



ISSN 0100-3453

CIRCULAR TÉCNICA Nº 176

JANEIRO 1991

UM ENSAIO FATORIAL DE ESPÉCIES E ADUBAÇÕES DE Eucalyptus

Frederico Pimentel Gomes*
Carlos Henrique Garcia**

Introdução

Os ensaios fatoriais apresentam, em muitos casos, grandes vantagens sobre os experimentos simples, que estudam apenas um fator de cada vez. Tais vantagens nem sempre são bem aproveitadas nas pesquisas florestais. Daí a publicação deste trabalho, em que o assunto é discutido com detalhes, com exposição de métodos que podem melhorar muito os resultados dos experimentos.

Material e Métodos

Trata-se de um ensaio fatorial de adubação de 3 espécies de eucaliptos (**E. grandis**, **E. citriodora** e **E. urophylla**) X 8 tipos de adubação, dados pelas fórmulas 000, 022, 122, 212, 220, 221 e 222. Nelas o nível básico é:

31 g/planta para o N,
88 g/planta para o P₂O₅,
33 g/planta para o K₂O.

Os fertilizantes aplicados foram: a uréia, o superfosfato triplo e o cloreto de potássio. O espaçamento foi de 3,0 x 1,5 metros para as três espécies.

* Professor Catedrático aposentado da ESALQ/USP e consultor do IPEF.

** Engenheiro Florestal – pesquisador do IPEF.

O delineamento dos tratamentos de adubação corresponde ao tipo conhecido por FAO-ANDA, tendo como ponto básico o tratamento 222.

Foram utilizadas parcelas de 25 plantas úteis, com bordadura dupla, em 3 blocos casualizados completos, isto é, cada um com 24 tratamentos, que são as combinações das 3 espécies com os 8 tipos de adubação.

Os dados relativos a Altura, DAP e % Falhas, aos 6 anos de idade, foram estudados através da análise de variância, com base em equações de regressão.

Estudo da Altura

A análise da variância preliminar deu os resultados a seguir.

Tabela 1: Análise da variância dos dados de altura, aos 6 anos de idade

C. Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Significância
Blocos	2	21,1061	10,5530	5,86	0,54%
Tratamentos	23	165,1816	7,1818	3,99	0,0003%
Resíduo	46	82,8124	1,8003		

Verifica-se, por esses resultados, que há efeito altamente significativo para tratamentos, mas não se sabe se tal efeito é de espécies, de adubação ou de ambos. Convém, portanto, fazer uma análise em que sejam separados os efeitos dos fatores em estudo: Espécies, de um lado, e Adubação do outro. Isto foi feito na Tabela 2.

Tabela 2: Análise da variância dos dados de altura, com separação para os efeitos de Espécies, de Adubação e da Interação Espécies x Adubação.

C. Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Significância
Blocos	2	21,1061	10,5530	5,86	0,54%
Espécies (E)	2	76,2662	38,1331	21,18	0,00%
Adubação (A)	7	63,4392	9,0627	5,03	0,03%
Interação E X A	14	25,4762	1,8197	1,01	45,90%
Resíduo	46	82,8124	1,8003		

Por ela se verifica, agora, que há efeito altamente significativo tanto para Espécies como para Adubação. Por outro lado (fato importantíssimo) não há o menor indício de efeito da Interação Espécies X Adubação, isto é, tudo indica ser idêntica a resposta à Adubação nas 3 espécies. Assim sendo, as Espécies podem ser comparadas entre si independentemente da Adubação, ao passo que a Adubação pode ser estudada em média para as 3 Espécies. Isso dá maior segurança e maior generalidade para os resultados.

No que se refere às Espécies, suas médias de Altura, cada uma calculada com $r = 24$ parcelas, são:

E. grandis	15,43 m
E. urophylla	14,05 m
E. citriodora	12,92 m

A diferença mínima significativa entre essas médias, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, é:

$$\Delta = q \frac{s}{\sqrt{r}},$$

$$= 3,43 \frac{1,342}{\sqrt{24}} = 0,94$$

Verifica-se, pois, que são significativas as diferenças entre as médias de alturas de qualquer para das 3 Espécies.

