

DELINEAMENTOS $(1/32)4^5$, $(3/64)4^5$ E $(1/16)4^5$ EM BLOCOS DE 16 UNIDADES

Armando Conagin¹
Luís Alberto Ambrósio²

RESUMO

Nos experimentos fatoriais, quando cresce o número de fatores e níveis, aumenta extraordinariamente a quantidade de tratamentos; o uso de fatoriais fracionados permite a obtenção de informações básicas, com uma quantidade bem menor de tratamentos. Este trabalho apresenta três tipos de fatoriais fracionados para 4^5 em blocos de dezesseis unidades: $(1/32)4^5$, $(3/64)4^5$ e $(1/16)4^5$, para 32, 48 e 64 tratamentos.

Palavras-chave: método estatístico, delineamento experimental, experimento fatorial fracionado.

ABSTRACT

FACTORIAL DESIGNS $(1/32)4^5$, $(3/64)4^5$ AND $(1/16)4^5$ IN BLOCKS OF 16 UNITS

When the number of factors and levels in factorial designs is increased, the number of treatments for the complete factorials increases extraordinarily; the use of fractional factorials allow the obtaining of the basic information with a smaller number of treatments. This paper presents three types of fractional factorials for the 4^5 design in blocks of sixteen units: $(1/32)4^5$, $(3/64)4^5$ and $(1/16)4^5$, for 32, 48 and 64 treatments.

Key words: statistical method, design of experiment, fractional factorials.

1. Pesquisador Científico VI, aposentado, Instituto Agrônomo - Campinas, SP, Brasil.
2. Pesquisador Científico IV, Centro de Solos e Recursos Ambientais, Instituto Agrônomo, Campinas, SP, Brasil. Email: ambrosio@iac.sp.gov.br.

INTRODUÇÃO

Os experimentos com esquemas fatoriais completos e fatoriais fracionados têm sido amplamente utilizados em pesquisas agrônomicas, biológicas, microbiológicas, médicas, farmacêuticas, químicas, de fisiologia, psicologia, educação, indústria, metalurgia, etc.

Em pesquisas de natureza qualitativa (fase de *screening*) em que se usam dois níveis de cada fator, do tipo presença e ausência (níveis 0 e 1), os fatoriais fracionados do tipo $(1/p)2^n$, têm sido grandemente utilizados visando a identificar os fatores relevantes, dentre os n utilizados. Por exemplo, na pesquisa de 8 fatores (A, B, C, D, E, F, G e H) podem eles ser estudados através de um fatorial fracionado $(1/4)2^8$, em que se confundem as interações ACD, BEF e DFG. Neste caso, é possível utilizar um delineamento com 64 tratamentos em blocos de 16 unidades, podendo-se estimar todos os efeitos principais e interações de dois fatores com 24 graus de liberdade para o resíduo (não considerando as interações de três ou mais fatores), Cochran & Cox (1957). Uma vez analisado o experimento, se houver quatro fatores relevantes, por exemplo, A, C, D e F, poderá ser feita na etapa seguinte uma pesquisa quantitativa, com os níveis 0, 1 e 2 ou 0,1, 2 e 3, em um delineamento $(1/3)3^4$ ou $(1/8)4^4$, respectivamente, o qual permitirá determinar os níveis ótimos dessas fatores para obter uma resposta máxima.

Nas pesquisas com fertilizantes, NPK, os fatoriais 3^3 em blocos de nove foram intensamente utilizados na área agrônômica em várias regiões do globo (Richardson, 1936). No Brasil, o Instituto Agrônômico de Campinas instalou, a partir de 1959, redes de experimentos 3^3 de adubação (NPK), nas culturas de algodão, milho, feijão, soja, cana-de-açúcar e café; a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, usou este fatorial principalmente na cultura de cana-de-açúcar. Em Pernambuco também foi executada extensa rede do fatorial 3^3 em pesquisas de adubação, com cana-de-açúcar. Posteriormente, com vista a aumentar os níveis utilizados, foram desenvolvidos os fatoriais fracionados $(1/5)5^3$ por Conagin *et al.* (1982); o $(1/2)4^3$ em blocos de 16 por Andrade & Noleto (1986); fatorial fracionado $(1/2)4^3$ em blocos de 8 por Conagin

