner óptico.

Os componentes de variância, herdabilidades e ganhos esperados mostraram que se pode realizar o melhoramento genético em raízes de mudas de candeia para as características comprimento total de raízes, área da superfície, diâmetro médio de raízes e número de raízes finas, principalmente quando a seleção é realizada em mudas de tamanho grande. Além disso, os tamanhos da parte aérea grande, médio e pequeno influenciam nos tamanhos das raízes e também há resposta diferenciada das raízes das progênies quanto ao tamanho da parte aérea.

Há, portanto, a possibilidade de selecionar progênies de candeia com maior qualidade radicular para projetos de recuperação de áreas degradadas.

Há correlações entre as características comprimento total de raízes, área da superfície e número de raízes finas, mostrando que se a seleção for praticada para qualquer uma das características citadas, influenciará positivamente nas outras duas.

### 3 INTRODUÇÃO

A candeia (*Eremanthus erythropappus*) é uma alternativa de renda em propriedades rurais, fornecendo madeira com alta durabilidade natural, de amplo uso para moirões de cerca e óleo essencial, empregado na farmacologia (Rizzini, 1979) além de possuir baixa exigência edáfica. O princípio ativo do óleo é o  $\alpha$ -bisabolol, que possui propriedades antiflogísticas, antibacteriana, antimicótica e dermatológica (Pedralli, 1997).

Essas utilidades da candeia podem ser um diferencial para o produtor rural. Além de recuperar seus solos para propiciar a formação de uma cobertura vegetal, ele pode, por meio de um plano de manejo adequado, se beneficiar da madeira e de seus subprodutos.

Devido aos diversos atributos de qualidade da madeira, a candeia vem sofrendo, ao longo dos anos, intenso processo de extrativismo que, em detrimento aos danos ambientais, oferece ao produtor uma atividade altamente lucrativa: um quilo de óleo refinado é vendido por sessenta dólares no mercado internacional (Pérez, 2001).

Com isso, os povoamentos naturais de candeia têm diminuído nestes anos, principalmente em áreas onde há a retirada de árvores sem o uso de técnicas de manejo. Dentro deste contexto, a propagação da espécie torna-se necessária para a continuidade das atividades de extração de óleo da candeia e uso da madeira, bem como para a restauração de ambientes dos quais essas foram retiradas.

Mesmo com essa espécie que apresenta resistência natural às condições ambientais adversas, pode ser necessária a seleção de genótipos com melhor desempenho em relação ao crescimento, desenvolvimento e adaptabilidade,



maximizando o seu potencial restaurador e produtivo em sítios degradados ou de baixa produtividade.

O sucesso nessa seleção pode ser alcançado quando conduzidas em unidades de estudo constituídas por amplas populações, ou seja, grupos maiores de indivíduos, abrangendo muitas progênies (Falconer, 1987). No caso específico da candeia, que é de ampla ocorrência natural, principalmente no estado de Minas Gerais onde ela se distribui em gradientes altitudinais, podem ocorrer altos níveis de variação entre e dentro de populações que, juntamente com outros parâmetros populacionais, necessitam ser quantificados para o estabelecimento de estratégias apropriadas de melhoramento genético e predições de ganhos decorrentes da seleção.

Portanto, os objetivos deste estudo foram: i) avaliar os componentes de variância entre e dentro de procedências de candeia (*Eremanthus erythropappus*); ii) avaliar a possibilidade de selecionar genótipos com maior vigor no crescimento inicial para recuperação de áreas degradadas e iii) avaliar as correlações idade-idade.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Material genético

Foram utilizadas progênies de polinização livre, provenientes de 40 árvores matrizes, distanciadas 100m entre si, inseridas ao longo de um gradiente altitudinal (1.200 a 1.600m). Dessas matrizes, 22 estão inseridas entre 1.200 a 1.400m e 18 estão inseridas entre 1.400 a 1.600m de altitude. Essas árvores matrizes estão localizadas no município de Aiuruoca, em Minas Gerais.

A cidade de Aiuruoca possui as seguintes coordenadas geográficas: 21°58'32" de latitude sul, 44°36'11" de longitude oeste do Meridiano de Greenwich e altitude de 920m. Apresenta as seguintes temperaturas médias: 30° a máxima, e -3°C a mínima; a precipitação pluviométrica anual é, em média, de 2.100 mm.

Com o intuito de se testar a possibilidade da população caracterizar duas procedências inseridas ao longo da variação longitudinal, realizou-se o teste de procedências. A procedência 1 era composta pelas progênies coletadas nas matrizes inseridas nas altitudes de 1.200 a 1.400m e a procedência 2 composta pelas progênies coletadas na matrizes inseridas ao longo da altitude entre 1.400 a 1.600m.

### 4.2 Produção de mudas

As mudas foram produzidas no viveiro do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Minas Gerais. As sementes foram semeadas em recipientes plásticos constituídos por uma mistura equitativa de terra de barrando peneirada, esterco de curral peneirado e areia.

Essa mistura recebeu a adição de calcário e adubos nas concentrações usuais utilizadas no viveiro florestal para correção química da mesma. Após a semeadura, as sementes foram cobertas com o substrato peneirado e casca de arroz. Após a germinação e crescimento inicial, foram feitas as retiradas das mudas menores para que em cada saquinho houvesse apenas uma muda.

### 4.3 Delineamento experimental e características avaliadas no viveiro

No viveiro, as mudas foram delineadas em quatro blocos ao acaso, com 40 progênies e sete plantas por parcela (Figura 16). Aos oito meses de idade das mudas, foram medidas as suas características de crescimento: altura total, com o auxílio de uma régua graduada em cm e diâmetro medido à altura do colo, com auxílio de um paquímetro (mm).



FIGURA 16. Mudanças de candeia (*Eremanthus erythropappus*) no viveiro.

