

AJUSTE DE MODELOS POLINOMIAIS DE 2º GRAU EM PESQUISAS COM FERTILIZANTES¹

FRANCISCO JOSÉ PFEILSTICKER ZIMMERMANN² e ARMANDO CONAGIN³

RESUMO - O ajuste de modelos polinomiais em pesquisa com fertilizantes é grandemente afetado pelo modelo usado, pelo coeficiente de variação, localização do ponto de máximo e agrupamento de experimentos. Visando obter indicações dos seus efeitos nestes ajustes de modelos polinomiais em pesquisas com fertilizantes, 2.400 experimentos foram simulados, no delineamento fatorial 1/5 (5 x 5 x 5). Verificou-se que são obtidos melhores ajustes quando se agrupa maior número de experimentos (dez), quando os experimentos tiveram menor coeficiente de variação e quanto mais à esquerda, na curva, estiver localizado o ponto de máximo. Neste trabalho o modelo quadrático foi o de melhor ajuste, independentemente do modelo gerador.

Termos para indexação: superfícies de resposta, modelo quadrático, coeficiente de variação, ajuste de curvas, modelo gerador.

FITNESS OF 2nd DEGREE POLINOMIALS MODELS IN FERTILIZER RESEARCH

ABSTRACT - The fitness of polynomials models is greatly affected by the model used, the coefficient of variation, localization of the points of maximum response and the number of experiments. Trying to obtain indication of these effects on the fitness of the models in fertilizer research, 2,400 experiments in the factorial design 1/5 (5 x 5 x 5) were simulated. The results showed that the best fitting is obtained when a larger number (ten) of experiments is used, when the experiments have a low coefficient of variation, and when the point of maximum is located at the left of the surface. The quadratic model was the one with the best fitness in this work, independently of the generator model.

Index terms: response surface, quadratic model, coefficient of variation, fitness of models, generator model.

INTRODUÇÃO

O método da "superfície de resposta" é uma coleção de técnicas para analisar problemas nos quais diversas variáveis independentes influenciam uma variável dependente ou de resposta, e o objetivo é otimizar esta resposta (Montgomery 1976).

Esta técnica foi introduzida primeiro por Box & Wilson (1951) para estudos em indústrias químicas; em agricultura é utilizada principalmente em experimentos de adubação (Alvarez et al. 1960, Fuzatto et al. 1970, Igue et al. 1971, Cochran & Cox 1971, John 1971, Montgomery 1976).

O modelo matemático real da superfície de resposta geralmente é desconhecido, e a técnica normalmente utilizada consiste em determinar o ajuste através de modelos polinomiais, sendo os mais

comuns aqueles ditos quadráticos e raiz quadrada, ambos de segunda ordem. A determinação do ponto ótimo da resposta é feita, na experimentação química e industrial, pela execução seqüencial de experimentos e ajuste da superfície, até que o ponto ótimo seja encontrado. A cada seqüência, as dosagens dos fatores são ajustadas, procurando-se a melhoria conseqüente do ajuste da equação e a obtenção dos pontos ótimos (Box & Wilson 1951).

Em agricultura, entretanto, em virtude da própria natureza da variabilidade de ambiente de cada estação agrícola, este procedimento torna-se, em geral, impraticável. Por isso é comum a realização de ensaios em diversos locais, num mesmo ano agrícola e a sua repetição por 2 ou 3 anos consecutivos. O alto custo dos experimentos agrícolas e a necessidade do uso de redes experimentais nas pesquisas com fertilizantes, fazem com que os experimentos sejam planejados de forma que o ajuste das superfícies leve à determinação do ponto ótimo nos vários anos, com maior probabilidade de sucesso.

Arruda (1959) efetuou, durante quatro anos, uma série de 50 experimentos de adubação do ti-

¹ Aceito para publicação em 25 de junho de 1986.

² Eng. - Agr., Ph.D., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), Caixa Postal 179, CEP 74000 Goiânia, GO.

