

AS INTERAÇÕES EM GRUPOS DE EXPERIMENTOS DE ADUBAÇÃO DE MILHO*

HUMBERTO DE CAMPOS**

FREDERICO PIMENTEL GOMES**

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo estudar as interações lineares, N' x P'; N' x K' e P' x K', em quatro grupos de ensaios fatoriais 3^3 de adubação de milho, com N, P e K, num total de 117 experimentos com 3.159 parcelas.

Os grupos eram assim constituídos:

Grupo 1: 53 ensaios, realizados em Ribeirão Preto (SP), utilizando-se as doses 0; 40 e 80 kg/ha de N, de P_2O_5 e de K_2O .

Grupo 2: 41 ensaios, realizados no Estado do Rio de Janeiro, com as doses: 0, 30 e 60 kg/ha de N e de K_2O e 0; 60 e 120 kg/ha de P_2O_5 .

Grupo 3: 10 ensaios, realizados no Triângulo Mineiro, com as doses: 0; 75 e 150 kg/ha para os três nutrientes.

Grupo 4: 13 ensaios, realizados: 7 no Triângulo Mineiro e 6 em Patos de Minas (MG), utilizando-se em ambos os subgrupos, as doses: 0; 60 e 120 kg/ha para os três nutrientes.

Foi observado que somente as interações N' x P', referente às doses 0 e 1 no grupo 1, e P' x K', referente às doses 0 e 2 no grupo 2, foram significativas.

É possível, pois, concluir com grande generalidade, que nos ensaios fatoriais 3^3 de adubação de milho, quando se consideram doses moderadas de nutrientes, as interações são de importância secundária e, na grande maioria dos casos, são de pequena monta, quando comparadas aos efeitos principais dos nutrientes.

INTRODUÇÃO

Os métodos a serem adotados no estudo econômico de ensaios de adubação dependem, em grande parte, de serem ou não importantes as interações entre nutrientes. Só muito raramente, porém, podem as interações ser estimadas adequadamente em ensaios isolados, que, em geral, não têm precisão suficiente para isso. Faz-se mister, pois, aproveitar grupos de ensaios numerosos, que permitam estimar com precisão e generalidade as interações entre os nutrientes, quase sempre presentes, mas de pouca monta.

No presente trabalho serão estudadas as interações entre os componentes lineares

* Entregue para publicação em 24/4/1975.

** Professores do Departamento de Matemática e Estatística – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP.

N', P' e K', em quatro grupos de ensaios fatoriais 3^3 de adubação de milho com N, P e K, num total de 117 experimentos, com 3.159 parcelas.

MATERIAL E MÉTODOS

Material

Os experimentos, a serem estudados do ponto de vista das interações, todos eles fatoriais 3^3 de adubação de milho (*Zea mays* L.), com N, P e K, com uma só repetição por local, estão subdivididos em grupos como se segue:

GRUPO 1: 53 ensaios em terra roxa legítima, realizados no município de Ribeirão Preto (SP), pelo Dr. Hermano Vaz de Arruda, com milho híbrido H-6999, com as doses de 0; 40 e 80 kg/ha de N, de P_2O_5 e de K_2O .

GRUPO 2: 41 ensaios em solos diversos, realizados no Estado do Rio de Janeiro, sob a responsabilidade do Eng^o Agr^o Paulo Tavares de Macedo, do Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Centro-Sul, com milhos híbridos (Minas 2, Vita e Agrocere). As doses utilizadas foram: 0; 30 e 60 kg/ha de N e de K_2O , e 0; 60 e 120 kg/ha de P_2O_5 .

GRUPO 3: 10 ensaios em solos diversos, realizados no Triângulo Mineiro, sob a responsabilidade dos Eng^{os} Agr^{os} Rui Alves Araujo, Carmen Silva Pereira, José Martins de Oliveira e Edwaldo Sobral Goes, do Instituto de Experimentação e Pesquisas Agropecuárias de Minas Gerais. As doses utilizadas foram: 0; 75 e 150 kg/ha para os três nutrientes.