et al. (1997), etc. Recentemente, Conagin & Ambrósio (2003) desenvolveram o $(1/8)4^4$, em blocos de dezesseis unidades. A adoção prática dos fatoriais fracionados pelos pesquisadores da área agrônômica demonstra a necessidade do desenvolvimento de novos métodos experimentais. Atendendo esta demanda, o presente artigo apresenta os delineamentos $(1/32)4^5$, $(3/64)4^5$ e $(1/16)4^5$ em blocos de 16 unidades.

MATERIAL E MÉTODO

Apresentam-se 40 tipos básicos de grupos de 16 tratamentos que funcionam como blocos para os três delineamentos fracionados aqui propostos. Os 10 primeiros grupos foram desenvolvidos pelos autores a partir de Andrade & Noleto (1986) e os demais 30 grupos, desenvolvidos a partir dos 9 quadrados latinos 4×4 ortogonais apresentados por Nair (1938, p.131). Cada grupo apresenta um perfeito balanceamento dos níveis de um dado fator, com os níveis dos demais fatores. Fazendo-se a permutação das 5 colunas, por exemplo, do tipo (1) da Tabela 1, podem-se criar 120 grupos de 16 tratamentos, dos quais os primeiros 10 tipos apresentados representam uma amostra dos grupos possíveis: si se considerar em também os outros tipos (11, 21 e 31) desenvolvidos a partir de Nair, por permutação das colunas, obtêm-se ao todo 480 grupos diferentes. Ainda, se em cada um dos 480 grupos forem permutados os níveis atuais adicionando a cada um deles o valor 1, depois o valor 2 e depois o valor 3, a todos os níveis (considerando o módulo 4), podem-se conseguir 1920 grupos diferentes de 16 tratamentos, com o perfeito balanceamento entre os níveis dos 5 fatores. Na Tabela 1, são apresentados os 40 tipos citados. Eles são suficientes para obter, por sorteio, 2, 3 ou 4 blocos de 16 unidades, respectivamente, para os delineamentos $(1/32)4^5$, $(3/64)4^5$ e $(1/16)4^5$.

Os grupos com 16 tratamentos diferentes são usados na formação dos blocos do experimento. Para a obtenção do $(1/32)4^5$ devem-se utilizar dois grupos de 16 tratamentos que, preferencialmente, não apresentem tratamentos comuns. Como exemplo, apresentam-se entre os primeiros 10 grupos da Tabela 1 os pares que contêm só tratamentos diferentes: grupo (1) com os grupos (4), (5), (6), (7) e (9); grupo (2) com (3), (7), (8) e (10); grupo (3) com (5), (6) e (8); grupo (4) com (5), (7), (8) e

Tabela 1. Grupos de 16 tratamentos para a obtenção dos delineamentos $(1/32)4^5$, $(3/64)4^5$ e $(1/16)4^5$ usando dois, três e quatro grupos de tratamentos, respectivamente.