Por sua vez, as médias dos tratamentos de Adubação, cada uma relativa a 9 parcelas, são as seguintes:

000	13,64 m	202	12,34 m	221	15,08 m
022	14,00 m	212	13,28 m	222	14,50 m
122	14,62 m	220	15,51 m		

Como temos ai tratamentos quantitativos, com mais de dois níveis, referentes ao Nitrogênio, ao Fósforo e ao Potássio, o teste de Tukey e similares, como o de Duncan e o de Bonferroni, não deve ser usado para comparação dessas médias. O caminho conveniente é o estudo da regressão, sem distinção de Espécies, uma vez que não há interação Espécies x Adubação. Obtemos assim os dados da Tabela 3. Para conseguir as Somas de Quadrados relativas ao efeito linear do Nitrogênio (N') e ao efeito quadrático do Nitrogênio (N''), por exemplo, utilizam-se os totais de Altura referentes aos tratamentos 022, 122 e 222. Para o caso do Fósforo, os tratamentos seriam 202, 212 e 222. Finalmente, para o potássio, os totais usados são correspondentes aos tratamentos 220, 221 e 222.

Tabela 3: Decomposição dos 7 graus de liberdade para tratamentos de Adubação, relativa aos dados de Altura.

Causas de Variação	G.L.	S.Q. = Q.M.	F
Testemunhas v. Aduados	1	2,5329	1,410
Nitorgênio Linear (N')	1	1,1399	0,633
Nitorgênio Quadrático (N'')	1	0,8092	0,450
Fósforo Linear (P')	1	19,3855	10,770**
Fósforo Quadrático (P'')	1	0,1993	0,111
Potássio Linear (K')	1	4,5199	2,510
Potássio Quadrático (K'')	1	0,0342	0,019

Os valores de F da Tabela 3 demonstram que somente o efeito linear do Fósforo (P') é significativo, o que se vê melhor pela observação das médias relativas a esse nutriente:

202	12,43 m
221	13,26 m
222	14,50 m

Por outro lado, embora não seja significativo, o efeito linear do Potássio merece consideração por ser negativo e com valor de F não muito baixo (2,51). As médias correspondentes são:

220	15,51 m
221	15,08 m
222	14,50 m

O efeito nocivo do Potássio, se existente, decorreria, provavelmente, de erro no método de aplicação das misturas fertilizantes.

A equação de regressão para o efeito linear do fósforo é dada pela expressão:

$$Y = \hat{Y} + 0,01061X - 1,0375$$

onde: Y é a altura estimada, em metros, \hat{Y} é a média dos tratamentos 202, 212 e 222 para a espécie em consideração e X é o nível de adubação, em kg/ha do nutriente.

Para obter a equação de regressão, o melhor método é o que utiliza polinômios ortogonais (PIMENTE-GOMES, 1987, capítulo 12). Ela é dada pela expressão:

$$Y = \hat{Y} + B_1 M_1 P_1 + B_2 M_2 P_2 + \dots,$$

onde:

Y é o valor estimado para a variável em consideração,

\hat{Y} é a sua média,

$M_1, M_2, \dots, P_1, P_2, \dots$ são tirados de tabela apropriadas, e os coeficientes B_1, B_2, \dots são calculados pelas fórmulas:

$$B_1 = \frac{\sum C_1 T}{r K_1}, \quad B_2 = \frac{\sum C_2 T}{r K_2}, \dots$$

Nessas fórmulas T indica os totais dos tratamentos, r é o número de repetições, K_1, K_2, \dots são tirados das tabelas, que também fornecem os coeficientes C_1, C_2, \dots

No caso presente, para obter a equação de regressão relativa ao Fósforo, começamos por calcular os valores de T referentes aos tratamentos 202, 212 e 222. São eles:

202	111,8601 (9)
212	119,5599 (9)
222	130,5400 (9)

O número 9, entre parênteses, indica quantas parcelas foram somadas para obter cada valor de T. Para $n = 3$ níveis, que é o caso presente, as tabelas dadas por Pimentel-Gomes (1987) indicam os valores de $C_1 = -1, 0, + 1$, e de $C_2 = 1, -2, 1$, que se usam, respectivamente, para calcular B_1 e B_2 . No caso de B_1 temos, pois,

$$\sum C_1 T = (-1) 111,8601 + 0 \times 119,5599 + 1 \times 130,5400 = 18,6799,$$

Logo temos:

$$B_1 = \frac{\Sigma C_1 T}{r K_1} = \frac{18,6799}{9 \times 2} = 1,038.$$

O valor de $K_1 = 2$ é dado também pelas tabelas, juntamente com $M1 = 1$. Quanto a \hat{Y} , seu valor é:

$$\hat{Y} = \frac{111,8601 + 119,5599 + 130,5400}{27} = 13,406.$$

Não calculamos o coeficiente B_2 relativo ao termo de segundo grau por lhe corresponder um valor de F muito baixo.