GRUPO 4: Com dois subgrupos: um de sete ensaios realizados também no Triângulo Mineiro, sob a responsabilidade dos mesmos técnicos citados no Grupo 3, e outro de seis ensaios, realizados em Patos de Minas, pelo Eng^o Agr^o José Martins de Oliveira. Em ambos os subgrupos, foram utilizadas as doses de 0; 60 e 120 kg/ha dos três nutrientes.

Métodos

Os métodos seguidos foram os utilizados por PIMENTEL GOMES e SALATI (1957).

Indicando-se por 0, 1 e 2 as doses dos nutrientes, os contrastes que estimam as interações, com base nas doses 0 e 2, são os seguintes para cada ensaio:

$$N' \times P' = \frac{1}{6} [(000 + 001 + 002 + 220 + 221 + 222) - (200 + 201 + 202 + 020 + 021 + 022)]$$

$$N' \times K' = \frac{1}{6} [(000 + 010 + 020 + 202 + 212 + 222) - (200 + 210 + 220 + 002 + 012 + 022)]$$

$$P' \times K' = \frac{1}{6} [(000 + 100 + 200 + 022 + 122 + 222) - (020 + 120 + 220 + 002 + 102 + 202)]$$

Tendo em vista as doses 0 e 1, os contrastes estimadores das interações são os que se seguem, também para cada ensaio:

$$N' \times P' = \frac{1}{6} [(000 + 001 + 002 + 110 + 111 + 112) - (100 + 101 + 102 + 010 + 011 + 012)]$$

$$N' \times K' = \frac{1}{6} [(000 + 010 + 020 + 101 + 111 + 121) - (100 + 110 + 120 + 001 + 011 + 021)]$$

$$P' \times K' = \frac{1}{6} [(000 + 100 + 200 + 011 + 111 + 211) - (010 + 110 + 210 + 001 + 101 + 201)]$$

A análise de variância, para um número E de ensaios no grupo, está baseada no seguinte esquema:

Causa de Variação	Graus de Liberdade
Interação	1
Resíduo	E - 1
Total	E

RESULTADOS OBTIDOS

De conformidade com os contrastes mencionados, foram calculadas as interações para os diferentes grupos, com resultados que constam do Apêndice.

Com as estimativas obtidas foram feitas as análises de variância, expostas a seguir.

GRUPO 1 – 53 ensaios

Causa de Variação	G.L.	DOSES 0 e 1			DOSES 0 e 2		
		Quadrados Médios			Quadrados Médios		
		N' x P'	N' x K'	P' x K'	N' x P'	N' x K'	P' x K'
Interação	1	646.812	27.945	230.340	0,17	12.842	20.095
Resíduo	52	141.054	185.735	114.739	130.173	147.327	131.842

As interações médias, em kg/ha, com seus respectivos erros padrões são dadas a seguir.

DOSES	N' x P'	N' x K'	P' x K'
0 e 1	-110,5* ± 51,6	23,0 ± 59,2	65,9 ± 46,5
0 e 2	- 0,1 ± 49,6	-15,6 ± 52,7	-19,5 ± 49,9

GRUPO 2 – 41 ensaios

Causa de Variação	G.L.	DOSES 0 e 1			DOSES 0 e 2		
		Quadrados Médios			Quadrados Médios		
		N' x P'	N' x K'	P' x K'	N' x P'	N' x K'	P' x K'
Interação	1	67.534	132.981	272.251	140.605	502.279	383.444
Resíduo	40	77.807	92.091	168.566	107.413	157.016	83.235

As interações médias, em kg/ha, com seus respectivos erros padrões foram as que se seguem.

DOSES	N' x P'	N' x K'	P' x K'
0 e 1	40,6 ± 43,6	- 57,0 ± 47,4	81,5 ± 64,2
0 e 2	58,6 ± 51,2	-110,7 ± 61,9	96,7* ± 45,1

GRUPO 3 – 10 ensaios

Causa de Variação	G.L.	DOSES 0 e 1			DOSES 0 e 2		
		Quadrados Médios			Quadrados Médios		
		N' x P'	N' x K'	P' x K'	N' x P'	N' x K'	P' x K'
Interação	1	189.613	89.681	123.654	709.690	138.768	96
Resíduo	9	327.497	157.553	133.375	317.915	170.756	117.345

A seguir, são dadas as interações médias, em kg/ha, com seus respectivos erros padrões.