³ Eng. - Agr., Estatístico, USP e North Carolina University, Assessor do Convênio IICA-EMBRAPA, Rua Frei A. Pádua 1405, CEP 13100 Campinas, SP.

po NPK, em milho, no esquema fatorial $3 \times 3 \times 3$, na região de Ribeirão Preto, SP. Campos (1967), ao efetuar a análise individual destes experimentos, encontrou 42 pontos de sela, sete pontos de máximo e um de mínimo. Verificou, também, que, à medida que se agrupavam os experimentos, havia maior tendência ao aparecimento de pontos de máximo.

Jorge & Conagin (1977), com base em estudos de simulação de 240 experimentos do tipo fatorial $1/5 (5 \times 5 \times 5)$ e coeficiente de variação de 8,5%, encontraram, nas análises individuais, maior proporção de pontos de sela do que de pontos de máximo, que variou de 65% a 87% de pontos de sela, de acordo com o tipo de equação ajustada.

Ao fazerem os agrupamentos com grupos de dez experimentos, já encontraram 100% de pontos de máximo.

Malheiros & Percin (1983), partindo da mesma equação paramétrica utilizada por Jorge & Conagin (1977), também em estudos de simulação, encontraram resultados concordantes, e verificaram, ainda, que a localização do máximo teórico, mais à esquerda, aumenta o número de pontos de máximo obtidos no ajuste da superfície de resposta.

Assim, objetivou-se neste trabalho a determinação dos efeitos de:

- a) coeficiente de variação (CV);
- b) uso de grupos de experimentos;
- c) modelo matemático da superfície de resposta; e
- d) valores das coordenadas dos pontos de máximo teóricos, no ajuste das superfícies e seus pontos ótimos.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a execução do trabalho, desenvolveram-se, para os modelos polinomiais de 2º grau, dos tipos usualmente denominados quadrático e raiz quadrática, três equações paramétricas, com pontos de máximo conhecidos e coordenadas localizadas entre a 4ª e a 5ª doses, entre a 3ª e 4ª doses e entre a 2ª e 3ª doses, que corresponderiam às situações de alta, média e baixa respostas, respectivamente, aos insumos testados (Tabela 1), que caracterizam situações encontradas em países tropicais e subtropicais, quando da pesquisa com fertilizantes, em que os tipos de resposta apresentam possibilidade de respostas decrescentes para as dosagens mais altas. Esta situação é encontra-

da normalmente quando se utilizam dosagens elevadas de nitrogênio e potássio, e as condições ecológicas são desfavoráveis, causando estresse na resposta das culturas, com reflexos negativos na produção.

Para proporcionar um número adequado de níveis e de tratamentos, utilizou-se o delineamento $1/5 (5 \times 5 \times 5)$ desenvolvido por Jorge & Conagin (1977). Foi incorporado ao modelo uma variabilidade experimental adicional, correspondente à distribuição normal, com coeficientes de variação de 10% e 20%, o que está dentro da faixa de variação da CV, mais comumente encontrada em experimentos de campo, com culturas anuais.

Para cada uma das equações paramétricas associadas aos coeficientes de variação foram gerados 100 experimentos.

Cada resultado experimental, gerado a partir de um modelo paramétrico básico, foi analisado pelos dois modelos. Adicionalmente, foram gerados, a partir dos 100 experimentos individuais de cada tipo, 100 agrupamentos de cinco experimentos ao acaso, e outros 100 representando grupos de dez experimentos.

Na execução da pesquisa foi empregado o computador IBM-4341 e do pacote estatístico SAS (Statistical Analysis System), utilizou-se a função geradora de dados normais RANNOR e o procedimento RSREG para ajuste das equações de superfície de resposta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Consideradas as combinações de modelo polinomial paramétrico (gerador), modelo polinomial ajustado, número de experimentos no agrupamento e coeficiente de variação do experimento, foram geradas 72 situações experimentais e, em cada uma delas, foram analisados 100 experimentos ou 100 grupos de cinco e dez experimentos.