A equação de regressão fica, pois, da seguinte forma:

$$Y = 13,406 + 1,0378 \cdot x,$$

onde se substituiu P_1 pelo seu valor $P_1 = x$ (PIMENTEL-GOMES, 1987). Por sua vez temos

$$x = \frac{X - \bar{X}}{q},$$

onde: X é o nível de adubação, \bar{X} é a média dos níveis de Fósforo usados no experimento (zero, 44 e 88 g/planta, isto é, zero, 97,8 kg/há e 195,6 kg/há de P_2O_5). Assim sendo, fica:

$$\bar{X} = 97,8; q = 97,8,$$

$$x = \frac{X - 97,8}{97,8} = \frac{X}{97,8} - 1$$

$$Y = 13,406 + 1,038 \left(\frac{X}{97,8} - 1 \right)$$

$$= 13,406 + 0,01061 X - 1,038$$

$$= 12,368 + 0,01061 X,$$

onde : Y é o valor estimado da Altura, em metros, e X é o nível de P_2O_5 aplicado , em kg/ha.

Esta equação indica que, para cada kg/ha de P_2O_5 há um acréscimo de 0,01061 m na altura média das árvores.

É evidente que a equação de regressão pode ser obtida mais rápida e facilmente por meio de programa apropriado de computador.

Pelo método exposto, foi possível determinar as equações para cada espécie em estudo:

$$\mathbf{E. grandis} \quad Y = 12,993 + 0,01061 X$$

$$\mathbf{E. citriodora} \quad Y = 11,272 + 0,01061 X$$

$$\mathbf{E. urophylla} \quad Y = 12,832 + 0,01061 X$$

Estudo do Diâmetro e da Porcentagem de Falhas

Aplicando-se o mesmo método para a variável DAP (Diâmetro à Altura do Peito), observa-se na Tabela 4 que, embora os efeitos de Espécies e de Adubação influenciem significativamente no desenvolvimento do diâmetro das árvores estudadas, não há interação entre estes efeitos. O mesmo pode ser observado para a porcentagem de falhas (Tabela 5). Isto significa que as espécies reagem de modo semelhante à adubação utilizada, podendo-se, portanto, recomendar a mesma adubação para as três espécies.

Tabela 4: Análise da variância dos dados de DAP.

C. Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Significância
Blocos	2	2,0493	1,0246	1,05	0,36%
Espécies (E)	2	99,2318	49,6159	51,08	0,00%
Adubação (A)	7	23,6932	3,3847	3,48	0,00%
Interação E X A	7	19,1004	1,3643	1,41	0,19%
Resíduo	46	44,6793	0,9713		

Tabela 5: Análise da variância dos dados de % Falhas.

C. Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Significância
Blocos	2	517,33	258,67	1,75	0,18
Espécies (E)	2	1369,33	684,67	4,65	0,14
Adubação (A)	7	1147,55	163,94	1,11	0,37
Interação E X A	7	1571,11	112,22	0,76	ns
Resíduo	46	6778,67	147,36		

As médias de diâmetro e % Falhas para as três espécies são:

	DAP (cm)	% Falhas
E. grandis	11,69	34,83
E. urophylla	10,61	34,67
E. citriodora	8,84	25,50
DMS	0,69	0,10

Constatam-se, assim, diferentes significativas entre as médias de diâmetro e % Falhas das 3 espécies em estudo.

Da mesma forma, podem-se verificar as diferenças existentes entre as médias destas variáveis para os tratamentos de adubação.

Tratamentos	DAP (cm)	% Falhas
000	9,21	35,11
022	10,41	26,22
122	10,58	26,67
202	9,35	38,22
212	9,97	34,22
220	11,18	28,89
221	11,18	33,33
222	10,59	30,67

Como nestes casos também não houve o efeito da interação Espécies X Adubação, podemos utilizar a análise de regressão para estudar os efeitos dos nutrientes sobre as características avaliadas, em média para as três espécies.