#### 4.4 Campo

Ao atingir um ano de idade, as mudas foram plantadas no campo (Figura 17) no início do período das chuvas, em uma área degradada por pastagem localizada no município de Itutinga, em Minas Gerais. Itutinga está localizada a 21°17'53" de latitude sul e 44°39'28" de longitude oeste do Meridiano de Greenwich. O clima é de transição entre Cwb e Cwa, temperado com inverno seco, de acordo com a classificação de Köppen.

Foi realizada análise de solo na região onde foi feito o plantio das mudas. De acordo com a análise, o solo possui baixa saturação por bases, sendo distrófico com  $V = 18,8\%$ . Os elementos fósforo, potássio, sódio, cálcio e magnésio estão disponíveis em baixas quantidades nesse ambiente, enquanto que alumínio e hidrogênio estão disponíveis em altas concentrações, caracterizando um solo álico e ácido. A matéria orgânica presente neste solo também está em baixa concentração, de acordo com a análise realizada. É um solo classificado como de textura média, possuindo 55% de areia, 23% de silte e 22% de argila.

O local de plantio das mudas é mostrado na Figura 18. Este local foi escolhido por apresentar condições topográficas (alta declividade do terreno) e de fertilidade do solo (solo pobre quimicamente, ácido e álico) inapropriadas para a implantação de projetos agrícolas tradicionais.



FIGURA 17. Plantio das mudas de candeia (*Eremanthus erythropappus*), Itutinga, MG.



FIGURA 18. Local de plantio das mudas de candeia (*Eremanthus erythropappus*) no município de Itutinga, MG.

#### **4.5 Delineamento experimental e características avaliadas no campo**

No campo, as mudas foram plantadas no delineamento experimental de três blocos casualizados, com quarenta progênes e seis plantas por parcela. Foi feita adubação e adição de matéria orgânica nas covas das mudas.

Na idade do plantio e seis meses após o plantio foram medidas as alturas totais das mudas com o auxílio de uma fita métrica (cm) e os diâmetros à altura do colo com o auxílio de um paquímetro (mm). A taxa de sobrevivência das mudas no campo foi mensurada seis meses após o plantio.

#### **4.6 Análise estatística**

##### **4.6.1 Análise de procedência/progênie/planta (diâmetro e altura das mudas)**

Os dados coletados das características diâmetro medido à altura do colo e altura total das mudas no viveiro, no plantio e aos seis meses após o plantio, foram submetidos à análise de variância, seguindo o procedimento análise de procedência-progênie-planta do programa GENES – Genética Quantitativa e Estatística Experimental V.5 (Cruz, 2001).

O modelo biométrico utilizado para a análise dos dados foi:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + Pc_i + P/Pc_{(ij)} + \epsilon_{ij} + \delta_{ijk}$$

em que:  $Y_{ijk}$ : valor observado na  $j^{\text{ésima}}$  progênie da  $i^{\text{ésima}}$  procedência cultivada no  $k^{\text{ésimo}}$  bloco;  $\mu$ : média geral observada;  $\beta_k$ : efeito do  $k^{\text{ésimo}}$  bloco (efeito aleatório);  $Pc_i$ : efeito da  $i^{\text{ésima}}$  procedência (efeito fixo);  $P/Pc_{(ij)}$ : efeito da

$j^{\text{ésima}}$  progênie dentro da  $i^{\text{ésima}}$  procedência (efeito aleatório);  $\epsilon_{ij}$ : erro entre parcela e  $\delta_{ijk}$ : erro dentro de parcela.

A análise de variância e a esperança dos quadrados médios para as estimativas dos parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais dessas características encontram-se na Tabela 16.

TABELA 16. Esquema da análise de variância e estimativa das esperanças dos quadrados médios para os parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais.

Fonte de variação	QM	E(QM)	F
Blocos	QMB	$\hat{\sigma}_d^2 + n\hat{\sigma}_e^2 + ng\hat{\sigma}_b^2$	-
Progênies (P)	QMP	$\hat{\sigma}_d^2 + n\hat{\sigma}_e^2 + nr\hat{\sigma}_f^2$	QMP/QME
Procedências (Pc)	QMPc	$\hat{\sigma}_d^2 + n\hat{\sigma}_e^2 + nr\hat{\phi}_f$	QMPc/QME
Progênies/Pc1	QMPgi (i=1)	$\hat{\sigma}_d^2 + n\hat{\sigma}_e^2 + nr\hat{\sigma}_{g1}^2$	QMPg1/QME
Progênies/Pc2	QMPgi (i=2)	$\hat{\sigma}_d^2 + n\hat{\sigma}_e^2 + nr\hat{\sigma}_{g2}^2$	QMPg2/QME
Entre parcelas	QME	$\hat{\sigma}_d^2 + n\hat{\sigma}_e^2$	-
Dentro de parcelas	QMD	$\hat{\sigma}_d^2$	-

$\hat{\sigma}_d^2$ : variância fenotípica dentro de parcelas;  $\hat{\sigma}_e^2$ : variância ambiental entre parcelas;  $\hat{\sigma}_f^2$ : variância genotípica entre médias de progênies;  $\hat{\sigma}_{g1}^2$ : componente de variabilidade genotípica na procedência 1 (1.200 a 1.400m de altitude);  $\hat{\sigma}_{g2}^2$ : componente de variabilidade genotípica na procedência 2 (1.400 a 1.600m de altitude);  $\hat{\sigma}_b^2$ : variância de blocos;  $\hat{\phi}_f$ : componente quadrático que expressa a variabilidade genotípica da procedência;  $P_{g1}$  e  $P_{g2}$  referem-se a procedências localizadas entre 1.200 a 1.400m e entre 1.400 a 1.600m de altitude. respectivamente;  $n$  refere-se ao número de plantas dentro da parcela;  $r$  refere-se ao número de blocos.