À exceção de dois casos, em todas as situações foram observados somente pontos de máximo ou de sela, que estão condensados na Tabela 2.

Com esses resultados (números de máximo em 100 experimentos) foi efetuada uma análise de variância (Tabela 3), que mostrou efeitos significativos do tipo da equação estimada, do tamanho da CV, do número de experimentos no agrupamento, da localização do máximo teórico e as interações entre tipo de equação estimada e a localização do máximo teórico, e entre o tamanho da CV e o número de experimentos no agrupamento.

A partir da Tabela 2, verifica-se que sempre se obteve maior número de pontos de máximo, quando se ajustou a equação quadrática, do que quando

TABELA 1. Equações paramétricas geradoras.

A - Modelo paramétrico quadrático:

$$\Psi_1 = 1300 + 254N + 271P + 214K - 22N^2 - 25P^2 - 19K^2 - 9NP - 10NK - 8PK$$

Máximo: N = 4,07; P = 4,08; K = 3,7

$$\Psi_2 = 1100 + 213N + 234P + 160K - 23N^2 - 26P^2 - 17,5K^2 - 10NP - 11NK - 9PK$$

Máximo: N = 3,24; P = 3,41; K = 2,68

$$\Psi_3 = 900 + 172N + 207P + 137K - 22N^2 - 27P^2 - 18K^2 - 11NP - 12NK - 10PK$$

Máximo: N = 2,60; P = 2,91; K = 2,13

B - Modelo paramétrico polinomial raiz quadrada

$$\Psi_1 = -422 + 1047\sqrt{N} + 1122\sqrt{P} + 941\sqrt{K} - 157N - 185P - 148K - 91\sqrt{NP} - 102\sqrt{NK} - 81\sqrt{PK}$$

Máximo: $\sqrt{N} = 2,12$; $\sqrt{P} = 2,09$; $\sqrt{K} = 1,87$

N = 4,49; P = 4,37; K = 3,50

$$\Psi_2 = -668 + 1113\sqrt{N} + 1190\sqrt{P} + 925\sqrt{K} - 220N - 245P - 184K - 102\sqrt{NP} - 112\sqrt{NK} - 91\sqrt{PK}$$

Máximo: $\sqrt{N} = 1,73$; $\sqrt{P} = 1,78$; $\sqrt{K} = 1,54$

N = 3,00; P = 3,17; K = 2,37

$$\Psi_3 = -955 + 1113\sqrt{N} + 1257\sqrt{P} + 976\sqrt{K} - 250N - 294P - 222K - 112\sqrt{NP} - 122\sqrt{NK} - 102\sqrt{PK}$$

Máximo: $\sqrt{N} = 1,52$; $\sqrt{P} = 1,61$; $\sqrt{K} = 1,42$

N = 2,31; P = 2,59; K = 2,02

TABELA 2. Número de pontos de máximo obtidos para as 72 situações geradas, em 100 experimentos.

Coeficiente de variação (%)	Número de experimentos no agrupamento	Localização do máximo teórico					
		± quarta dose		± terceira dose		± segunda dose	
		Modelo ajustado		Modelo ajustado		Modelo ajustado	
		Quadrático	Raiz quadrada	Quadrático	Raiz quadrada	Quadrático	Raiz quadrada
1. Modelo paramétrico quadrático							
20	1	19	11	29	23	34	32
	5	43	30	69	63	79	83
	10	67	41	86	84	97	95
10	1	43	27	61	55	74	81
	5	90	55	98	95	99	99
	10	92	82	100	99	100	100
2. Modelo paramétrico raiz quadrada							
20	1	16	11	28	23	32	32
	5	41	30	68	66	77	83
	10	62	41	84	84	95	95
10	1	42	27	60	54	73	81
	5	89	55	96	95	99	99
	10	97	82	99	99	100	100

TABELA 3. Análise da variância do número de máximos obtidos em cada uma das 72 alternativas.

