

ANÁLISE COMPARATIVA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE MILHO EM SOLO DE CERRADO

José Carlos Cruz¹
João Carlos Garcia¹
Luiz André Corrêa²
Arnaldo Ferreira da Silva²
Antônio Carlos Viana²

RESUMO - Para avaliar o comportamento da cultura do milho em solos sob vegetação de cerrado, foram instalados, no CNPMS, nos anos agrícolas de 1975/76 a 1980/81, dez sistemas de produção. Em parcelas de 500 m² foram estudados aspectos, como: influência de métodos de aplicação de adubação fosfatada (em sulco ou combinação de aplicação a lanço no primeiro ano, seguida por adubações anuais no sulco de plantio); adubação verde (intercalar com mucuna-preta (*Stizolobium altissimum*) ou em rotação com crotalária (*Crotalaria juncea*); rotação milho-soja e sistema em que não foi colocado nitrogênio na adubação no plantio. O experimento foi instalado em um Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa, fase cerrado utilizando-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com duas repetições. Os resultados mostraram não ser rentável a eliminação do nitrogênio na adubação no plantio. As produções de milho no sistema de rotação milho-soja foram superiores às obtidas com o uso de adubação verde (exclusiva ou intercalar) ou milho contínuo. O sistema com aplicação de fósforo distribuído ao longo dos anos e com rotação milho-soja foi o de melhor desempenho econômico. As aplicações de fósforo no primeiro ano não geraram aumentos de produtividade que compensassem o investimento inicial.

A COMPARATIVE ANALYSIS OF MAIZE PRODUCTION SYSTEMS IN A "CERRADO" SOIL

ABSTRACT - A study was conducted at the National Maize and Sorghum Research Center, at Sete Lagoas, MG, Brazil, from 1975/76 to 1980/81, using ten systems of production, to evaluate maize grown under "cerrado" soil conditions. Plots consisting of 500 m² were used to study the following aspects: contribution of the method of phosphorus application (furrow application vs a combined application of a broadcast application the first year followed by annual furrow application); the use of green manure crops (double cropping with "mucuna-preta" (*Stizolobium altissimum*) or rotation with *Crotalaria juncea*); a maize-soybean rotation and a system with no nitrogen application at planting. This experiment was installed in a Dark-Red Latosol clay texture, "cerrado" phase soil, using a randomized complete block experimental design with two replications. The results showed that the absence of nitrogen fertilizer at planting time was nonprofitable. Maize yields in the system of the maize-soybean rotation were greater than those obtained with the use of a green manure crop (double cropping or rotation) or continuous maize. The system using phosphorus application in the row each year and maize-soybean rotation was the most economical. A broadcast phosphorus application the first year did not raise the yield sufficiently to justify the initial investment costs.

INTRODUÇÃO

O cultivo do milho concentra-se nas regiões Sul e Sudeste do Brasil em solos de média a alta

fertilidade natural. Entretanto, a região dos Cerrados apresenta-se como uma excelente opção para expansão da área cultivada, graças à facilidade de mecanização intensiva, infra-estrutura existente e baixo preço da terra.

As informações disponíveis sobre o cultivo de milho no cerrado referem-se normalmente a estudos de fertilidade do solo, os quais têm demonstra-

¹ Eng. - Agr., Ph.D., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), Caixa Postal 151, CEP 35700 Sete Lagoas, MG.

² Eng. - Agr., M.Sc., EMBRAPA/CNPMS.

do a possibilidade de alcançar elevados índices de produtividade, comparáveis aos obtidos em regiões tradicionais desta cultura.

A resposta de milho a fósforo foi constatada em diferentes trabalhos (Freitas et al. 1971, 1972, North Carolina State 1973, 1974). Basicamente, pode-se identificar dois sistemas de manejo de adubação fosfatada. No primeiro, realiza-se uma adubação de correção em que o fósforo é aplicado a lanço, seguido da incorporação à camada arável do solo, e com adubações anuais de manutenção no sulco de plantio. O segundo sistema é constituído de aplicações de fósforo somente no sulco de plantio.