Grupos de 16 tratamentos									
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
00100	00100	10000	10000	00010	00010	01000	01000	00001	00001
23310	01332	33201	31023	10332	21033	33102	23310	10233	23103
31220	02213	21302	22031	20123	32021	12203	32120	20312	31202
12030	03021	02103	03012	30201	13002	20301	10230	30120	12300
11301	10311	31110	30111	01131	10131	13011	13101	01113	11013
32111	11123	12311	11132	11213	31112	21113	31211	11321	32111
20021	12002	00212	02120	21002	22100	00212	20021	21200	20210
03231	13230	23013	23103	31320	03123	32310	02331	31032	03312
22202	20222	22220	20222	02222	20222	22022	22202	02222	22022
01012	21010	01021	01201	12100	01201	10120	00112	12010	01120
13122	22131	13122	12213	22311	12213	31221	11322	22131	13221
30332	23303	30323	33230	32033	33230	03323	33032	32303	30323
33003	30033	03330	00333	03303	30303	30033	30303	03330	33030
10213	31201	20131	21310	13021	11320	02131	12013	13102	10132
02323	32320	32032	32302	23230	02332	23230	03223	23023	02233
21133	33112	11233	13321	33112	23311	11332	21133	33211	21331
(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)
00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000
11110	01111	11101	11011	10111	11011	11101	11110	10111	11101
22220	02222	22202	22022	20222	22022	22202	22220	20222	22202
33330	03333	33303	33033	30333	33033	33303	33330	30333	33303
13201	10231	23110	20113	01321	10123	32011	12301	01132	13012
02311	11320	32011	31102	11230	01132	23110	03211	11023	02113
31021	12013	01312	02131	21103	32101	10213	30121	21310	31210
20131	13102	10213	13120	31012	23110	01312	21031	31201	20311
21302	20312	31220	30221	02132	20231	13022	23102	02213	21023
30212	21203	20321	21230	12023	31220	02123	32012	12302	30122
03122	22130	13022	12203	22310	02213	31220	01322	22031	03221
12032	23021	02123	03212	32201	13202	20321	10232	32120	12320
32103	30123	12330	10332	03213	30312	21033	31203	03321	32031
23013	31032	03231	01323	13302	21303	30132	20313	13230	23130
10323	32301	30132	32310	23031	12330	03231	13023	23103	10233
01233	33210	21033	23301	33120	03321	12330	02133	33012	01332

Continua...

Tabela 1. Continuação. Grupos de 16 tratamentos para a obtenção dos delineamentos $(1/32)4^5$, $(3/64)4^5$ e $(1/16)4^5$ usando dois, três e quatro grupos de tratamentos, respectivamente.

Grupos de 16 tratamentos									
(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)	(29)	(30)
00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000
33310	01333	33301	31033	10333	31033	33103	33310	10333	33103
11120	02111	11102	12011	20111	12011	11201	11120	20111	11201
22230	03222	22203	23022	30222	23022	22302	22230	30222	22302
13201	10231	23110	20113	01321	10123	32011	12301	01132	13012
20111	11102	10211	11120	11012	21110	01112	21011	11201	20111
02321	12320	32012	32102	21230	02132	23210	03221	21023	02213
31031	13013	01313	03131	31103	33101	10313	30131	31310	31310
21302	20312	31220	30221	02132	20231	13022	23102	02213	21023
12012	21021	02121	01212	12201	11202	20121	10212	12120	12120
30222	22203	20322	22230	22023	32220	02223	32022	22302	30222
03132	23132	13023	13203	32310	03213	31320	01332	32031	03321
32103	30123	12330	10332	03213	30312	21033	31203	03321	32031
01213	31210	21031	21301	13120	22303	12130	02113	13012	01132
23023	32032	03232	02323	23302	13330	30232	20323	23230	23230
10333	33301	30133	33310	33031	01321	03331	13033	33103	10333
(31)	(32)	(33)	(34)	(35)	(36)	(37)	(38)	(39)	(40)
00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000
22210	01222	22201	21022	10222	21202	22102	22210	10222	22102
33320	02333	33302	32033	20333	32303	33203	33320	20333	33203
11130	03111	11103	13011	30111	13101	11301	11130	30111	11301
13201	10231	23110	20113	01321	10213	32011	12301	01132	13012
31011	11013	01311	01132	11103	31011	10113	30111	11310	31110
20121	12102	10212	12120	21012	22110	01212	21021	21201	20211
02331	13320	32013	33102	31230	03312	23310	03231	31023	02313
21302	20312	31220	30221	02132	20321	13022	23102	02213	21023
03112	21130	13021	11203	12310	01123	31120	01312	12031	03121
12022	22021	02122	02212	22201	12022	20221	10222	22120	12220
30232	23203	20323	23230	32023	33220	02323	32032	32302	30322
32103	30123	12330	10332	03213	30132	21033	31203	03321	32031
10313	31301	30131	31310	13031	11330	03131	13013	13103	10133
01223	32210	21032	22301	23120	02231	12230	02123	23012	01232
23033	33032	03233	03323	33302	23033	30332	20333	33230	23330

(9); grupo (5) com (8) e (10); grupo (6) com (7), (9) e (10); e grupo (8) com (9) e (10). Por inspeção podem-se determinar os grupos diferentes dentre os outros 30, obtidos de Nair (1938).