Fonte de variação	G.L.	S. quadrados	Q. médios	F
Total	71	58.199,65		
Efeitos	26	55.893,14	2.149,74	41,94
Erro	45	2.306,51	51,26	
Decomposição				
Modelo paramétrico (Mod)	1	8,68		0,17
Equação ajustada (Equa)	1	741,12		14,46***
Coefficiente de variação (CV)	1	12.508,35		244,04***
Número de experimentos no agrupamento (Num. Exp.)	2	28.125,53		274,36***
Localização do máximo teórico (Loc. Máx.)	2	12.060,03		117,65***
Mod. x Equa.	1	11,68		0,23
Mod. x CV	1	1,12		0,02
Mod. x Núm. exp.	2	0,69		0,01
Mod. x Loc. máx.	2	0,86		0,01
Equa. x CV	1	15,12		0,30
Equa. x Núm. exp.	2	36,58		0,36
Equa. x Loc. máx.	2	1.245,58		12,15***
CV x Núm. exp.	2	587,03		5,73**
CV x Loc. máx.	2	230,53		2,25
Núm. exp. x Loc. máx.	4	320,22		1,56

Significativo a 1% de probabilidade.

Significativo a 0,1% de probabilidade.

se trabalhou com a equação raiz quadrada. É evidente, também, o aumento deste número de máximos, quando se aumenta o número de experimentos agrupados, quando se tinha o máximo teórico localizado em pontos ao redor das doses menores e quando o coeficiente de variação era mais baixo (10%).

Outra informação que se pode retirar destes resultados é que, com agrupamentos de dez experimentos, pode-se obter, em pelo menos oito em cada dez situações, mesmo com 20% de CV, ajustes de equações que mostrarão ponto de máximo, quando o número teórico está localizado já ao redor da dose intermediária (3ª dose). Ao passo que, trabalhando-se com agrupamento de cinco experimentos, esta mesma situação só ocorrerá quando o máximo teórico estiver ao redor da 2ª dose.

Estudos feitos por Jorge & Conagin (1977) e Malheiros & Percin (1983) verificaram a rápida convergência dos estimadores para os valores paramétricos, tendo sido, nos dois casos citados, preconizado um agrupamento de dez ensaios.

Com um objetivo mais amplo, nesta pesquisa incluiu-se uma variação no valor da CV e as localizações dos pontos máximo teórico, mas verificou-se um paralelismo com os resultados dos autores citados e um aumento substancial do número de máximo em função da agregação de experimentos.

Para verificar a ocorrência deste número de máximo, pela adoção do agrupamento de dez experimentos, nos resultados obtidos, efetuou-se uma análise de variância (Tabela 4), que apontou os seguintes resultados:

— o tipo de equação paramétrica não tem influência sobre o número de máximos;

— houve influência do tipo de equação estimada, com o modelo quadrático proporcionando maior número de máximo que o modelo raiz quadrada, em caso de máximo teórico mais à direita. Nos casos de máximos teóricos ao centro ou à esquerda, os tipos de modelos ajustados são equivalentes (interação localização de máximo teórico e tipo de equação estimada, altamente significativa); e

— houve também grande influência da localização do máximo teórico, verificando-se um aumento do número de máximos obtidos com o deslocamento para a esquerda.

Verificou-se, ainda, efeito significativo do coeficiente de variação, com maior número de máximos com CV de 10% do que com CV de 20%. Também a interação do coeficiente de variação e localização do máximo teórico foi altamente significativa, constatada pelo fato de as diferenças de-

correntes do tamanho da CV, favoráveis ao menor CV, foram maiores quanto mais à direita estivesse o ponto de máximo teórico, sendo que no caso de localização do ponto de máximo à esquerda (entre os níveis dois e três), o número de máximos obtidos foi praticamente equivalente para os dois modelos.