Em trabalho realizado no Relatório... (1982) sobre doses, métodos de aplicação e efeito residual do fósforo em um solo LE, a colheita da décima primeira produção consecutiva de milho (Cargill 111) mostrou que o efeito residual da adubação fosfatada provém mais do total de fósforo aplicado do que do método de aplicação. Foi verificado que o efeito residual de 160 kg/ha de P_2O_5 aplicado a lanço, no início do experimento, praticamente findou e foi suficiente para promover a produção total (onze colheitas) de 17,22 t/ha de grãos. Neste trabalho é também enfatizada a importância de considerar o efeito residual, ao se definir doses econômicas de adubação fosfatada, sendo freqüente o erro de considerar todo o custo do fósforo aplicado, ao passo que o seu benefício é considerado apenas em parte. Com isso, subestimam-se as doses de fosfato a serem aplicadas.

Resultados do Relatório... (1981) em área de LE fase cerrado mostraram que, em média, a produção de grãos equivalente a 80% da produção máxima correspondeu, aproximadamente, às aplicações de 300 kg/ha de P_2O_5 a lanço, no primeiro ano de plantio; 75 kg/ha de P_2O_5 a lanço e 50 kg anuais no sulco (total de 125 kg/ha de P_2O_5); e 100 kg/ha de P_2O_5 colocados anualmente no sulco de plantio. O tratamento que melhor lucro ofereceu foi a aplicação de 100 kg/ha de P_2O_5 a lanço, na forma de superfosfato triplo, e 50 kg/ha de P_2O_5 no sulco de plantio, como dose anual de manutenção.

Embora não seja prática comum em sistemas de produção de milho em solos de cerrado, a adubação verde tem mostrado ser prática bastante pro-

missora, conforme resultados obtidos por Fagundes et al. (1953) e Coimbra (1963). Pacheco et al. (1976), trabalhando em um Latossolo Vermelho-Escuro fase cerrado, verificaram que adubação verde exclusiva com *Dolichos lab lab*, *Crotalaria juncea*, mucuna-preta, feijão-de-porco e guandu, proporcionaram aumentos na produção de milho que variaram de 10% a 46%, quando comparados com a testemunha sem adubo verde.

A prática da adubação verde, todavia, não tem encontrado boa receptividade entre os agricultores, porque implica a suspensão da cultura principal em uma parte da propriedade, para que seja efetuado o plantio do adubo verde. Este problema, entretanto, pode ser contornado pelo uso da adubação verde intercalar (Vieira 1951).

Também a rotação de culturas, especialmente a rotação soja-milho, apresenta uma série de vantagens, quando comparada com culturas contínuas, e deve ser empregada sempre que possível. Resultados obtidos por Cruz (1982) mostram que a rotação favorece tanto o milho quanto a soja, quando comparados com as respectivas culturas plantadas continuamente. Mascarenhas et al. (1978) verificaram aumento consistente na produção de milho em áreas onde a soja foi plantada nos anos imediatamente anteriores. Esse aumento foi diretamente proporcional ao número de anos de cultivo da soja.

O objetivo deste trabalho foi avaliar do ponto de vista econômico e de produção de grãos sistemas diferentes de plantio de milho, variando métodos de aplicação de adubação fosfatada, adubação verde e rotação de culturas, em um Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa, fase cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi realizado em área do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, em um Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa, fase cerrado, no período de 1976 a 1982. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com duas repetições. Cada parcela era constituída de 500 m², sendo a produção obtida numa área de 100 m², tomada, ao acaso, dentro de cada parcela. Os tratamentos estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Sistemas de produção de milho instalados em um Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa, fase cerrado, CNPMS/EMBRAPA, no período de 1975/81*, Sete Lagoas, MG, 1984.

Sistema	Adubação (kg/ha)		Cultura plantada							
	Correção P ₂ O ₅	Manutenção N-P ₂ O ₅ - K ₂ O	1975/76	1976/77	1977/78	1978/79	1979/80	1980/81		
1	0	0-80-30	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho
2	0	20-80-30	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho
3	120	20-60-30	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho
4	240	20-40-30	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho
5	0	20-80-30	M + M. - preta	M + M. - preta	M + M. - preta	M + M. - preta	M + M. - preta	M + M. - preta	M + M. - preta	M + M. - preta
6	120	20-60-30	M + M. - preta	M + M. - preta	M + M. - preta	M + M. - preta	M + M. - preta	M + M. - preta	M + M. - preta	M + M. - preta
7	0	20-80-30	Crotalária	Milho						
8	120	20-60-30	Crotalária	Milho						
9	0	20-80-30	Soja	Milho	Soja	Milho	Milho	Soja	Milho	Milho
10	120	20-60-30	Soja	Milho	Soja	Milho	Milho	Soja	Milho	Milho

* Após seis anos de estudo, todos os tratamentos, exceto os sistemas 7 e 8, haviam recebido um total de 480 kg/ha de P₂O₅.