DOSES	N' x P'	N' x K'	P' x K'
0 e 1	-137,7 ± 181,1	94,7 ± 125,6	-111,2 ± 115,6
0 e 2	-266,4 ± 178,4	117,8 ± 130,8	- 3,1 ± 108,4

GRUPO 4 – 13 ensaios

Causa de Variação	G.L.	DOSES 0 e 1			DOSES 0 e 2		
		Quadrados Médios			Quadrados Médios		
		N' x P'	N' x K'	P' x K'	N' x P'	N' x K'	P' x K'
Interação	1	7.584	60.521	152.714	163.072	159.508	2.955
Resíduo	12	100.459	117.699	70.384	87.240	331.351	237.690

As interações médias, em kg/ha, e seus respectivos erros padrões são dadas a seguir.

DOSES	N' x P'	N' x K'	P' x K'
0 e 1	- 24,2 ± 87,9	- 68,2 ± 95,2	108,4 ± 73,6
0 e 2	112,0 ± 81,9	110,8 ± 159,7	- 15,1 ± 135,2

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Nos ensaios de adubação as opiniões lançadas a respeito da importância das interações de nutrientes são, às vezes, muito controversas. Entretanto, diversos estudos realizados têm demonstrado que elas são relativamente de pouca monta nesse campo. Tal opinião foi confirmada, em particular, por pesquisa realizada por PIMENTEL GOMES e SALATI (1957), relativa à cana-de-açúcar, e pelos estudos de IGUE (1968), referentes ao feijoeiro.

A presente pesquisa examinou com profundidade, pela primeira vez no Brasil, o problema das interações em ensaios de adubação de milho. Ao todo se estudaram nada menos de 117 experimentos fatoriais 3^3 com N, P e K, num total de 3.159 parcelas.

Verificou-se no presente estudo que somente em muito poucos casos se observaram valores significativos para as interações, confirmando assim os resultados de PIMENTEL GOMES e SALATI (1957) e IGUE (1968) para outras culturas.

No exame dos resultados para cada grupo observou-se:

GRUPO 1:

Neste caso os efeitos principais foram:

$$\begin{array}{lll}
 N_1 - N_0 = 899 \text{ kg/ha} & P_1 - P_0 = 201 \text{ kg/ha} & K_1 - K_0 = 212 \text{ kg/ha} \\
 N_2 - N_0 = 1.311 \text{ kg/ha} & P_2 - P_0 = 323 \text{ kg/ha} & K_2 - K_0 = 234 \text{ kg/ha}
 \end{array}$$

A única interação significativa foi $N' \times P' = -110,5 \pm 51,6$, referente às doses 0 e 1. Entretanto, observa-se que tal interação representa apenas 12,3% do efeito principal de N (+899 kg/ha), embora alcance 55,0% do efeito principal de P (+201 kg/ha). Assim,

num desmembramento, teríamos:

$$\text{Efeito de N na ausência de P} = 899 - (-110,5) = 1.009,5 \text{ kg/ha,}$$

$$\text{Efeito de N na presença de P} = 899 + (-110,5) = 788,5 \text{ kg/ha,}$$

o que nos mostra que o P teria uma ação inibidora sobre a resposta do N, uma vez que o rendimento referente ao N decresce de 221,0 kg/ha com a presença do P, o que representa uma queda de 21,9% na produção.

GRUPO 2:

Neste grupo, os efeitos principais foram:

$$N_1 - N_0 = 335 \text{ kg/ha}$$

$$P_1 - P_0 = 345 \text{ kg/ha}$$

$$K_1 - K_0 = 67 \text{ kg/ha}$$

$$N_2 - N_0 = 532 \text{ kg/ha}$$

$$P_2 - P_0 = 344 \text{ kg/ha}$$

$$K_2 - K_0 = 7 \text{ kg/ha}$$

Observou-se que a interação $P' \times K' = 96,7 \pm 45,1$, quando se consideram os níveis 0 e 2, foi a única significativa. Desdobrando convenientemente, obtemos os contrastes:

$$\text{Efeito de P na ausência de K} = 344 - (96,7) = 247,3 \text{ kg/ha,}$$

$$\text{Efeito de P na presença de K} = 344 + (96,7) = 440,7 \text{ kg/ha.}$$

Embora a dose dupla de K não tenha apresentado uma resposta satisfatória, ela age favoravelmente sobre o efeito do P, aumentando a produção de 193,4 kg/ha o que representa um acréscimo de 78,2%.