As Tabelas 5, 6, 7 e 8, mostram os valores médios das estimativas dos parâmetros para todas as situações geradas. A sua comparação com os parâmetros teóricos (Tabela 1) revela que se conseguiram maiores aproximações com o aumento do número de experimento no agrupamento e que, para uma mesma situação, a CV não afetou muito estas médias de estimativas, quando o modelo ajustado era o quadrático. Os resultados do uso do modelo raiz quadrada já não mostra esta concordância, e as médias são algo diferentes daqueles valores paramétricos.

TABELA 4. Análise da variância dos 24 casos de agrupamento de dez experimentos.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Total	23	7.103,83		
Modelo paramétrico (Mod)	1	4,16	4,16	1,47
Coefficiente de variação (CV)	1	2.090,66	2.090,66	738,75***
Equação ajustada (Equa.)	1	280,16	280,16	99,00***
Localização do máximo (Loc. máx.)	2	3.130,58	1.565,29	552,11***
Mod. x CV	1	2,68	2,68	0,95
Equa. x CV	1	16,68	16,68	5,89*
Mod. x Loc. max.	2	0,59	0,29	0,10
Equa. x Loc. max.	2	462,59	231,30	81,73***
CV x Loc. max.	2	1.086,09	543,05	191,89***
Mod. x Equa.	1	4,18	4,18	1,48
Erro	9	29,46	2,83	—

Significativo a 5% de probabilidade.

Significativo a 0,1% de probabilidade.

TABELA 5. Valores das estimativas dos parâmetros, resultados médios de 100 experimentos. Modelo paramétrico quadrático. Modelo estimado quadrático.

Número de experimentos no agrupamento	CV	Localização do máximo	Coeficientes do modelo											
			N	P	K	N ²	P ²	K ²	NP	NK	PK			
1	10	2	167	200	142	-21	-26	-19	-10	-12	-9	-8	-8	
1	10	3	235	237	172	-25	-27	-18	-10	-13	-8	-10	-9	
1	10	4	244	286	216	-20	-26	-20	-11	-9	-10	-12	-9	
1	20	2	163	192	148	-20	-26	-20	-10	-10	-12	-8	-8	
1	20	3	257	240	184	-27	-28	-19	-10	-16	-7	-10	-9	
1	20	4	235	303	219	-19	-26	-19	-12	-8	-13	-10	-9	
5	10	2	167	199	142	-21	-26	-19	-10	-12	-10	-13	-8	
5	10	3	235	237	172	-25	-27	-18	-10	-13	-8	-10	-9	
5	10	4	245	287	217	-20	-26	-20	-10	-9	-10	-12	-9	
5	20	2	163	192	148	-20	-26	-20	-10	-13	-10	-10	-9	
5	20	3	257	240	184	-27	-28	-19	-11	-16	-7	-10	-9	
5	20	4	235	303	219	-18	-27	-19	-12	-8	-13	-10	-9	
10	10	2	167	199	143	-21	-26	-19	-10	-12	-10	-13	-8	
10	10	3	235	237	172	-25	-27	-18	-10	-13	-8	-10	-9	
10	10	4	245	288	217	-20	-26	-20	-10	-9	-10	-12	-9	
10	20	2	163	192	148	-27	-28	-19	-10	-13	-10	-13	-8	
10	20	3	256	236	184	-27	-28	-20	-10	-16	-7	-10	-9	
10	20	4	235	304	220	-18	-27	-19	-12	-8	-13	-10	-9	

TABELA 6. Valores das estimativas dos parâmetros, resultados médios de 100 experimentos. Modelo paramétrico quadrático. Modelo estimado, raiz quadrada.