Em 1975/76 todos os tratamentos receberam ainda 20 kg/ha de sulfato de zinco e as parcelas com milho, 40 kg/ha de N em cobertura, 45 dias após o plantio.

A partir de 1976/77, a adubação potássica foi aumentada para 60 kg/ha de K₂O e a adubação em cobertura do milho para 60 kg/ha de N. Em 1977/78, as parcelas dos tratamentos 7 e 8 foram subdivididas em duas, sendo plantado milho e crotalária (*C. juncea*) em anos alternados. Deste modo, as produções de milho nestes tratamentos, a partir de 1978/79, referem-se a um sistema em que o milho era plantado em rotação com a crotalária. Foi plantado o híbrido IAC. Hmd. 7974 de 1976/77 até 1978/79 e Cargill 111 a partir de 1979/80. Utilizou-se a cultivar de soja IAC 2 em 1976/77 e 'UFV-1' após 1978/79. As demais práticas culturais e controles fitossanitários foram feitos quando necessário.

Os custos de produção de cada sistema foram calculados com base nos preços de insumos e serviços em vigor no mês de outubro de 1981. As receitas foram obtidas da média dos preços de milho (abril) e soja (maio) dos anos de 1980, 1981 e 1982, corrigidos, pelo índice 2 da FGV para o mês de outubro de 1981. Desta forma, os problemas causados pela inflação podem ser evitados e as estimativas de retorno são em termos reais e preços de outubro de 1981.

Em vista de ter sido feito um investimento inicial de aplicação de fósforo a lanço nos sistemas 3, 4, 6, 8 e 10, e as despesas de plantio e receita da produção ocorrerem em épocas diferentes, foi necessário utilizar uma metodologia que permitisse avaliar os retornos destes investimentos.

Como os custos e benefícios são distribuídos ao longo do tempo, foi utilizado o critério do valor presente para a comparação econômica entre os sistemas. Com ele consegue-se trazer os custos e retornos verificados ao longo dos anos, para um dado período de tempo, com base no uso de juros reais de valor definido. O sistema escolhido é o que fornece o maior valor presente.

A equação do valor presente é a seguinte:

$$VP = I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{(R_i - C_i)}{(1+r)^i} \quad (1)$$

onde

- I_0 é o valor do investimento inicial,
 R_i ($i = 1, \dots, n$), o retorno no período i
(preço x produção),
 C_i ($i = 1, \dots, n$), o custo de produção no
período i ,
 r , taxa de juros real,
 n , o número total de anos analisados.

Foram utilizadas nos cálculos as taxas de juros reais de 6%, 12% e 24% a.a. para verificar a sensibilidade dos resultados, as alterações no custo de oportunidade do capital. Como o valor de $(1 + r)$ é maior do que 1 e cresce exponencialmente com o tempo, os sistemas com I_0 diferente de zero necessitam gerar um acréscimo de produtividade no início da série, de forma a cobrir com mais facilidade os gastos iniciais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fertilidade do solo

A análise de solo foi feita após o primeiro e sexto ano de plantio, em todas as parcelas experimentais. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Observou-se uma redução no pH de 0,6 unidade em consequência da absorção catiônica, tipo de adubo nitrogenado aplicado (sulfato de amônio), decomposição da matéria orgânica e lixiviação de bases. Provavelmente, esta acidificação esteja atuando na liberação de Al^{+3} , que aumentou no período de 0,2 meq/100 cc de solo.

Resultados da análise de solos, em 1982, mostraram uma saturação de alumínio de 7,8% que, em conjunto com as concentrações de cálcio e magnésio (2,40 e 0,81 meq/100 g, respectivamente) indicaria a possibilidade de utilização da área por um período maior, sem aplicação de corretivo. Entretanto a redução de bases (Ca e Mg), no período estudado, equivaleu a 548 kg/ha de Ca e 125 kg/ha de Mg ou 1.370 kg de $CaCO_3$ e

437,50 kg de $MgCO_3$. Estas quantidades são expressivas e devem ser levadas em conta, o que justificaria a aplicação de corretivo.

Em sentido inverso ao de acidificação, há o bloqueio do Al^{+3} pela matéria orgânica, como salientado por Clark & Nichols (1966) e Schmitzer & Skimner (1963).