Para o delineamento $(3/64)4^5$ requerem-se três grupos, preferencialmente, com tratamentos diferentes, o mesmo acontecendo com o $(1/16)4^5$, com quatro grupos.

Os comportamentos dos fatoriais fracionados $(1/32)4^5$ e $(3/64)4^5$ foram estudados com os dados obtidos por simulação, considerando os níveis com valores de 0, 1, 2 e 3 (para os 5 fatores) em que o valor (M), equivalente ao tratamento 00000, cujo valor foi fixado em $M = 3000$. Os coeficientes de regressão para os efeitos principais b_1, b_2, b_3, b_4 e b_5 escolhidos foram positivos, os coeficientes dos termos quadráticos $b_{11}, b_{22}, b_{33}, b_{44}, b_{55}$ foram negativos e os coeficientes das interações simples $b_{12}, b_{13}, \dots, b_{45}$ foram escolhidos também com valores negativos. Para os dois blocos usaram-se -100 e +100 para o $(1/32)4^5$; -120, +20 e +100 para o $(3/64)4^5$. Para o $(1/16)4^5$ poderiam ser, por exemplo, -130, -40, +50 e +120.

Para a análise de regressão usou-se o procedimento REG (SAS, 1999) e, para o cálculo da superfície de resposta, o procedimento RSREG (SAS, 1999). Este último permite avaliar os coeficientes do modelo, a superfície de resposta, o ponto extremo, sua natureza (máximo, mínimo ou ponto de sela), os autovalores, os autovetores, etc.

RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta 40 tipos diferentes, cada um com 16 tratamentos. Os delineamentos a serem obtidos a partir de (1) a (40), e os demais possíveis, possibilitam uma análise de regressão múltipla. No caso de experimentos de adubação em que se usam insumos caros, pode-se efetuar a análise econômica dos resultados, conforme Pimentel-Gomes (2000).

O modelo estatístico adotado para o delineamento $(1/32)4^5$ na simulação foi:

$$Y = M + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{44} X_4^2 + \beta_{55} X_5^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{14} X_1 X_4 + \beta_{15} X_1 X_5 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{24} X_2 X_4 + \beta_{25} X_2 X_5 + \beta_{34} X_3 X_4 + \beta_{35} X_3 X_5 + \beta_{45} X_4 X_5 + \beta_b X_b + \varepsilon .$$

Para o delineamento $(3/64)4^5$ com 3 blocos, o modelo é o mesmo, mas agora com β_{b1} e β_{b2} , para efeito de blocos. Para o $(1/16)4^5$ incluem-se os componentes β_{b1} , β_{b2} e β_{b3} .

Na análise de regressão foram usados os valores 0, 1, 2 e 3 para os níveis lineares; 0, 1, 4 e 9 para os níveis quadráticos e o produto dos níveis correspondentes, nas interações lineares.

Os valores observados (Y_o) e os valores estimados (Y_e) usando os tipos (1) para o primeiro bloco e o tipo (3) para o segundo bloco encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Valores observados (Y_o) e estimados (Y_e) dos 32 tratamentos do $(1/32)4^5$, em que o tipo (1) constitui o primeiro bloco e o tipo (3) o segundo bloco.

Valores observados (Y_o) e estimados (Y_e)												
Trat.	Bloco 1, tipo(1)			Bloco2, tipo (3)								
	Y_o	Y_e	Trat.	Y_o	Y_e	Trat.	Y_o	Y_e	Trat.	Y_o	Y_e	
00100	3513	3457	22202	5604	5385	10000	3428	3461	22220	5480	5630	
23310	4635	4555	01012	3228	3342	33201	5422	5523	01021	4472	4266	
31220	4575	4649	13122	5879	5507	21302	4742	4662	13122	5435	5758	
12030	4962	5028	30332	4754	4629	02103	4324	4378	30323	4860	5008	
11301	4095	4266	33003	4374	4458	31110	5322	5100	03330	4979	4874	
32111	5408	5490	10213	4787	4687	12311	5302	5334	20131	5441	5365	
20021	4092	4263	02323	5644	5618	00212	4572	4596	32032	5704	5619	
03231	5226	5370	21133	5658	5730	23013	4852	4739	11233	6116	6136	

A análise da variância obtida encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3. Análise da variância do delineamento (1/32)4⁵, usando o tipo (1) primeiro bloco e tipo (3) como segundo bloco.