Número de experimentos no agrupamento	CV	Localização do máximo	Coeficientes do modelo								
			N	P	K	N ²	P ²	K ²	NP	NK	PK
1	10	2	1.075	1.206	1.011	-233	-288	-230	-108	-97	-132
1	10	3	1.227	1.215	983	-238	-259	-193	-103	-80	-138
1	10	4	1.010	1.232	959	-141	-198	-147	-110	-106	-94
1	20	2	1.022	1.155	1.026	-217	-273	-238	-104	-91	-141
1	20	3	1.366	1.269	1.034	-224	-220	-202	-87	-62	-162
1	20	4	1.039	1.270	978	-126	-178	-146	-125	-119	-83
5	10	2	1.075	1.206	1.010	-233	-284	-230	-108	-96	-132
5	10	3	1.227	1.215	983	-238	-259	-193	-103	-80	-138
5	10	4	1.010	1.232	959	-141	-198	-147	-110	-106	-94
5	20	2	1.037	1.155	1.046	-216	-273	-238	-104	-93	-141
5	20	3	1.340	1.240	1.040	-256	-274	-201	-92	-72	-159
5	20	4	974	1.343	978	-131	-182	-134	-121	-132	-65
10	10	2	1.076	1.206	1.012	-229	-284	-230	-108	-97	-131
10	10	3	1.225	1.215	985	-237	-259	-193	-103	-81	-138
10	10	4	1.009	1.234	963	-141	-198	-146	-109	-107	-94
10	20	2	1.035	1.145	1.047	-216	-273	-238	-93	-94	-140
10	20	3	1.323	1.230	1.042	-255	-272	-197	-64	-74	-164
10	20	4	940	1.347	988	-125	-205	-149	-115	-131	-89

TABELA 7. Valores das estimativas dos parâmetros, resultados médios de 100 experimentos. Modelo paramétrico raiz quadrada. Modelo estimado, raiz quadrada.

Número de experimentos no agrupamento	CV	Localização do máximo	Coeficientes do modelo								
			N	P	K	N ²	P ²	K ²	NP	NK	PK
1	10	2	1.075	1.206	1.010	-233	-283	-230	-108	-131	-97
1	10	3	1.226	1.215	982	-238	-260	-193	-103	-138	-80
1	10	4	1.011	1.232	959	-140	-197	-153	-109	-94	-106
1	20	2	1.037	1.155	1.045	-215	-261	-228	-113	-143	-76
1	20	3	1.339	1.240	1.039	-256	-274	-201	-112	-164	-69
1	20	4	974	1.342	1.007	-126	-210	-147	-130	-90	-131
5	10	2	1.075	1.205	1.011	-233	-284	-228	-107	-131	-96
5	10	3	1.226	1.215	983	-238	-259	-193	-103	-138	-80
5	10	4	1.011	1.232	959	-142	-196	-148	-109	-94	-106
5	20	2	1.037	1.155	1.045	-216	-273	-239	-104	-141	-91
5	20	3	1.339	1.242	1.039	-256	-274	-201	-104	-164	-69
5	20	4	983	1.342	978	-126	-210	-149	-127	-89	-131
10	10	2	1.078	1.206	1.012	-233	-284	-231	-108	-131	-97
10	10	3	1.223	1.214	981	-235	-259	-193	-102	-138	-81
10	10	4	1.009	1.234	963	-141	-198	-148	-109	-93	-107
10	20	2	1.035	1.155	1.048	-217	-272	-239	-104	-136	-92
10	20	3	1.335	1.240	1.043	-256	-274	-198	-104	-164	-72
10	20	4	971	1.346	985	-124	-215	-148	-121	-86	-133

TABELA 8. Valores das estimativas dos parâmetros, resultados médios de 100 experimentos. Modelo paramétrico raiz quadrada. Modelo estimado quadrático.