Para as estimativas dos componentes de variância, dos valores de herdabilidades e dos coeficientes de variação das características diâmetro

medido à altura do colo e altura total das mudas foram utilizadas as seguintes expressões descritas por Cruz (2001):

A. Efeito da procedência e de progênie dentro da procedência

- Componente quadrático que expressa a variabilidade genotípica:

$\hat{\phi}_p = \frac{QMPc - QME}{nr}$ , em que  $n$  refere-se ao número de plantas dentro da parcela ( $n = 1, 2, \dots, 7$  na análise no viveiro e  $n = 1, 2, \dots, 6$  na análise do campo) e  $r$  refere-se ao número de blocos ( $r = 4$  na análise no viveiro e  $r = 3$  na análise no campo);

- coeficiente de determinação genotípica:  $h^2 = \frac{\hat{\phi}_p}{QMPc/nr}$ ;

- coeficiente de variação genética:  $CV_g = \frac{100\sqrt{\hat{\phi}_p}}{\text{média}}$ ;

- componente de variabilidade genotípica:  $\hat{\sigma}_{gi}^2 = \frac{QMPg_i - QME}{nr}$ ;

- herdabilidade:  $h_i^2 = \frac{\hat{\sigma}_{gi}^2}{QMPgi/nr}$ ;

- coeficiente de variação genética:  $CV_{gi} = \frac{100\sqrt{\hat{\sigma}_{gi}^2}}{\text{média}_i}$ , ( $i = 1, 2$ ).



## B. Efeito de progênies

- Variância de blocos:  $\hat{\sigma}_b^2 = \frac{QMB - QME}{ng}$ , em que g refere-se ao número de progênies (g = 40);
- variância fenotípica entre médias de família:  $\hat{\sigma}_f^2 = \frac{QMP}{m}$ ;
- variância fenotípica dentro de parcela:  $\hat{\sigma}_d^2 = QMD$ ;
- variância ambiental entre parcelas:  $\hat{\sigma}_c^2 = \frac{QME - QMD}{n}$ ;
- variância genotípica entre médias de famílias:  $\hat{\sigma}_g^2 = \frac{QMP - QME}{m}$ ;
- variância genotípica dentro de família:  $\hat{\sigma}_{gd}^2 = \frac{\theta_d}{\theta_c} \hat{\sigma}_g^2$  (para famílias de meios-irmãos  $\theta_d = \frac{3}{4}$  e  $\theta_c = \frac{1}{4}$ );
- variância fenotípica total:  $\hat{\sigma}_{f(\text{total})}^2 = \hat{\sigma}_d^2 + \hat{\sigma}_c^2 + \hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_b^2$ ;
- herdabilidade (unidade de seleção = média de família):

$$h^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{(QMP/nr)}$$

- herdabilidade (unidade de seleção = dentro de família):  $h^2 = \frac{\hat{\sigma}_{gd}^2}{\hat{\sigma}_d^2}$ ;

- herdabilidade (unidade de seleção = indivíduo no bloco):

$$h^2 = \frac{\hat{\sigma}_f^2 + \hat{\sigma}_{gd}^2}{\hat{\sigma}_d^2 + \hat{\sigma}_c^2 + \hat{\sigma}_f^2}$$

- herdabilidade (unidade de seleção = indivíduo no experimento):

$$h^2 = \frac{\hat{\sigma}_f^2 + \hat{\sigma}_{gd}^2}{\hat{\sigma}_d^2 + \hat{\sigma}_c^2 + \hat{\sigma}_f^2 + \hat{\sigma}_b^2}$$

- coeficiente de variação experimental comparável ao de blocos ao acaso,

sem informação dentro de parcela:  $CV_c \% = CV_1 = \frac{(100\sqrt{QME/n})}{\text{média}}$ ;

- coeficiente de variação experimental:  $CV_c \% = CV_2 = \frac{(100\sqrt{\hat{\sigma}_c^2})}{\text{média}}$ ;

- coeficiente de variação genética entre famílias:

$$CV_f \% = CV_3 = \frac{(100\sqrt{\hat{\sigma}_f^2})}{\text{média}}$$

- coeficiente de variação genética dentro de famílias:

$$CV_{gd} \% = CV_4 = \frac{(100\sqrt{\hat{\sigma}_{gd}^2})}{\text{média}}$$

- razão  $CV_g/CV_e$  dada por:  $CV_g/CV_e = \frac{CV_3}{CV_2}$  e  $CV_{gd}/CV_e = \frac{CV_4}{CV_2}$ .

#### 4.6.2 Análise de blocos ao acaso (taxa de sobrevivência após plantio)

Aos seis meses após o plantio foi mensurada também a taxa de sobrevivência das mudas no campo pela porcentagem de sobrevivência das mudas em cada parcela do experimento. Os dados das porcentagens da taxa de sobrevivência foram submetidos à análise de variância seguindo o procedimento análise de blocos ao acaso, que foi realizado pelo programa GENES – Genética Quantitativa e Estatística Experimental V.5 (Cruz, 2001), considerando-se o genótipo as 40 progênies, independentes da procedência de origem.

O modelo biométrico utilizado para a análise dos dados foi:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + b_j + \varepsilon_{ij}$$

em que:  $Y_{ij}$ : valor observado no  $i^{\text{ésimo}}$  genótipo do  $j^{\text{ésimo}}$  bloco;  $\mu$ : média geral observada;  $g_i$ : efeito do  $i^{\text{ésimo}}$  genótipo (efeito aleatório);  $b_j$ : efeito do  $j^{\text{ésimo}}$  bloco (efeito aleatório);  $\varepsilon_{ij}$ : erro experimental.

O esquema da análise de variância e a esperança dos quadrados médios para as estimativas dos parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais da característica taxa de sobrevivência das mudas no campo encontra-se na Tabela 17.