A exportação de fósforo por tonelada de grãos produzida é, em termos médios, de 5,6 kg de P ou 12,9 kg de P_2O_5 (Malavolta 1979). Assim, a produtividade média de 3.632 kg/ha (Tabela 3, média anual do experimento) exportou 46,8 kg/ano de P_2O_5 , podendo ser o restante utilizado para construir a fertilidade do solo. Como isto não foi observado, devem ter ocorrido problemas com relação ao extrator usado e/ou adsorção do P aplicado.

Entretanto deve ser salientado que com estes cálculos a recuperação teórica seria de 58%, que não é encontrada praticamente em nenhum solo. Bahia Filho (1982) somente encontrou uma recuperação de 46% em ensaio de estufa em um solo predominantemente caolimítico (70%) sem goetita e sem gibsitita.

Para potássio, a exportação média é de 7 kg/t de grãos, segundo Malavolta (1979), o que corresponde a 8,4 kg de K_2O . A produtividade média de 3.632 kg/ha exportou 30,5 kg/ano de K_2O , restando 29,5 kg de K_2O /ha por ano para construir a fertilidade, juntamente com a decomposição de resíduos e reciclagem de K das camadas mais profundas. Quanto ao cálcio e magnésio, houve um decréscimo de 1,37 e 0,52 meq/100 cc de solo, respectivamente. Isto equivale a 548 e 125 kg/ha em seis anos. Considerando uma taxa de exportação de 0,5 kg de Ca e 2 kg de Mg/t grãos (Malavolta 1979), nos seis anos de ensaio, foram exportados 8,8 kg de Ca e 44 kg de Mg. As perdas foram bem superiores à absorção, indicando maior perda por lixiviação. A lixiviação do cálcio foi, provavelmente, favorecida pelas fontes de adubos empregadas (sulfato de amônio, cloreto de potássio e superfosfato simples). Esta suposição é baseada em resultados obtidos no Relatório... (1982) em trabalho conduzido em colunas num solo LE mostrando que o Ca lixivia mais rapidamente quando aplicado na forma cloreto do que de sulfato, não lixiviando na forma de carbonato.

TABELA 2. Resultados da análise de solos por repetição após o primeiro e sexto ano de instalação do experimento, CNPMS/EMBRAPA, Sete Lagoas MG. 1984.

Sistema	Repetição	pH		Al (meq/100 g)		Ca (meq/100 g)		Mg (meq/100 g)		K (ppm)		P (ppm)		MO %	
		1977	1982	1977	1982	1977	1982	1977	1982	1977	1982	1977	1982	1977	1982
1	I	5,6	5,1	0,15	0,32	2,95	2,13	0,60	0,53	32	55	1,0	2,5	2,98	3,10
	II	6,2	5,1	0,00	0,30	4,30	2,05	1,75	0,63	39	48	2,0	1,5	3,08	3,05
2	I	5,3	5,3	0,30	0,07	1,75	2,76	0,60	0,96	19	48	1,0	2,0	2,75	3,06
	II	5,8	5,7	0,05	0,00	4,00	3,27	0,90	1,25	54	62	3,0	1,5	3,03	2,53
3	I	5,5	4,9	0,10	0,57	2,60	1,43	1,15	0,37	31	54	2,0	1,0	3,02	2,89
	II	6,3	5,4	0,00	0,07	4,80	2,63	2,55	1,11	30	61	2,0	2,0	3,15	3,01
4	I	6,2	5,5	0,00	0,07	4,85	2,71	2,20	1,11	51	54	3,0	3,0	2,70	2,71
	II	5,9	5,1	0,00	0,27	4,00	1,90	1,15	0,64	35	38	3,0	1,0	3,10	2,88
5	I	5,8	5,3	0,00	0,12	4,15	2,52	1,50	0,84	38	53	3,0	2,5	2,83	3,16
	II	5,6	5,3	0,10	0,20	3,70	2,37	1,05	0,87	38	38	2,0	1,5	3,02	2,88
6	I	5,8	4,9	0,00	0,75	3,40	1,61	1,55	0,35	27	49	2,0	1,5	3,18	3,06
	II	5,9	5,2	0,00	0,22	3,70	1,99	1,55	0,72	26	48	1,0	1,5	3,05	2,90
7	I	5,1	4,8	0,90	0,67	1,50	1,52	0,25	0,35	35	42	2,0	1,5	3,33	2,98
	II	5,7	4,8	0,10	0,70	3,40	1,10	0,95	0,41	43	43	2,0	1,0	3,13	3,02
8	I	5,8	5,5	0,15	0,10	3,50	3,00	1,05	1,19	70	79	2,0	2,0	2,74	2,87
	II	6,9	6,2	0,00	0,25	8,80	4,00	0,55	0,48	20	32	3,0	2,0	2,82	2,79
9	I	6,0	5,7	0,00	0,05	3,30	3,50	1,65	1,34	92	98	2,0	3,0	2,73	3,08
	II	6,2	5,5	0,00	0,05	4,10	3,10	2,35	1,27	51	65	3,0	2,5	3,12	2,93
10	I	5,7	5,4	0,10	0,17	3,30	2,40	0,45	0,94	70	59	3,0	2,0	2,98	2,85
	II	6,0	5,2	0,00	0,40	3,30	2,10	1,75	0,80	43	42	3,0	1,0	2,52	2,58
Média		5,9	5,3	0,10	0,27	3,77	2,40	1,33	0,81	41,7	53,4	2,3	1,8	2,96	2,92