Tabela 6: Decomposição dos 7 graus de liberdade para tratamentos de adubação, relativa aos dados de DAP.

C. Variação	G.L.	S.Q. = Q.M.	F
Testemunha v. adubados	1	2,1792	1,211
Nitrogênio linear (N')	1	0,1353	0,075
Nitrogênio quadrático (N'')	1	0,0405	0,022
Fósforo linear (P')	1	6,9073	3,837
Fósforo quadrático (P'')	1	0,0052	0,003
Potássio linear (K')	1	1,5958	0,886
Potássio quadrático (K'')	1	0,1806	0,100

Pelos valores de F da Tabela 6, não são significativos os efeitos dos componentes das regressões. No entanto, é de se notar que o F relativo ao efeito linear do Fósforo (P') aproxima-se do nível de 5% de significância. As médias para esse nutriente são:

202	9,35 cm
212	9,93 cm
222	10,58 cm

Apesar de não ter sido comprovado o efeito linear do Fósforo, torna-se conveniente calcular a equação de regressão, ou seja, a equação que liga os níveis (X) de P aos níveis (Y) do diâmetro, para melhor estudar seus efeitos.

Utilizando novamente o método dos polinômios ortogonais, obtem-se a equação:

$$Y = \hat{Y} + 0,000887X - 0,0867$$

onde: Y = DAP estimado em cm, \hat{Y} corresponde à média dos tratamentos 202, 212 e 222 e X é o nível de fertilizante em kg/há de P₂O₅.

Temos para cada espécie separadamente as seguintes expressões:

E. grandis $Y = 10,598 + 0,000887 X$
E. citriodora $Y = 9,578 + 0,000887 X$
E. urophylla $Y = 10,463 + 0,000887 X$

Conforme se verifica na Tabela 7, não há efeito significativo dos nutrientes sobre a porcentagem de Falhas, sendo desnecessária, portanto, a determinação de equações que estimem a porcentagem de falhas em função das dosagens de adubo.

Tabela 7: Decomposição dos 7 graus de liberdade para os tratamentos de adubação, relativa aos dados de % Falhas.

C. Variação	G.L.	S.Q. = Q.M.	F
Testemunha v. adubados	1	121,95	0,8276
Nitrogênio linear (N')	1	88,98	0,6038
Nitrogênio quadrático (N'')	1	18,87	0,1280
Fósforo linear (P')	1	256,96	1,7438
Fósforo quadrático (P'')	1	0,29	0,0107
Potássio linear (K')	1	14,26	0,0561
Potássio quadrático (K'')	1	75,90	0,5602

Em anexo são mostradas as médias de tratamentos para as características avaliadas no presente trabalho.

Conclusões

Os resultados obtidos indicam efeito linear favorável e significativo do Fósforo (P') sobre a altura. No caso do DAP tal efeito, também favorável, esteve próximo de ser significativo. Fica assim demonstrada resposta favorável da adubação fosfatada. Os demais nutrientes, N e K, não deram resposta. O fato de ser linear a resposta da Altura ao Fósforo demonstra terem sido insuficientes os níveis de P utilizados no ensaio, pois, pela lei dos acréscimos não-proporcionais, deve existir sempre uma curvatura nessa resposta, isto é, um termo de segundo grau, desde que se apliquem níveis suficientemente elevados do nutriente.

O fato de não se haver sido comprovado efeito para o N e o K indica que estes nutrientes para estas condições locais, devem ser aplicados em doses pequenas, apenas para manter seu nível no solo.

Bibliografia

- PIMENTEL-GOMES, F. Curso de estatística experimental. 12. ed. São Paulo, Nobel, 1987. 466p.
- SILVA, A.A da & SIVLA, I.P. da. Estatística experimental aplicada à ciência florestal. Recife, UFRPE, 1982. 292p.

ANEXOS

ANEXO 1 – Quadro de médias das variáveis DAP, Altura e porcentagem de Falhas por Bloco e Tratamento.