TABELA 17. Esquema da análise de variância e estimativa das esperanças dos quadrados médios para os parâmetros fenotípicos, genotípicos e ambientais.

Fonte de variação	QM	E(QM)	F
Blocos	QMB	$\hat{\sigma}^2 + g\hat{\sigma}_b^2$	-
Genótipos (G)	QMG	$\hat{\sigma}^2 + b\hat{\sigma}_g^2$	QMG/QMR
Resíduo	QMR	$\hat{\sigma}^2$	-

$\hat{\sigma}^2$ : variância residual;  $\hat{\sigma}_g^2$ : variância genotípica;  $\hat{\sigma}_b^2$ : variância entre blocos; g refere-se ao número de genótipos (g = 40), b refere-se ao número de blocos (b = 3).

Para as estimativas dos componentes de variância, dos valores de herdabilidades e dos coeficientes de variação da característica taxa de sobrevivência das mudas no campo foram utilizadas as seguintes expressões descritas por Cruz (2001):

- variância fenotípica média:  $\hat{\sigma}_f^2 = \frac{QMG}{b}$  ;
- variância ambiental média:  $\hat{\sigma}_c^2 = \frac{QMR}{b}$  ;
- variância genotípica média:  $\hat{\sigma}_g^2 = \frac{QMG - QMR}{b}$  ;
- herdabilidade para seleção baseada na média de família:  $h^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_f^2}$  ;

- correlação intraclassa:  $\hat{\rho} = \frac{\hat{\sigma}_f^2}{\hat{\sigma}_f^2 + \hat{\sigma}^2}$ ;
- coeficiente de variação genética:  $CV_g \% = \frac{(100\sqrt{\hat{\sigma}_f^2})}{\text{média}}$ ;
- razão  $CV_g / CV = \sqrt{\frac{\hat{\sigma}_f^2}{\hat{\sigma}^2}}$ .

#### 4.6.3 Correlações idade-idade

Para as características diâmetro medido à altura do colo e altura total das mudas foram estimadas as correlações fenotípicas e genotípicas entre as idades do plantio e seis meses após o plantio.

Essas correlações foram estimadas pelas seguintes expressões (Cruz & Regazzi, 2001):

$$R_{f(x,y)} = \frac{\text{Cov}_{f(x,y)}}{\sqrt{\sigma_{f(x)}^2 \cdot \sigma_{f(y)}^2}}$$

em que:  $R_{f(x,y)}$ : correlação fenotípica entre duas idades;  $\text{Cov}_{f(x,y)}$ : covariância fenotípica entre duas idades;  $\sigma_{f(x)}^2$  e  $\sigma_{f(y)}^2$ : variâncias fenotípicas em duas idades diferentes;

$$R_{g(x,y)} = \frac{\text{Cov}_{g(x,y)}}{\sqrt{\sigma_{g(x)}^2 \cdot \sigma_{g(y)}^2}}$$

em que:  $R_{g(x,y)}$ : correlação genotípica entre duas idades;  $\text{Cov}_{g(x,y)}$ : covariância genotípica entre duas idades;  $\sigma_{g(x)}^2$  e  $\sigma_{g(y)}^2$ : variâncias genotípicas em duas idades diferentes.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Estimativas de componentes de variância

Aos seis meses após o plantio das mudas, o experimento foi medido para a obtenção dos dados de diâmetro a altura do colo, altura total e taxa de sobrevivência das mudas. Na Tabela 18 estão as análises de variância conduzidas para as duas procedências, para todas as progênies e para as progênies dentro de cada procedência, para as características diâmetro e altura. Na mesma tabela também estão as análises de variância para a característica taxa de sobrevivência das mudas no campo.

Para a característica diâmetro não houve diferenças significativas entre as procedências, entre todas as progênies e entre as progênies dentro de cada procedência. Esses resultados mostram que, aos seis meses após o plantio das mudas, a característica diâmetro não foi estatisticamente diferente entre progênies e, portanto, na idade avaliada, não é possível usá-la em programas de melhoramento.

Na análise da característica altura, as diferenças entre todas as progênies mostraram-se significativas a 5% de probabilidade pelo teste F, indicando que esta pode ser empregada em programas de seleção.

No entanto, entre as progênies dentro da procedência 1 houve variações a 1% de probabilidade, e entre as progênies dentro da procedência 2 essas variações não foram estatisticamente significantes. Isso mostra que somente as progênies dentro da procedência 1 podem ser usadas em programas de melhoramento.

Não houve diferenças significativas entre as procedências para a característica altura, evidenciando que as duas procedências testadas ao longo do gradiente altitudinal (procedência 1, entre 1.200 a 1.400m e procedência 2, entre

1.400 a 1.600m) não caracterizam duas procedências distintas, pois não ocorre variação clinal entre elas.

Para a característica taxa de sobrevivência das mudas no campo (Tabela 18), não houve diferenças significativas entre todas as progênies estudadas. Isso mostra que nenhuma dessas progênies exibe maior ou menor capacidade de sobrevivência às condições de estresses presentes no campo e que não é possível selecionar progênies por essa característica.

TABELA 18. Resumo das análises de variância conduzidas para procedências 1 e 2 (Proc. 1, Proc. 2) e respectivas progênies (P) de *Eremanthus erythropappus*, para as características de diâmetro do colo, altura total e taxa de sobrevivência das mudas no campo, aos seis meses após o plantio.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios		
		Diâmetro	Altura	Sobrevivência
Blocos	2	228,10	3266,68	666,41
Progênies (P)	39	13,42 <sup>Ns</sup>	565,99 <sup>*</sup>	260,04 <sup>Ns</sup>
Procedência (Pc)	1	0,0007 <sup>Ns</sup>	554,08 <sup>Ns</sup>	-
P/Proc. 1	21	18,12 <sup>Ns</sup>	855,38 <sup>**</sup>	-
P/Proc. 2	17	8,41 <sup>Ns</sup>	209,20 <sup>Ns</sup>	-
Entre parcelas	78	11,56	358,57	225,29
Dentro de parcelas	484	6,29	194,99	-

Ns. Não significativo pelo teste de F ( $p > 0,05$ ). \*\* e \*, significativo pelo teste de F ( $p < 0,01$ ) e ( $p < 0,05$ ) respectivamente.