Fonte da Variação	G.L.	Soma Quadrados	Quadrados Médios	F	Pr > F
Modelo	21	15291279	726156	11,33	0,0002
Resíduo	10	642676	64368		
Total corrigido	31	15933955			

Desvio padrão = 253, 51; $R^2 = 0,9597$; $R^2_{aj.} = 0,8750$;
 Média = 4902,66; Coeficiente de variação = 5,17%.

Os teste de t e as estimativas dos coeficientes do modelo constam da Tabela 4.

Tabela 4. Valores das estimativas dos coeficientes respectivos, desvio padrão, valor de t e $Pr > |t|$.

Variáveis	G.L.	Estimativa dos coeficientes	Desvio padrão	t	Pr > t
Intercepto	1	2857,50	282,97	10,10	< 0,0001
b ₁	1	612,30	283,93	2,16	0,0564
b ₂	1	1045,15	420,74	2,48	0,0323
b ₃	1	1035,02	245,14	4,22	0,0018
b ₄	1	557,92	232,34	2,40	0,0372
b ₅	1	-229,32	246,12	-0,93	0,3734
b ₁₁	1	-134,30	63,86	-2,10	0,0618
b ₂₂	1	-148,43	59,18	-2,51	0,0310
b ₃₃	1	-310,45	56,69	-5,48	0,0003
b ₄₄	1	-62,26	56,04	-1,11	0,2926
b ₅₅	1	-55,77	54,84	-1,02	0,3332
b ₁₂	1	16,43	76,25	0,22	0,8337
b ₁₃	1	-172,76	56,60	-3,05	0,0122
b ₁₄	1	-3,54	61,57	-0,06	0,9553
b ₁₅	1	79,10	61,55	1,29	0,2277
b ₂₃	1	-13,57	81,82	-0,17	0,8716
b ₂₄	1	-135,62	87,87	-1,54	0,1538
b ₂₅	1	-41,30	65,02	-0,64	0,5396
b ₃₄	1	1,04	65,73	0,02	0,9876
b ₃₅	1	212,75	57,40	3,71	0,0041
b ₄₅	1	58,70	67,54	0,87	0,4052
b ₅	1	125,53	44,81	2,80	0,0188

O procedimento REG do SAS (1999) permite a avaliação das covariâncias, das correlações, a obtenção dos valores esperados, a avaliação dos resíduos, o desvio padrão dos resíduos, os resíduos studentizados, os valores de D de Cook, o Boxplot, etc.

É possível verificar na análise a existência de fortes covariâncias e correlações entre os coeficientes, o que era de se esperar, lembrando-se que dos 1024 tratamentos do fatorial completo, estimaram-se os coeficientes do modelo a partir de 32 tratamentos num caso e de 48 tratamentos no outro.

Através do procedimento RSREG obteve-se, no exemplo analisado, o valor do ponto estacionário igual a 7281,06, sendo as coordenadas desse ponto: $X_1 = 1,55$, $X_2 = 0,70$, $X_3 = 2,13$, $X_4 = 3,89$ e $X_5 = 6,98$. Os autovalores (*eigenvalues*) foram: $\lambda_1 = -17,03$, $\lambda_2 = -107,36$, $\lambda_3 = -185,68$, $\lambda_4 = -389,75$ e $\lambda_5 = -845,79$. Os cinco autovetores (*eigenvectors*) também foram determinados. O ponto estacionário obtido foi de máximo.

Para esclarecer o comportamento dos coeficientes, fez-se uma reanálise, considerando no modelo só as interações maiores, coluna (B) da Tabela 5.