* Análises realizadas pelo Laboratório de Solos do CNPMS.

TABELA 3. Produção de grãos de milho (kg/ha) sob diferentes sistemas de produção, nos anos agrícolas de 1977/78, 1979/80 e 1981/82, CNPMS/EMBRAPA, Sete Lagoas, MG, 1984.

Sistema	Adubação (kg/ha)		Cultivos	Ano agrícola			
	Correção P ₂ O ₅	Manutenção N-P ₂ O ₅ - K ₂ O		1977/78	1979/80	1981/82	Média**
1	0	0-80-60	Milho contínuo	2.295	3.486	2.810	2.863 d
2	0	20-80-60	Milho contínuo	2.395	4.009	3.584	3.329 cd
3	120	20-60-60	Milho contínuo	3.335	4.408	3.911	3.885 bc
4	240	20-40-60	Milho contínuo	3.308	4.455	4.382	4.048 b
5	0	20-80-60	Milho + mucuna	2.460	4.126	3.358	3.114 cd
6	120	20-60-60	Milho + mucuna	2.629	3.588	2.832	3.016 d
7	0	20-80-60	Milho após crotalária	2.543	3.458	3.124	3.042 d
8	120	20-60-60	Milho após crotalária	3.016	4.403	4.075	3.831 bc
9	0	20-80-60	Milho após soja	4.902	4.451	5.119	4.824 a
10	120	20-60-60	Milho após soja	3.587	4.939	4.590	4.371 ab
CV%							14,69

* Todas as parcelas receberam anualmente 60 kg/ha de N aplicados em cobertura.

** Médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferença significativa pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

Produção de grãos

Quanto à produção de grãos foram feitas duas análises estatísticas. Numa delas foram consideradas apenas as produções dos anos agrícolas de 1977/78, 1979/80 e 1981/82, quando foi plantado milho em todas as parcelas. Os dados médios são apresentados na Tabela 3. Verifica-se que houve uma tendência de o tratamento que não recebeu nitrogênio no plantio apresentar menor produtividade. Isto é, mesmo com um teor razoável de matéria orgânica (2,9%) esta MO somente conseguiu suprir pequena parte da demanda, ou seja, só a aplicação de 20 kg no plantio resultou em 466 kg/ha de milho.

Numa comparação dentre os tratamentos que receberam o mesmo sistema de adubação, verifica-se que a produção do milho em rotação com a soja (4.598 kg/ha) foi superior à produção do milho em rotação com a crotalária (3.353 kg), milho intercalar com a mucuna-preta (3.229 kg/ha) ou milho contínuo (3.607 kg/ha). Deve-se, entretanto, ressaltar que as parcelas não eram adubadas quando plantadas com a crotalária, assim a quantidade de adubo total aplicado nestas parcelas foi menor do que nos demais tratamentos.

Diferentemente do que foi obtido por Pacheco et al. (1976) e Vieira (1951), não se verificou efeito benéfico de adubação verde intercalar ou exclusiva nas condições em que este experimento foi realizado.

Na Tabela 4 são apresentadas as médias de produção de milho nos tratamentos em que o cereal foi plantado nos seis anos de estudo.

A análise estatística destes seis tratamentos mostrou que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, nos tratamentos ou na interação tratamento x ano.

Estes resultados indicam que os diferentes métodos de aplicação de fósforo foram igualmente bons em termos de produção de milho.