Número de experimentos no agrupamento	CV	Localização do máximo	Coeficientes do modelo								
			N	P	K	N ²	P ²	K ²	NP	NK	PK
1	10	2	161	191	136	-20	-25	-18	-11	-12	-9
1	10	3	228	229	166	-24	-26	-18	-10	-13	-7
1	10	4	239	280	211	-19	-26	-18	-10	-9	-10
1	20	2	157	183	144	-19	-25	-19	-8	-12	-9
1	20	3	250	232	178	-26	-27	-19	-10	-16	-6
1	20	4	230	296	214	-18	-26	-17	-12	-8	-14
5	10	2	161	191	136	-20	-25	-18	-10	-12	-9
5	10	3	228	229	167	-24	-26	-18	-10	-13	-7
5	10	4	239	280	211	-19	-25	-18	-10	-9	-10
5	20	2	157	184	141	-19	-25	-19	-9	-12	-9
5	20	3	250	234	178	-26	-27	-19	-10	-16	-7
5	20	4	230	296	214	-18	-26	-18	-12	-8	-12
10	10	2	161	190	136	-20	-25	-18	-10	-12	-9
10	10	3	228	229	167	-24	-26	-18	-10	-13	-7
10	10	4	239	281	212	-19	-25	-18	-10	-9	-10
10	20	2	157	183	142	-19	-25	-19	-9	-12	-9
10	20	3	249	232	179	-26	-27	-19	-10	-16	-7
10	20	4	230	297	215	-18	-26	-18	-11	-8	-13

CONCLUSÕES

1. Conduzir pelo menos 10 experimentos para cada tipo de solo e ano agrícola, o que permitirá a obtenção de um número elevado de pontos de máximo.

2. Escolher adequadamente o espaço amostral (intervalo e amplitude das doses pesquisadas), procurando fazer com que o ponto de máximo da resposta esteja incluído ao redor da antepenúltima dose utilizada, nos anos de alta produtividade, o que garantirá a obtenção de máximos, mesmo em anos de média e baixa produtividade.

3. Adotar medidas de técnica experimental que assegurem a obtenção de coeficientes de variação os mais baixos possíveis para cada experimento, já que este fator, seguido pela localização do máximo teórico, foi o mais importante, individualmente, na presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, R.; ARRUDA, H.V.; GARGANTINI, H. Aducação de cana-de-açúcar; ensaio preliminar de

adubação NPK em terra roxa. *Bragantia*, 19:361-8, 1960.

ARRUDA, H.V. Contribuição para o estudo da adubação mineral do milho em terras roxas do município de Ribeirão Preto. Piracicaba, USP/ESALQ, 1959. 39p. Tese Mestrado.

BOX, G.E.P. & WILSON, K.J. On the experimental attainment of optimum conditions. *J. R. Stat. Soc. Ser. B.*, 13:1-45, 1951.

CAMPOS, H. Aspectos da aplicação das superfícies de resposta a ensaios fatoriais 3³ de adubação. Piracicaba, USP/ESALQ, 1967. 82p. Tese Doutorado.

COCHRAN, W.G. & COX, G.M. *Diseños experimentales*. Mexico, Trillas, 1971. 661p.

FUZATTO, M.G.; VENTURINI, W.R.; CAVALERI, P. A. Estudo técnico-econômico para adubação do algodoeiro no Estado de São Paulo. Campinas, Inst. Agron., 1970. 15p. (Projeto BNDE/ANDA/CIA, 1)

IGUE, T.; MASCARENHAS, H.A.A.; MIYASAKA, S. Estudo comparativo dos métodos de Mitscherlich e do trinômio do segundo grau na determinação das doses mais econômicas de fertilizantes na adubação do feijoeiro. Campinas, Inst. Agron., 1971. 15p. (Projeto BNDE/ANDA/CIA, 4)

JOHN, P.W.M. *Statistical designs and analysis of experiments*. New York, MacMillan, 1971. 356p.

JORGE, J.P.N. & CONAGIN, A. Estudos em um grupo especial de delineamentos $(1/5) (5^3)$. *Bragantia*, 36:59-88, 1977.

MALHEIROS, E.B. & PERECIN, D. Posição das doses de

nutrientes na análise de uma superfície de resposta à adubação. *R. Mat. Estat.*, 1:69-78, 1983.

MONTGOMERY, D.C. *Design and analysis of experiments*. New York, J. Wiley, 1976. 418p.