Na análise feita com eliminação de todas as interações, aparecem só as covariâncias entre os coeficientes b_1 e b_{11} ; b_2 e b_{22} ; b_3 e b_{33} ; b_4 e b_{44} ; b_5 e b_{55} , (as demais foram nulas). As respectivas correlações foram iguais a -0,9583. Esta correlação alta e negativa entre os níveis das variáveis 0, 1, 2, 3 (valores positivos dos $b_{i's}$), são correlacionados com os valores 0, 1, 4 e 9 (coeficientes quadráticos negativos dos $b_{ii's}$). Também foi feita a análise de um exemplo do $(3/64)4^5$ cujos resultados são similares aos obtidos, mas não foram incluídos neste artigo. Foram usados os tipos (1), (7) e (3) para os três blocos de 16 parcelas.

RECOMENDAÇÕES

Se os coeficientes de variação, obtidos em pesquisas afins, são normalmente altos, deve-se dar preferência ao delineamento $(3/64)4^5$ ou ao $(1/16)4^5$, para obter maior quantidade de graus de liberdade no resíduo, estimar os coeficientes com maior precisão e obter maior poder discriminativo no teste dos coeficientes do modelo.

Tabela 5. Valores das estimativas dos coeficientes, nos casos de modelo completo (A), modelo só com as interações importantes (B), modelo sem interações (C) obtidos pelo procedimento REG e a análise do $(1/32)4^5$ feita pelo RSREG (análise sem blocos), mostrada em (D).

Variáveis	GL	Estimativa dos coeficientes			
		(A)	(B)	(C)	(D)
Intercepto	1	2857,50	2798,58	2752,47	2920,47
b₁	1	612,30	629,21	560,82	518,00
b₂	1	1045,15	938,79	664,84	895,72
b₃	1	1035,02	1031,39	966,14	1001,05
b₄	1	557,92	618,58	323,16	575,37
b₅	1	-229,32	-159,29	320,32	-215,05
b₁₁	1	-134,30	-129,09	-129,09	-115,45
b₂₂	1	-148,43	-154,11	-137,09	-143,47
b₃₃	1	-310,45	-313,34	-269,97	-303,07
b₄₄	1	-62,26	-69,87	-6,28	-66,83
b₅₅	1	-55,77	-66,02	-58,34	-58,11
b₁₂	1	16,43	—	—	33,29
b₁₃	1	-172,76	-161,78	—	-161,96
b₁₄	1	-3,54	—	—	13,76
b₁₅	1	79,10	86,74	—	84,29
b₂₃	1	-13,57	—	—	11,78
b₂₄	1	-135,62	-100,39	—	-105,49
b₂₅	1	-41,30	—	—	-14,77
b₃₄	1	1,04	—	—	-14,57
b₃₅	1	212,75	210,80	—	214,10
b₄₅	1	58,70	—	—	39,06
b_b	1	125,53	125,53	125,53	—
Desvio Padrão		253,51	226,15	357,15	326,17
Média		4902,66	4902,66	4902,66	4902,66
Coefficiente de Variação		5,17%5	4,61%	7,28%	6,65%
R²		0,96	0,95	0,84	—
R² ajustado		0,88	0,90	0,75	—

Feita a análise com o modelo completo e existindo alguns testes de *t* com alta probabilidade (por exemplo, $P > 0,35$), podem-se eliminar do modelo os coeficientes de pequena expressão e reanalisar o experimento, o que permite aumentar a sensibilidade dos testes para os coeficientes restantes.

Se todas as interações forem pequenas, com valores de *Pr* altos, reanalisa-se o experimento adotando o modelo quadrático, sem interações. É um processo similar à regressão *stepwise*.

A escolha, via sorteio, de blocos de tipos diferentes visa a distribuir melhor no espaço amostral de 1024 tratamentos do fatorial completo, os 32, 48 ou 64 tratamentos do delineamento.