As estimativas dos parâmetros genéticos da característica altura total nas mudas, a única que mostrou significância na análise de variância entre todas as progênies, entre procedências e entre as progênies dentro da procedência 1, encontram-se na Tabela 19. As estimativas não foram realizadas para as



progênies dentro da procedência 2, por essas não apresentarem variações significativas na análise de variância.

As progênies dentro da procedência 1 foram geneticamente variáveis para a característica altura, mostrando valores de coeficiente de variação genética de 10,56% e também com possibilidade de possuírem esses valores herdáveis, pois houve estimativa de herdabilidade de 58,08%.

Recomenda-se, portanto, que a seleção para a característica altura seja efetuada somente entre as progênies dentro da população 1 (que estão inseridas nas altitudes entre 1.200 e 1.400m), apesar da análise conjunta de todas as progênies mostrar valor de coeficiente de variação genético de 6,69% e valor de herdabilidade de 35,29%.

TABELA 19. Estimativa conjunta dos parâmetros genéticos para todas as progênies e para as progênies dentro das procedências 1 e 2 de *Eremanthus erythropappus*, para a característica altura total das mudas, aos seis meses após o plantio.

Descrição	Média	Variação genética	$h^2$ (%)	Coeficiente de variação genética(%)
Todas as progênies	56,9035	14,4732	35,29	6,6856
Progênies na proc. 1	57,3562	36,7777	58,08	10,5733
Progênies na proc. 2	55,3207	-	-	-

As análises de variância também foram conduzidas em idades mais precoces, no plantio (0C) e no viveiro, aos oito meses (8V). Estas análises mostraram que, nessas duas idades, as características diâmetro e altura foram significativas entre todas as progênies e entre as progênies dentro das duas

procedências. Entre as procedências, somente a altura foi significativa nas idades precoces de oito meses no viveiro e na idade do plantio.

As estimativas dos parâmetros fenotípicos e genotípicos entre todas as progênies foram realizadas somente nas idades e para as características que se mostraram significativas. Essas estimativas para as idades precoces (8V e 0C), bem como para a última avaliação, aos seis meses no campo (6C), encontram-se na Tabela 20. Espera-se que os maiores ganhos genéticos sejam alcançados na seleção para a característica altura total das mudas. Para a maioria dos parâmetros de herdabilidade e de coeficiente de variação genética (entre e dentro de família), essa característica apresentou valores superiores aos do diâmetro medido à altura do colo, em todas as idades estudadas.

Para a característica diâmetro houve altos valores de coeficiente de variação genética em relação aos coeficientes de variação experimental para as medições realizadas aos oito meses no viveiro e na idade do plantio. Isso ocasionou altos valores nas correlações  $CV_p/CV_e$ , todos maiores ou próximos de 1, indicando altos ganhos genéticos na seleção dessa característica nessas idades. De acordo com Vencovsky & Barriga (1992), quando os valores dessa razão são superiores a um há indicação de que altos ganhos genéticos podem ser alcançados pela seleção.

Para a característica altura, os coeficientes de variação genética também mostraram valores superiores nas idades de oito meses no viveiro e na idade do plantio das mudas (27,17% e 20,18% dentro de parcelas aos oito meses e na idade do plantio, e 15,69% e 11,65% entre parcelas aos oito meses e na idade do plantio), indicando maiores ganhos nessas idades e relação  $CV_p/CV_e$  também maiores. Porém, apesar de menor, o coeficiente de variação genética mostrou valor de 11,93% dentro de parcelas e 6,89% entre parcelas na idade de seis meses após o plantio, o que ocasionou valores de relação  $CV_p/CV_e$  de 1,126 quando a seleção foi realizada dentro de parcela e de 0,65 quando a seleção foi

realizada entre parcelas. Isso indica que podem-se obter altos ganhos para a altura na seleção aos seis meses quando essa é realizada em plantas dentro de parcelas.

Em todas as idades analisadas, os coeficientes de variação genética dentro de parcelas mostram valores bastante superiores aos dos coeficientes entre parcelas, sendo quase o dobro (Tabela 20). Isso mostra que a variação entre plantas dentro da progênie é maior que a variação entre progênies, indicando altos ganhos genéticos quando se selecionam não só as melhores progênies, mas também quando se selecionam as melhores plantas dentro da parcela em diâmetro e em altura.

Os ganhos genéticos obtidos, maiores dentro de parcelas do que entre parcelas, também podem ser confirmados pelas maiores variâncias genéticas dentro de família, em contraste com as menores variâncias genéticas entre famílias.

## 5.2 Correlações idade-idade

Para esse estudo foram geradas matrizes de correlações fenotípicas e genotípicas idade-idade para cada característica avaliada, exceto para a taxa de sobrevivência das mudas que foi medida somente aos seis meses após o plantio.

A Tabela 21 mostra os componentes de variância fenotípicos e genotípicos e as covariâncias utilizadas para o cálculo da matriz de correlações para a característica diâmetro. Nessa matriz, observa-se que houve correlação genética de 1,0 entre as idades do plantio e seis meses após o plantio, e correlação fenotípica de 0,50.

Isso mostra que há uma tendência de se manter o crescimento em diâmetro de acordo com a progênie, sendo, portanto, possível prever ganhos em

diâmetro para o material genético em estudo, pois há fortes correlações genéticas.