As produções de soja não foram afetadas pelos métodos de adubação fosfatada (Tabela 5).

ANÁLISE ECONÔMICA

Rentabilidade dos sistemas

Como o sistema 1 é semelhante ao de n. 2, diferindo apenas pelo não-uso de nitrogênio por ocasião do plantio, a comparação entre os dois pode

TABELA 4. Produção de grãos de milho (kg/ha) sob diferentes sistemas de produção, no período de 1976/82. CNPMS/EMBRAPA, Sete Lagoas, MG, 1984.

Correção P ₂ O ₅	Adubação (kg/ha)	Sistema de plantio	Ano agrícola						Média
			1976/77	1977/78	1978/79	1979/80	1980/81	1981/82	
00	00-80-60	Milho contínuo	2.958	2.295	3.456	3.486	2.093	2.810	2.849
00	20-80-60	Milho contínuo	3.778	2.395	5.493	4.006	2.549	3.586	3.634
120	20-60-60	Milho contínuo	3.941	3.335	5.359	4.408	2.713	3.911	3.944
240	20-40-60	Milho contínuo	3.949	3.308	5.528	4.455	3.012	4.384	4.089
00	20-80-60	Milho + mucuna	3.274	2.460	4.737	4.126	2.704	3.358	3.443
120	20-60-60	Milho + mucuna	3.005	2.629	4.342	3.588	2.081	2.832	3.080
CV%									24,67

* Todas as parcelas receberam anualmente 60 kg/ha de N aplicados em cobertura.

ser feita com o uso dos preços do nitrogênio e do milho e do diferencial de produtividade média, que é de 785 kg/ha (Tabela 4). Com os preços considerados, o não-uso do nitrogênio no plantio reduziria os custos Cr\$ 2.894,00 (preços de out./1981); entretanto, a queda na produção reduz a receita Cr\$ 11.544,00, o que implica a inconveniência da eliminação do nitrogênio do plantio.

Os sistemas milho + mucuna e milho após crotalaria, por sua vez, além de não conduzirem ao aumento, nas condições estudadas, da produtividade de milho, implicam, no caso da crotalaria, a perda de receita econômica em três anos agrícolas. Isto torna estes sistemas inferiores com relação à rotação milho-soja ou aos sistemas com milho contínuo.

Tendo estes fatos em mente, optou-se pela análise comparativa apenas dos sistemas 2, 3, 4, 9 e 10 que se mostraram, de alguma forma, superiores aos outros sistemas mencionados acima.

Devido à variação natural da população de plantas, nas parcelas do experimento, dentro e entre anos, a produção foi, possivelmente, afetada. Isso prejudica a análise econômica dos sistemas, com base nas produções obtidas diretamente no campo. Para contornar este problema, foram ajustadas equações de regressão, tendo a densidade de plantas como uma das variáveis independentes, o que permite eliminar o efeito da desuniformidade da população de plantas.

As equações ajustadas foram do tipo quadrática, raiz quadrada e logarítmica que caracterizam diferentes formas de resposta da produção à variações na população de plantas. A equação será escolhida em função do valor do coeficiente de determinação e da significância estatística dos coeficientes ajustados.

Os modelos ajustados, em suas formas completas, são os seguintes:

quadrática:

$$\begin{aligned}
 \text{PRD} = & b_0 + b_1S + b_2S^2 + b_3D_1 + b_4D_2 + b_5A_1 + \\
 & + b_6A_2 + b_7A_3 + b_8A_4 + b_9A_5 + b_{10}R + \\
 & + b_{11}D_1R + b_{12}RA_1 + b_{13}RA_3 + b_{14}RA_5
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

raiz quadrada:

$$\text{PRD} = b_0 + b_1 S + b_2 \sqrt{S} + b_3 D_1 + b_4 D_2 + b_5 A_1 + b_6 A_2 + b_7 A_3 + b_8 A_4 + b_9 A_5 + b_{10} R + b_{11} D_1 R + b_{12} R A_1 + b_{13} R A_3 + b_{14} R A_5 \quad (3)$$

logarítmica:

$$\ln \text{PRD} = b_0 + b_1 \ln S + b_2 D_1 + b_3 D_2 + b_4 A_1 + b_5 A_2 + b_6 A_3 + b_7 A_4 + b_8 A_5 + b_9 R + b_{10} D_1 R + b_{11} R A_1 + b_{12} R A_3 + b_{13} R A_5 \quad (4)$$

onde:

PRD é a produção de milho em kg/ha;

S, a população de plantas de milho em 100 m²;

D₁ e D₂, variáveis do tipo zero-um que caracterizam os diferentes sistemas, sendo que, no sistema 2, os valores de D₁ e D₂ são zero e zero, respectivamente. Para o sistema 3, D₁ é igual a um e D₂ é igual a zero; no sistema 4 o valor de D₁ é um e D₂ é igual a um;

A_i (i = 1, . . . , 5), variáveis do tipo zero-um, uma com valor um para cada ano, com exceção do primeiro no qual todas tomam valor zero;

R toma valor 1 nos sistemas com rotação com soja e zero naqueles contínuos. De-

ve-se lembrar que o sistema 9 é o mesmo sistema 2 (incluindo a rotação) e o mesmo ocorre com o sistema 10 em relação ao de número 3.

As produções de milho foram obtidas substituindo-se os valores das variáveis acima nas equações ajustadas, considerando-se S igual a 400, ou seja, uma população de 40.000 plantas/ha.

No caso da soja, as produções foram obtidas através das médias dos três anos de produção em cada sistema com rotação.

As equações foram ajustadas com o uso de um programa de regressão "step wise". A escolhida para calcular as produções foi a quadrática, que apresentou os seguintes valores:

$$\text{PRD} = -1887 + 22,38S - 0,019S^2 - 597 A_1 + 787 A_2 - 1370 A_4 + 1433 R - 593 D_1 R - 971 R A_3 \quad R^2 = 81,98\% \quad (5)$$

Todos os coeficientes são significativos ao nível de 10% de probabilidade. Com base na equação ajustada, algumas inferências podem ser feitas. Como os coeficientes das variáveis D₁ e D₂ isoladamente não foram significativos, conclui-se que não existe diferença estatística entre as produções de milho nos sistemas 2, 3 e 4. Ocorreram diferenças estatísticas entre os sistemas com e sem rotação (variável R significativa) e mesmo entre sistemas de manejo de adubação fosfatada dentro da rotação (interação D₁. R significativa), além de ter sido o efeito da rotação no quarto ano (A₃ = 1) inferior ao dos outros anos.

TABELA 5. Produção de grãos de soja (kg/ha) sob o efeito de dois métodos de aplicação de fósforo, CNPMS/EMBRAPA, Sete Lagoas, MG. 1984.

Adubação (kg/ha)		Produção (kg/ha)			
Correção P ₂ O ₅	Manutenção N-P ₂ O ₅ - K ₂ O	1976/77	1978/79	1980/81	Média
00	20-80-60	1.127	2.650	1.702	1.826
120	20-60-60	710	2.580	1.806	1.698

TABELA 6. Produções estimadas de milho e soja (kg/ha), em sistemas de produção no cerrado, sob populações de 40.000 plantas/ha, CNPMS/EMBRAPA, Sete Lagoas, MG, 1984.

Sistemas	Ano	1	2	3	4	5	6
1, 2 e 3		4.028	3.431	4.815	4.028	2.658	4.028
9		1.826 (soja)	4.864	1.826 (soja)	4.490	1.826 (soja)	5.461
10		1.698 (soja)	4.271	1.698 (soja)	3.897	1.698 (soja)	4.868

TABELA 7. Valores presentes obtidos em diferentes sistemas de produção de milho no cerrado e sob diferentes taxas de juros (r). Valores em Cr\$ por hectare, CNPMS/EMBRAPA, Sete Lagoas, MG, 1984.

Sistemas	2	3	4	9	10
0,06	84.267	82.856	81.446	101.459	74.365
0,12	67.297	64.794	62.290	81.386	56.372
0,24	44.333	40.287	36.240	53.415	32.690

As produções estimadas com base na equação quadrática e empregadas nos cálculos econômicos estão na Tabela 6.

Na análise dos valores presentes dos cinco sistemas (Tabela 7), constatou-se que o de maior rentabilidade, dentro do intervalo de juros reais analisados, seria o sistema 9 (com rotação e sem aplicação inicial de fósforo).

Estes resultados indicam que seria mais recomendável, nas condições estudadas, distribuir as aplicações de fósforo ao longo dos anos, visto que a aplicação no período inicial não gerou, nos primeiros anos, um acréscimo de produtividade que justificasse o investimento efetuado (as produtividades dos sistemas 2, 3 e 4 não diferiram estatisticamente). Por outro lado, a rotação do milho com a soja proporcionou maiores rendimentos de milho do que os obtidos em plantios contínuos, o que contribuiu para o melhor desempenho do sistema 9.