CONCLUSÕES

- 1) Os delineamentos obtidos possibilitam o estudo de 5 fatores em 4 níveis, utilizando 32, 48 ou 64 tratamentos.
- 2) Cada nível de cada fator está presente em 8 tratamentos no caso do $(1/32)4^5$, em 12 tratamentos no caso do delineamento $(3/64)4^5$ e em 16 tratamentos no $(1/16)4^5$.
- 3) Cada coeficiente do modelo é posto em prova pelo teste *t* (bilateral), utilizando-se seu erro próprio, com 10 ou 25 graus de liberdade, de acordo com o tipo de delineamento utilizado.
- 4) O uso do fatorial 4^5 completo requer 1024 tratamentos, o que é inexequível. Os três delineamentos utilizam 32, 48 ou 64 tratamentos, respectivamente; são mais práticos e de menor custo de instalação.
- 5) No exemplo, quando as interações não forem consideradas (no caso do delineamento $(1/32)4^5$), só permaneceram as covariâncias e correlações entre b_1 e b_{11} ; b_2 e b_{22} ; b_3 e b_{33} ; b_4 e b_{44} ; b_5 e b_{55} . No caso do $(3/64)4^5$ utilizado, apareceram além das anteriores, covariâncias e correlações muito pequenas entre os demais coeficientes.
- 6) No exemplo, fazendo a análise do modelo sem interação quando na realidade existiam algumas interações importantes, obtiveram-se certas alterações alta nos valores dos coeficientes b_2 , b_4 e b_5 , caso (C), comparado com a análise obtida para o caso (B), Tabela 5.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, D.F. & NOLETO, A., 1986. Exemplos de Fatoriais Fracionados $(1/2) 4^3$ para Ajuste de Modelos Polinomiais Quadráticos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 21(6):677-680.
- COCHRAN, W.G. & COX, G.M., 1957. *Experimental Designs*. 2ª Ed. New York: John Wiley, 565p.
- CONAGIN, A. & JORGE, J.P.N., 1982. Delineamentos $1/5(5 \times 5 \times 5)$ em 5 Blocos. *Bragantia*, 41:156-168.
- CONAGIN, A. NAGAI, V. & IGUE, T., 1997. Delineamento $1/2(4 \times 4 \times 4)$ em Blocos de Oito Unidades. Instituto Agronômico, Campinas, *Boletim Científico*, 36.
- CONAGIN, A. & AMBRÓSIO, L.A., 2003. Delineamento $1/8 (4^4)$ em Blocos de 16 Unidades. *Rev. Agric.*, 78(2).
- FISHER, R. & YATES, F., 1953. *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research*. 4ª Ed. Edinburgh, Oliver and Boyd.
- NAIR, K.R., 1938. On a Method for Getting Confounded Arrangements in the General Symmetrical Type of Experiments. *Sankhya*, 4:121-138.
- PIMENTEL-GOMES, F., 2000. *Curso de Estatística Experimental*. 14ª Edição, Piracicaba: ESALQ/USP, 477p.
- PIMENTEL-GOMES, F. & CONAGIN, A., 1991. Experimentos de Adubação. Planejamento e Análise Estatística. In: OLIVEIRA, A.J. de; GARRIDO, W.E.; ARAUJO, J.D. de & LOURENÇO, S. (Coord.). *Métodos de Pesquisas em Fertilidade do Solo*. Brasília: EMBRAPA/SEA, 392p.
- PIMENTEL-GOMES, F. & HENRIQUE-GARCIA, C., 2002. *Estatística Aplicada a Experimentos Agronômicos e Florestais* (Com Uso de Programas SAS e SANEST). Piracicaba: FEALQ-Biblioteca de Ciências Agrárias "Luiz de Queiroz", vol. 11, 309p.
- RICHARDSON, H.L., 1936. Field Experimental Programmes. *Outlook on Agriculture*, I:(3).
- SAS INSTITUTE. 1990. *SAS/STAT User's Guide: Statistics*. Release 6.04. Cary, N.C., USA. SAS Institute Inc, 168 p.
- SAS INSTITUTE. 1999. *SAS/STAT User's Guide: Statistics*. Release 8. Cary, N.C., USA. SAS Institute Inc.