TABELA 20. Estimativa de parâmetros fenotípicos e genotípicos para as características diâmetro nas idades de oito meses no viveiro (8V) e na idade do plantio (0C), e altura nas idades 8V, 0C e seis meses após o plantio (6C) de *Eremanthus erythropappus*.

Parâmetro genético	Diâmetro		Altura		
	8V	0C	8V	0C	6C
Var. blocos	0,8428	0,6087	69,73	102,77	16,15
Var. genética entre famílias	0,1234	0,2198	17,88	16,13	15,35
Var. genética dentro de famílias	0,3702	0,6593	53,63	48,38	46,06
Var. fenotípica dentro de famílias	0,7187	1,0394	17,63	31,53	194,99
Var. residual	0,2543	0,1621	14,68	13,17	36,33
Var. total	1,9392	2,0300	119,92	163,60	262,82
H <sup>2</sup> (US = média famílias)	55,8%	64,64%	79,86%	71,6%	36,65%
H <sup>2</sup> (US = dentro famílias)	51,52%	63,43%	100%	53,45%	23,62%
H <sup>2</sup> (US = indivíduo no bloco)	45,03%	61,85%	100%	100%	24,90%
H <sup>2</sup> (US = indivíduo no experimento)	25,46%	43,31%	59,62%	39,43%	23,37%
CV <sub>e</sub> sem informação dentro de parcela (CV <sub>1</sub> )	13,65%	10,97%	15,76%	12,71%	15,68%
CV <sub>e</sub> (CV <sub>2</sub> )	11,01%	7,35%	14,22%	10,53%	10,59%
CV <sub>f</sub> entre (CV <sub>3</sub> )	7,67%	8,56%	15,69%	11,65%	6,89%
CV <sub>f</sub> dentro (CV <sub>4</sub> )	13,28%	14,83%	27,17%	20,18%	11,93%
CV <sub>3</sub> /CV <sub>2</sub>	0,6966	1,1644	1,104	1,107	0,650
CV <sub>4</sub> /CV <sub>2</sub>	1,2066	2,0168	1,911	1,917	1,126

Var.: variância; H<sup>2</sup>: herdabilidade; US: unidade de seleção; CV<sub>e</sub>: coeficiente de variação experimental; CV<sub>f</sub>: coeficiente de variação genético.

TABELA 21. Variâncias, covariâncias e correlações fenotípicas e genotípicas entre as idades no plantio (0C) e seis meses após o plantio (6C) para a característica diâmetro medido à altura do colo, de plantas de *Eremanthus erythropappus*.

Idades	Componentes de variâncias		Covariâncias*		Correlações*	
	Fenotípica ( $\sigma_r^2$ )	Genotípica ( $\sigma_g^2$ )	0C	6C	0C	6C
0C	0,340023	0,219759	-	0,293	-	0,50
6C	0,994281	0,138523	0,176	-	1,00	-

\*Covariâncias e correlações fenotípicas e genotípicas encontram-se acima e abaixo da diagonal, respectivamente.

Segundo Pereira et al. (1997), a grande demanda de tempo exigida pelas espécies florestais para completar um ciclo de produção é o principal problema dos programas de seleção. A estimativa das correlações genéticas em diferentes idades é uma metodologia promissora, que poderá promover a seleção de indivíduos em idade juvenil, evidenciando o sucesso da seleção precoce (Pereira et al., 1997).

São poucos os estudos de seleção precoce no Brasil. Pereira et al. (1997) avaliaram a eficiência da seleção precoce em *Eucalyptus camaldulensis* aos 17, 31, 43 e 81 meses de idade, e concluíram que o desempenho da seleção precoce foi eficiente, sendo a maior estimativa de ganho anual esperado com a seleção verificada aos 17 meses de idade. Rezende et al. (1994) estudaram 24 clones de eucalipto cuja idade de plantio variou entre 2 a 5 anos, e concluíram que a avaliação aos 2 anos proporcionou as maiores estimativas do ganho obtido com a seleção precoce.

As variâncias, covariâncias e correlações fenotípicas e genotípicas entre as idades do plantio e seis meses após o plantio das mudas para a característica

altura total das mudas estão apresentadas na Tabela 22. Altas correlações genotípicas foram observadas entre as idades do plantio e seis meses após plantio (0,89). As correlações fenotípicas mostraram valores de 0,62. Essas altas correlações genéticas entre as idades também evidenciam que há um padrão de crescimento em altura nas progênes, mostrando que se pode prever o ganho em altura para as mudas analisadas.

TABELA 22. Variâncias, covariâncias e correlações fenotípicas e genotípicas entre as idades no plantio (0C) e seis meses após o plantio (6C) para a característica altura total das mudas de *Eremanthus erythropappus*.

Idades	Componentes de variâncias		Covariâncias*		Correlações*	
	Fenotípica ( $\sigma_f^2$ )	Genotípica ( $\sigma_g^2$ )	0C	6C	0C	6C
0C	22,525773	16,12795	-	18,94	-	0,62
6C	41,894417	15,347763	14,01	-	0,89	-

\*Covariâncias e correlações fenotípicas e genotípicas encontram-se acima e abaixo da diagonal, respectivamente.

### 5.3 Incremento médio em diâmetro e altura ao longo do tempo

Para os crescimentos médios em diâmetro e em altura foram gerados gráficos que estão representados nas Figura 19 e 20. Observa-se um incremento em diâmetro menor no primeiro intervalo de tempo (de quatro meses), de apenas 0,89mm, que corresponde a um incremento de 19,43% (Figura 19). Aos seis meses, houve um incremento de 4,75mm, correspondendo a um crescimento de 86,84%. Calculando-se o incremento total em diâmetro, verifica-se que houve um crescimento das mudas de 123,14% entre as idades de oito meses no viveiro e seis meses após o plantio das mudas.