CONCLUSÕES

1. A adubação potássica empregada permitiu um aumento médio de 11,7 ppm de potássio na ca-

mada arável num período de cinco anos (medida após o primeiro e sexto ano de estudo).

2. Não foi rentável a eliminação do nitrogênio na adubação de plantio.

3. As produções de milho no sistema de rotação milho-soja foram superiores às produções obtidas com o uso de adubação verde (exclusiva ou intercalar) ou milho contínuo.

4. O sistema de aplicação anual de fósforo no sulco de plantio e uso de rotação milho-soja foi o de melhor desempenho econômico.

5. As aplicações de fósforo a lanço no primeiro ano não geraram aumentos de produtividade que compensassem o investimento inicial.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos pesquisadores de diversas áreas do CNPMS/EMBRAPA, que direta ou indiretamente contribuíram com sugestões necessárias à realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- BAHIA FILHO, A.F.C. Índices de disponibilidade de fósforo de Latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas. Viçosa, UFV, 1982. 179p. Tese Doutorado.
- CLARK, J.S. & NICHOLS, W.E. The lime potential, percent base saturation relations of acid surface horizons of mineral and organic soils. *Can. J. Soil Sci.*, 46:181-315, 1966.
- COIMBRA, R. de O. Agricultura no Cerrado. In: SIMPÓSIO sobre o Cerrado. São Paulo, EDUSP, 1963. p.358-81.
- CRUZ, J.C. Effect of crop rotation and tillage systems on some soil properties, root distribution and crop production. West Lafayette, Purdue Univ., 1982. 220p. Tese Doutorado.
- FAGUNDES, A.B.; MENEZES, W.C. da & KALCKMANN, R.E. Adubação e calagem de terras de cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., Campinas, SP. *Anais...* Rio de Janeiro, Soc. Bras. Ci. Solo, 1953. p.295-304.
- FREITAS, L.M.M. de; LOBATO, E. & SOARES, W.V. Experimentos de calagem e adubação em solos sob vegetação de cerrado no Distrito Federal. *Pesq. agropec. bras. Sér. Agron.*, 6:81-9, 1971.
- FREITAS, L.M.M. de; LOBATO, E.; TANAKA, T.; SOARES, W.V. & FRANÇA, G.E. de. Experimentos de adubação de milho-doce e soja em solos de campo cerrado. *Pesq. agropec. bras. Sér. Agron.*, 7:57-63, 1972.
- MALAVOLTA, E. Potássio, magnésio e enxofre nos solos e culturas brasileiras. Piracicaba, Inst. Potassa e Fósforo, 1982. 92p. (Boletim técnico, 4).
- MASCARENHAS, H.A.; HIROCE, R.; BRAGA, N.R.; MIRANDA, M.A.C. de; POMMER, C.V. & SAWAZAKI, E. Efeito de nitrogênio residual da soja na produção de milho. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 1., Londrina, PR, 1978. *Anais...* Londrina, EMBRAPA-CNPSo, 1978. p.307-18.
- NORTH CAROLINA STATE. University. *Agronomic economic research on tropical soils*; annual report. Raleigh, 1973. 198p.
- NORTH CAROLINA STATE. University. *Agronomic economic research on tropical soils*; annual report. Raleigh, 1974. 230p.
- PACHECO, E.B.; CRUZ, J.C.; BAHIA FILHO, A.F. de C. & SILVA, T.C.A. da. Efeito da adubação verde sobre a produção de milho em Latossolo Vermelho-Escuro textura média, fase cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 11., Piracicaba, SP, 1976. *Anais...* Piracicaba, ESALQ, 1978. p.301-7.
- RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DO CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DOS CERRADOS - 1980/1981. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1982. 163p.
- RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DO CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE MILHO E SORGO - 1979/1980. Sete Lagoas, EMBRAPA-CNPMS, 1981. 207p.
- SCHMITZER, M. & SKIMNER, S.I.M. Organometallic interactions in soils; reactions between a number of metal ions and the organic matter of a podzol Bh horizon. *Soil Sci.*, 98:197-203, 1963.
- VIEIRA, C. Efeito da adubação verde intercalar sobre o rendimento do milho. *Experimentiae*, 1(1):1-24, 1951.