Neste caso particular a interação $P' \times K'$ representou um papel preponderante nos efeitos da adubação, o que se explica em parte, pela baixa eficiência observada para o K.

GRUPOS 3 e 4:

Para estes dois grupos, embora constituídos de um número razoável de ensaios, 10 e 13 respectivamente, não se constatou interação significativa, embora os efeitos principais, na maioria dos casos, tenham sido apreciáveis, ou seja:

GRUPO 3:

$$N_1 - N_0 = 933 \text{ kg/ha}$$

$$P_1 - P_0 = 761 \text{ kg/ha}$$

$$K_1 - K_0 = 184 \text{ kg/ha}$$

$$N_2 - N_0 = 1.159 \text{ kg/ha}$$

$$P_2 - P_0 = 938 \text{ kg/ha}$$

$$K_2 - K_0 = 222 \text{ kg/ha}$$

GRUPO 4:

$$N_1 - N_0 = 893 \text{ kg/ha}$$

$$P_1 - P_0 = 530 \text{ kg/ha}$$

$$K_1 - K_0 = 282 \text{ kg/ha}$$

$$N_2 - N_0 = 1.424 \text{ kg/ha}$$

$$P_2 - P_0 = 573 \text{ kg/ha}$$

$$K_2 - K_0 = 317 \text{ kg/ha}$$

Levando-se em consideração que os experimentos estudados no presente trabalho abrangeram uma grande parte da zona Brasileira produtora de milho (São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais) podemos realmente concluir com grande generalidade que nos experimentos fatoriais 3^3 de adubação de milho as interações entre os nutrientes (N, P e K) são de importância secundária e na grande maioria dos casos, são de pequena monta, quando comparadas aos efeitos principais. É claro, porém, que essa conclusão só é válida para doses moderadas de nutrientes, tais como as adotadas nos ensaios estudados.

É estranho, porém, o aparecimento de uma interação significativa de sinal negativo ($N' \times P' = -110,5$ kg/ha no grupo 1, para as doses 0 e 1), pois o razoável e o usual é o sinal positivo para interações significativas entre nutrientes distintos. Seria de esperar uma interação negativa entre nitrogênio e esterco, por exemplo, por conter azoto e esterco, mas nunca entre nitrogênio e fósforo.

Uma explicação razoável para esse fato, sugerida pelo Eng^o Agr^o Armando Cognagin, do Instituto Agrônomo de Campinas, seria a de provir a resposta observada não do nitrogênio ou do fósforo, mas do enxofre, contido tanto no adubo nitrogenado (sulfato de amônio) como no adubo fosfatado (superfosfato simples).

SUMMARY

INTERACTIONS IN GROUPS OF EXPERIMENTS OF FERTILIZATION OF CORN

The present paper has in view the study of linear interactions $N' \times P'$; $N' \times K'$ and $P' \times K'$ in four groups of 3^3 factorial experiments of fertilization of corn, with N, P and K, involving 117 experiments and 3,159 plots.

The groups were:

- Group 1: 53 experiments, carried out in Ribeirão Preto (SP), with the following levels of nutrients: 0; 40 and 80 kg/ha of N, P_2O_5 and K_2O .
- Group 2: 41 experiments, carried out in the State of Rio de Janeiro, with the levels: 0; 30 and 60 kg/ha of both N and K_2O , and 0; 60 and 120 kg/ha of P_2O_5 .
- Group 3: 10 experiments carried out in the Region of Triângulo Mineiro (MG) with the levels: 0; 75 and 150 kg/ha for the 3 nutrients.
- Group 4: 13 experiments carried out: 7 of them in Triângulo Mineiro, and the other 6 in Patos de Minas (MG), using the levels: 0; 60 and 120 kg/ha for each of the 3 nutrients.