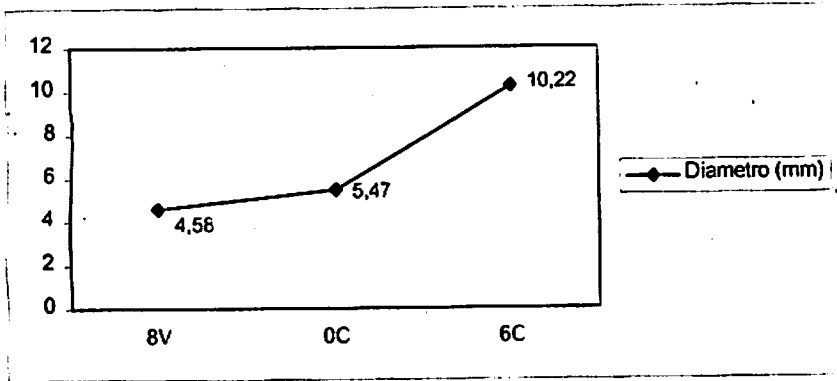


FIGURA 19. Gráfico do crescimento em diâmetro de mudas de *Eremanthus erythropappus* aos oito meses no viveiro (8V), na idade do plantio (0C) e seis meses após o plantio (6C).

Pode-se observar um incremento em altura no primeiro intervalo de tempo (de quatro meses) de 7,53cm, correspondente a um crescimento de 27,94% (Figura 23). No segundo intervalo de tempo (de seis meses), houve um crescimento em altura de 22,42cm, que corresponde a um incremento em porcentagem de 65,06%.

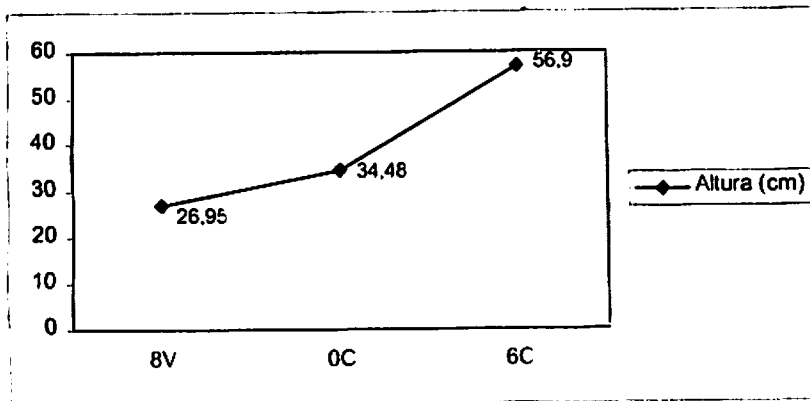


FIGURA 20. Gráfico do crescimento em altura de mudas de *Eremanthus erythropappus* aos oito meses no viveiro (8V), na idade do plantio (0C) e seis meses após o plantio (6C).

#### 5.4 Médias das características das progênies nas idades estudadas

Na Tabela 23 são mostrados os valores médios do diâmetro e altura das mudas, medidos nas idades de oito meses no viveiro, no plantio e seis meses após o plantio, e as médias da taxa de sobrevivência, medidas aos seis meses após o plantio das mudas.

Para a característica diâmetro, as médias das progênies dentro das procedências 1 e 2 mostraram diferenças pelo teste Scott-Knott ( $P < 0,05$ ) nas medidas realizadas nas idades de oito meses no viveiro e na idade do plantio. Espera-se que as progênies que obtiveram uma maior média de diâmetro possuam uma maior capacidade de se estabelecer no campo.

Na idade de seis meses após o plantio não houve diferenças significativas entre as progênies para o diâmetro (Tabela 18) e, portanto, não se realizou o teste de médias.

Para a característica altura (Tabela 23), houve diferenças entre as médias das progênies dentro das procedências 1 e 2 nas idades de oito meses no viveiro e na idade do plantio. Seis meses após o plantio, somente as progênies dentro da procedência 1 mostraram diferenças significativas para a altura (Tabela 18), sendo, portanto, realizado o teste de médias que mostrou diferenças pelo teste Scott-Knott ( $P < 0,05$ ) (Tabela 23).

A taxa de sobrevivência das mudas, medida seis meses após o plantio, não mostrou diferenças significativas entre progênies (Tabela 18), não tendo sido realizado o teste Scott-Knott.



TABELA 23. Média dos diâmetros, das alturas e das taxas de sobrevivência (Sobr.) de todas as mudas das 40 progênies (Prog.) de candeia (*Eremanthus erythropappus*), dentro das duas procedências (Proc.) coletadas nas altitudes de 1200 a 1400m (proc. 1) e 1400 a 1600m (proc. 2) nas idades de oito meses no viveiro (8V), na idade do plantio (0C) e seis meses após o plantio (6C).