Bloco	Trat.	Espécies	DAP (cm)	Alt (m)	Falhas (%)	Bloco	Trat.	Espécies	DAP (cm)	Alt (m)	Falhas (%)
1	222	E. urophylla	10.07	13.81	44.00	1	202	“	9.13	10.07	64.00
2	222	“	11.83	14.58	32.00	2	202	“	9.22	11.73	24.00
3	222	“	10.61	14.63	44.00	3	202	“	11.98	17.52	32.00
1	122	“	9.68	13.40	32.00	1	221	“	12.54	17.78	20.00
2	122	“	10.42	14.11	48.00	2	221	“	14.61	17.77	52.00
3	122	“	10.61	15.38	12.00	3	221	“	12.95	17.76	44.00
1	022	“	11.24	13.61	32.00	1	220	“	12.38	16.34	28.00
2	022	“	10.26	11.17	12.00	2	220	“	12.32	16.71	24.00
3	022	“	9.88	15.21	12.00	3	220	“	14.19	18.18	36.00
1	212	“	9.08	12.90	28.00	1	000	“	11.98	16.40	44.00
2	212	“	11.60	15.13	68.00	2	000	“	10.84	14.24	40.00
3	212	“	11.32	14.67	32.00	3	000	“	9.56	14.38	36.00
1	202	“	10.57	13.27	44.00	1	222	“	8.69	12.34	8.00
2	202	“	9.10	11.16	60.00	2	222	“	12.10	15.62	32.00
3	202	“	10.77	14.71	40.00	3	222	“	9.45	15.11	28.00
1	221	“	10.19	13.90	36.00	1	122	E. citriodora	9.18	14.33	28.00
2	221	“	9.47	12.78	24.00	2	122	“	9.94	12.30	16.00
3	221	“	11.99	15.89	36.00	3	122	“	8.78	14.06	16.00
1	220	“	11.47	14.41	36.00	1	022	“	7.99	11.31	20.00
2	220	“	11.24	17.01	44.00	2	022	“	8.71	13.44	16.00
3	220	“	11.21	15.33	20.00	3	022	“	9.16	14.74	24.00
1	000	“	10.90	14.18	32.00	1	212	“	8.53	10.62	12.00
2	000	“	9.68	12.41	32.00	2	212	“	7.53	11.40	60.00
3	000	“	11.40	13.59	32.00	3	212	“	8.33	12.33	12.00
1	222	E. grandis	9.96	14.07	40.00	1	202	“	7.98	11.47	44.00
2	222	“	11.05	15.45	20.00	2	202	“	6.52	8.66	20.00
3	222	“	11.51	14.93	28.00	3	202	“	8.85	13.27	16.00
1	122	“	11.40	14.88	24.00	1	221	“	9.51	13.49	24.00
2	122	“	13.44	17.01	36.00	2	221	“	9.45	11.93	28.00
3	122	“	11.78	16.11	28.00	3	221	“	8.80	14.43	36.00
1	022	“	11.81	15.36	40.00	1	220	“	9.42	13.08	32.00
2	022	“	13.58	15.64	40.00	2	220	“	9.98	15.00	24.00
3	022	“	11.08	15.53	40.00	3	220	“	8.42	13.50	16.00
1	212	“	11.41	15.46	32.00	1	000	“	8.32	12.68	40.00
2	212	“	11.16	13.71	40.00	2	000	“	7.81	11.91	32.00
3	212	“	10.74	13.34	24.00	3	000	“	8.80	12.94	28.00

ANEXO 2 – Quadro de médias das variáveis DAP, Altura e porcentagem de Falhas por tratamento.

Trat.	Espécies	DAP (cm)	Alt (m)	Falhas (%)	Trat.	Espécies	DAP (cm)	Alt (m)	Falhas (%)
222	E. urophylla	10.66	13.39	32.00	212	“	11.10	14.17	32.00
022	“	10.46	13.33	18.66	220	“	12.96	17.07	29.33
122	“	10.23	14.29	30.66	221	“	13.36	17.77	38.66
202	“	10.14	13.04	48.00	222	“	10.84	14.81	29.33
212	“	10.66	14.23	42.66	000	E. citriodora	8.31	12.51	33.33
220	“	11.30	15.58	33.33	022	“	8.62	13.16	20.00
221	“	10.55	14.19	32.00	122	“	9.30	13.56	20.00
222	“	10.83	14.34	40.00	202	“	7.78	11.13	26.66
000	E. grandis	10.79	15.00	40.00	212	“	8.13	11.45	28.00
022	“	12.15	15.51	40.00	220	“	9.27	13.86	24.00
122	“	12.20	16.00	29.33	221	“	9.25	13.28	29.33
202	“	10.11	13.10	40.00	222	“	10.08	14.35	22.66