It was observed that only the interaction $N' \times P'$ using the levels 0 and 1 in group 1, and $P' \times K'$ using the levels 0 and 2 in group 2, were significant at the 5% level of probability.

Then, it is possible to conclude, with a wide generality, that in 3^3 factorial ex-

periments of fertilization of corn, for moderate levels of nutrients, the interactions have little importance. In most of the cases, interactions are secondary when compared with the main effects of nutrients.

LITERATURA CITADA

- IGUE, T., 1968. Interações em Grupos de Experimentos de Adubação do Feijoeiro com N, P e K, Segundo o Esquema Fatorial 3 x 3 x 3. Tese de M.S., Departamento de Matemática e Estatística da ESALQ.
- PIMENTEL GOMES, F. & E. SALATI, 1957. As interações num Grupo de Experimentos de Adubação da Cana-de-Açúcar. Rev. da Agricultura, 32:261-270.

APÊNDICE

Interações Estimadas (kg/ha)

GRUPO 1: 53 ensaios

Número do Experimento	N' x P'		N' x K'		P' x K'	
	0 e 1	0 e 2	0 e 1	0 e 2	0 e 1	0 e 2
1	-233	+ 29	- 83	+217	+700	+233
2	+388	+146	- 83	+179	+ 12	+121
3	-179	-421	+ 8	+225	+371	+250
4	-312	+300	-383	-567	-454	+429
5	+338	+758	- 58	-288	-108	- 50
6	-267	+225	+ 67	+133	+121	+175
7	-292	+383	+1279	-292	-950	-633
8	-300	-486	-248	- 32	-258	-460
9	+188	+471	+479	-225	- 21	+ 8
10	-343	-688	-952	-250	+ 52	+192
11	-262	+ 71	- 88	- 88	- 92	-275
12	- 79	+ 58	-284	+430	-295	+116
13	-441	-356	-251	+341	- 10	-620
14	-104	-321	- 54	- 58	-717	-675
15	+254	+246	-579	- 38	+ 21	-700
16	+ 83	+404	+146	+346	-292	+458
17	-321	+142	+462	- 96	+504	+362
18	+ 17	+183	+475	+217	+ 25	- 33
19	+171	+238	- 29	-112	+ 54	+104
20	- 62	+142	+ 12	+283	-229	+ 88
21	-502	+330	+182	-277	+ 19	+491
22	+ 29	+ 26	-198	-264	-166	-315
23	+782	-432	-577	-213	-323	-263
24	+ 62	+238	-108	+183	- 29	+254
25	+318	+ 43	+ 43	+ 98	+ 94	+311
26	- 4	+ 17	- 4	-167	- 29	+421
27	-108	+492	+200	+133	+108	-175
28	-192	+108	-333	- 75	+238	+217
29	-100	-158	+792	+ 8	+383	- 25
30	+633	+233	+533	-308	+683	-583
31	+242	-458	- 58	+283	-175	-358
32	+233	+250	+233	-250	-392	-592
33	+325	-625	-625	+317	+333	- 54
34	-325	-767	+942	+1317	+425	+558
35	-192	- 75	+608	+483	+383	+458
36	-483	+417	+283	-167	+417	+533
37	-367	-333	-417	-975	- 25	- 67
38	-175	-100	-133	-367	+808	+492
39	+167	+158	+275	-442	+150	-350
40	-267	+217	+450	-425	+542	-533
41	-658	-367	-225	-375	+350	0
42	-383	-392	-183	+250	+383	-325
43	+475	+617	+367	-442	- 75	-300
44	-342	- 58	-558	-100	-258	-125
45	-417	-833	+142	+525	- 58	-242
46	-625	-358	- 83	+133	+142	-258
47	-350	+525	0	+350	+233	0
48	+592	+ 50	-442	-942	+383	+300
49	-1267	- 25	-758	+483	-150	-300
50	-833	-175	+725	+467	- 33	+567
51	+ 8	-100	+192	-200	+158	-267
52	-308	-167	+283	+ 42	+208	+200
53	- 67	+175	-167	-233	+333	+208