Proc.	Prog.	Diâmetro			Altura			Sobr.
		8V (mm)	0C (mm)	6C (mm)	8V (cm)	0C (cm)	6C (cm)	6C (%)
Proc. 1 (1200 a 1400m)	1	4,31 b	5,23 b	8,77	15,30 d	21,46 c	43,87 b	94,44
	2	4,49 b	5,50 b	8,45	22,36 b	28,94 b	44,79 b	94,44
	3	4,60 b	6,48 a	13,00	27,70 a	35,51 a	68,88 a	100,00
	4	5,63 a	6,48 a	9,66	29,31 a	35,52 a	53,59 b	83,33
	5	5,97 a	6,96 a	10,16	33,40 a	39,27 a	56,58 a	100,00
	6	4,30 b	4,87 b	9,42	24,04 b	32,34 b	52,45 b	83,33
	7	3,98 b	4,65 b	8,41	20,62 c	28,16 b	50,53 b	83,33
	8	4,12 b	4,98 b	8,88	24,16 b	30,62 b	47,20 b	100,00
	9	4,10 b	4,95 b	10,52	28,79 a	36,49 a	63,33 a	88,89
	10	4,18 b	5,03 b	10,01	26,55 b	38,12 a	63,85 a	94,44
	11	4,39 b	5,32 b	11,17	28,87 a	40,03 a	69,09 a	72,22
	12	4,74 b	5,80 a	9,30	31,84 a	38,46 a	47,24 b	72,22
	13	4,77 b	5,77 a	10,79	33,43 a	39,17 a	59,49 a	83,33
	14	4,87 b	5,70 a	9,88	26,99 b	36,92 a	59,46 a	77,78
	15	4,57 b	5,97 a	10,69	33,30 a	41,13 a	58,60 a	88,89
	16	4,56 b	5,33 b	9,52	30,93 a	39,41 a	58,92 a	88,89
	17	4,47 b	5,14 b	9,44	31,03 a	39,55 a	53,34 b	94,44
	18	4,32 b	5,39 b	11,52	24,46 b	36,33 a	61,36 a	100,00
	19	4,30 b	5,08 b	9,52	24,69 b	36,24 a	50,30 b	72,22
	20	4,61 b	5,52 b	11,18	31,19 a	40,19 a	63,41 a	88,89
	21	4,40 b	5,23 b	11,02	33,66 a	40,12 a	68,72 a	66,67
	22	4,69 b	5,83 a	11,61	33,53 a	41,20 a	66,83 a	88,89
Proc. 2 (1400 a 1600m)	23	4,06 b	4,79 b	9,84	29,19 a	37,88 a	51,40	83,33
	24	4,94 a	5,90 a	10,27	31,45 a	36,60 a	57,88	100,00
	25	5,83 a	6,92 a	12,07	31,79 a	38,24 a	59,42	94,44
	26	4,79 b	5,85 a	10,91	22,98 b	31,20 b	57,96	94,44
	27	4,06 b	4,77 b	10,12	17,91 c	27,88 b	51,33	88,89
	28	5,40 a	5,43 b	9,97	26,20 a	32,51 a	54,29	100,00
	29	4,50 b	5,19 b	10,44	23,94 b	32,64 a	51,90	88,89
	30	4,63 b	5,44 b	10,49	28,51 a	35,78 a	57,58	100,00
	31	5,18 a	5,77 a	11,03	23,96 b	34,97 a	62,91	100,00

'continua'...

TABELA 23, cont.

Proc.	Prog.	Diâmetro			Altura			Sobr. 6C (%)
		8V (mm)	0C (mm)	6C (mm)	8V (cm)	0C (cm)	6C (cm)	
	32	4,87 b	6,00 a	9,88	24,94 b	31,94 a	52,87	94,44
	33	4,82 b	5,41 b	10,18	24,70 b	30,34 b	54,44	94,44
	34	5,48 a	6,26 a	10,19	28,74 a	33,65 a	50,67	100,00
Proc. 2 (1400 a 1600m)	35	5,10 a	5,83 a	9,43	29,68 a	33,99 a	56,93	100,00
	36	4,18 b	4,78 b	9,10	18,89 c	26,76 b	55,64	88,89
	37	4,70 b	5,25 b	9,24	27,38 a	32,41 a	62,69	94,44
	38	4,20 b	4,51 b	8,63	19,31 c	26,95 b	49,10	78,33
	39	4,62 b	5,43 b	10,70	24,88 b	29,65 b	53,95	100,00
	40	4,44 b	5,20 b	9,97	23,57 b	29,07 b	54,81	100,00
	Média	4,58	5,47	10,22	26,95	34,48	56,90	90,43

\* As progênies dentro das procedências 1 e 2 que apresentaram diferenças significativas para as características estudadas foram submetidas ao teste de médias Scott-Knott. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste a 5% de probabilidade.

## 6 CONCLUSÕES

As matrizes inseridas ao longo do gradiente altitudinal (1.200 e 1.600m) não caracterizam duas procedências distintas de acordo com as características diâmetro e altura. Houve variações somente entre progênies.

A melhor estratégia de melhoramento genético de mudas de candeia para recuperação de áreas degradadas seria selecionar para a característica altura. Além disso, a seleção deverá ser conduzida não só nas progênies, mas também nos indivíduos dentro das progênies.

Houve correlações idade-idade para as características diâmetro e altura entre as idades do plantio e seis meses após o plantio das mudas.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRUZ, C. D. Programa Genes: Versão Windows. Viçosa: UFV, 2001. 648 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV, 2001. 390 p.

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

PEDRALLI, G. Estrutura diamétrica, vertical e análise do crescimento da candeia (*Vanillosmopsis erythropappa* Schult. Bip) na Estação Ecológica do Tripuí. Ouro Preto-MG. Revista *Árvore*, Viçosa, v.21, n.2, p.301-306, abr./jun. 1997.

PEREIRA, A. B.; MARQUES JÚNIOR, O. G.; RAMALHO, M. A. P.; ALTHOFF, P. Eficiência da seleção precoce em famílias de meio irmãos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., avaliadas na região noroeste do estado de Minas Gerais. *Cerne*, Lavras, v.3, n.1, p.67-81, 1997.

PÉREZ, J. F. M. Sistema de manejo para a candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish ). 2001. 71 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

REZENDE, G. D. S. P.; BERTOLUCCI, F. L. G.; RAMALHO, M. A. P. Eficiência da seleção precoce na recomendação de clones de eucalipto avaliados no norte do Espírito Santo e sul da Bahia. *Cerne*, Lavras, v.1, n.1, p.45-50, 1994.

RIZZINI, C. T. *Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira*. São Paulo: Edgard Blücher, 1979. 296 p.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento. *Revista brasileira de Genética: Riberão Preto*, 1992. 496 p.