GRUPO 2: 41 ensaios

Número do Experimento	N' x P'		N' x K'		P' x K'	
	0 e 1	0 e 2	0 e 1	0 e 2	0 e 1	0 e 2
1	- 82	+410	-286	+ 36	-226	+434
2	- 67	- 28	- 39	+166	- 78	-556
3	+ 22	+287	+523	+626	+274	+ 16
4	+278	+524	-197	-806	-422	+ 49
5	+176	+316	-314	+191	+ 78	+ 47
6	+ 98	+ 73	-343	-260	+ 40	+ 54
7	+280	-210	-511	-644	+703	+466
8	+336	+ 40	-438	+568	+1011	+689
9	+321	+356	-637	-856	-148	+157
10	+ 9	-299	-473	-742	+359	-547
11	+ 71	+241	+318	+467	+149	- 39
12	- 56	+ 42	+105	-156	-361	- 11
13	-347	-322	- 91	-334	+257	+137
14	-372	+132	+114	+ 6	- 19	+198
15	+178	+278	+185	-211	-690	+ 12
16	+103	+494	-142	-378	-353	- 44
17	+167	-267	+133	+466	-750	+ 16
18	-400	-219	-495	-320	+708	+342
19	-229	-468	-118	-292	+217	+ 4
20	+116	-1095	+ 35	-697	-889	- 49
21	+245	+ 60	+109	+ 72	+405	-257
22	+229	+197	+356	+334	+571	+866
23	+445	+325	+355	+ 39	+225	+108
24	+211	+ 56	+150	-561	+278	+411
25	-128	- 56	-322	-183	+489	-333
26	+416	0	-450	-394	+144	+194
27	- 44	+370	-336	+169	+114	+ 17
28	-206	+272	+ 44	- 6	+294	- 36
29	+328	+556	- 6	+ 39	+ 44	-217
30	-247	- 89	+170	+ 22	+180	+550
31	- 47	-408	-319	+ 53	-350	+ 83
32	+522	-192	+481	+ 70	-170	+161
33	-283	+133	-206	- 56	-180	-211
34	- 14	+528	-478	+147	+303	+106
35	+378	+ 80	- 22	-275	- 35	-220
36	-231	- 40	+360	- 44	+ 11	+158
37	-872	+ 39	- 80	-1016	+880	+455
38	+238	+355	+403	+367	+378	+189
39	+ 98	+262	+110	+303	-118	+214
40	-138	+ 12	+ 55	-355	-202	+206
41	+132	-344	- 38	- 93	+220	+146

GRUPO 3: 10 ensaios

Número do Experimento	N' x P'		N' x K'		P' x K'	
	0 e 1	0 e 2	0 e 1	0 e 2	0 e 1	0 e 2
1	-532	-289	- 29	+336	-460	-132
2	-730	-552	+438	+267	- 13	-241
3	-622	-1600	+140	+444	+203	+216
4	-292	-242	+940	+222	-692	-267
5	+984	-118	-260	+480	+ 38	+696
6	-292	- 89	-197	-457	-457	-508
7	+679	+641	-406	-641	+311	- 63
8	-502	0	+260	+622	+171	+260
9	-235	-358	+219	- 6	-448	+160
10	+165	- 57	-158	- 89	+235	-152

GRUPO 4: 13 ensaios

Número do Experimento	N' x P'		N' x K'		P' x K'	
	0 e 1	0 e 2	0 e 1	0 e 2	0 e 1	0 e 2
1	-251	+ 57	- 92	-425	- 3	-343
2	+349	+221	+624	+446	+121	-243
3	+146	- 44	-311	-527	- 19	-451
4	+309	+130	-355	-550	-213	-327
5	+204	+478	-346	+ 62	+ 43	-120
6	+ 70	+818	-444	+1213	+595	+571
7	+212	+187	+ 66	+344	+334	+711
8	-130	+250	+414	+ 77	-148	-401
9	+201	-125	-377	+690	-160	- 23
10	-597	+ 84	+338	+442	-100	+380
11	-505	-171	+ 28	- 23	+264	+898
12	-384	-213	-148	-809	+572	-583
13	+ 62	-216	-284	+500	+123	-265

Tratamentos de 1 a 7: Triângulo Mineiro

Tratamentos de 8 a 13: Patos de Minas

