



ARTIGO ORIGINAL

Adriano Stephan Nascente^{1*}
Pedro Marques da Silveira¹
Alcido Elenor Wander¹

¹ Embrapa Arroz e Feijão, Rod. GO-462, km 12,
Zona Rural, CP 179, 75375-000, Santo Antônio
de Goiás, GO, Brasil

Autor Correspondente:

*E-mail: adriano.nascente@embrapa.br

PALAVRAS-CHAVE

Agricultura sustentável
Glycine Max
Pennisetum glaucum
Phaseolus vulgaris
Viabilidade econômica
Zea mays

KEYWORDS

Sustainable agriculture
Glycine max
Pennisetum glaucum
Phaseolus vulgaris
Economic viability
Zea mays

Viabilidade agroeconômica de rotação de culturas e manejo do solo em áreas irrigadas por aspersão

Agro-economic viability of crop rotation and soil management in sprinkler irrigated areas

RESUMO: No sistema plantio direto (SPD), a rotação de culturas é requisito imprescindível. Entretanto, ainda existem questionamentos sobre a economicidade do sistema, principalmente em áreas agrícolas irrigadas. O objetivo deste trabalho foi determinar o efeito de rotações de culturas e manejo do solo na produtividade de grãos de milho e feijoeiro comum e no rendimento econômico do sistema. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em parcelas divididas, com seis repetições. Os tratamentos incluíram três sistemas de manejo do solo (parcelas): P_1 = plantio direto no verão seguido anualmente de um preparo com arado no inverno; P_2 = plantio direto seguido bianualmente de um preparo com arado no inverno; P_3 = plantio direto contínuo; incluíram-se, também, três rotações de culturas (subparcelas): R_1 = Milho/feijão/milho/feijão; R_2 = Milheto/feijão/milho/feijão; R_3 = Soja/feijão/milho/feijão. No final da rotação, repetiram-se as mesmas rotações na mesma área, havendo, portanto, dois ciclos de rotação. O sistema plantio direto proporcionou a menor produtividade de grãos para as culturas do milho e do feijoeiro comum. O milheto proporciona a maior produtividade de grãos do feijoeiro comum no SPD. Todas as rotações testadas proporcionam rendimento econômico positivo, ou seja, são economicamente viáveis. Dentre as opções testadas, a rotação de culturas milheto/feijoeiro comum/milho/feijoeiro comum, no SPD, é a que proporciona maior rentabilidade econômica.

ABSTRACT: Crop rotation is an essential requirement in no-tillage systems (NTS); however, the economic viability of this system, especially in irrigated agricultural areas, is still questionable. In this study, we aimed to determine the effect of crop rotation and soil management in the grain yield of corn and common beans and the economic performance of this system. We used a randomized block experimental design in split plots with six replications. The treatments consisted of three soil managements (main plots): M_1 = NTS in the summer followed by plowing and disking after one year in the winter; M_2 = NTS followed by plowing and disking after two years in the winter; M_3 = continuous NTS; and three crop rotations (subplot): R_1 = corn/common beans/corn/common beans, R_2 = pearl millet/common beans/corn/common beans, and R_3 = soybean/common beans/corn/common beans. At the end of crop rotation, the same crop rotations are repeated in the same area, that is, two cycles of rotation. NTS provided the lowest grain yield for corn and common beans; Pearl millet provided the highest grain yield of common beans in NTS; all crop rotations tested resulted in positive economic performance, that is, they were economically viable. Among the options tested, crop rotation of pearl millet/common beans/corn/common beans in NTS provided the highest economic performance.

1 Introdução

A produção sustentável é conhecida pela diversificação das atividades agrícolas nas áreas visando ao desenvolvimento ecológico, econômico e social da agricultura (FILIZADEH; REZAZADEH; YOUNESSI, 2007; CRUSCIOL; SORATTO, 2009; CASTRO et al., 2011). Este aumento da diversidade de espécies de plantas no ambiente proporciona menor ataque de insetos, menor incidência de patógenos, maior controle de plantas daninhas, aumento da produtividade das culturas e maior estabilidade da produção em face das pressões ambientais (DABNEY; DELGADO; REEVES, 2001; YAHUZA, 2011).

A rotação de culturas é essencial em sistemas agrícolas sustentáveis (MAHMOUDI et al., 2011); por exemplo, a introdução de espécie leguminosa pode significar redução do fertilizante nitrogenado da safra seguinte, uma vez que a leguminosa pode proporcionar aumentos significativos do nitrogênio disponível no solo (STEVENSON; VAN KESSEL, 1996; FILIZADEH; REZAZADEH; YOUNESSI, 2007; NASCENTE; LI; CRUSCIOL, 2013a). Segundo Embrapa Soja (2010), a rotação de culturas consiste em alternar espécies vegetais, no decorrer do tempo, numa mesma área agrícola. As espécies escolhidas devem proporcionar ganhos comerciais e/ou de manutenção ou recuperação do ambiente. Além disso, para a obtenção de máxima eficiência da capacidade produtiva do solo, o planejamento de rotação deve considerar, além das espécies comerciais, aquelas destinadas à cobertura do solo, que produzam grandes quantidades de biomassa, cultivadas quer em condição solteira ou em consórcio com culturas comerciais.

Com relação ao manejo do solo, a desestruturação do solo, a compactação e a redução nos teores de matéria orgânica são consideradas as principais indutoras da degradação dos solos agrícolas, sendo estas causadas principalmente pelo preparo convencional do solo (KLUTHCOUSKI et al., 2000). O sistema plantio direto (SPD) é considerado um sistema sustentável em razão da manutenção dos restos vegetais na superfície do solo, da maior conservação da umidade, do aumento dos teores de matéria orgânica e dos menores riscos de erosão (LOSS et al., 2012; NASCENTE et al., 2012a; MAUAD et al., 2013; NASCENTE et al., 2013b). O Brasil tem cerca de 50 milhões de hectares cultivados com culturas anuais e cerca de metade destes está sob SPD (NASCENTE; CRUSCIOL; COBUCCI, 2013c). Nesse sistema, a escolha da cultura antecessora é importante para evitar queda de produtividade na cultura em sucessão. Nascente e Crusciol (2012) relataram que a cultura da soja no SPD teve produtividade maior quando se utilizou *Panicum maximum*, *Brachiaria brizantha* ou *Brachiaria ruziziensis* do que nos tratamentos com pousio. Na cultura do arroz de terras altas, a produtividade foi superior quando o antecedente utilizado era o milheto (NASCENTE; LI; CRUSCIOL, 2013a). Adicionalmente, o manejo de solo pode afetar significativamente a produtividade das culturas. Segundo Kluthcouski et al. (2000), a produtividade de grãos do milho e do feijão foi significativamente superior na aração em relação ao SPD; por outro lado, na cultura da soja, não houve efeito dos manejos de solo sobre a produtividade de grãos.

Na região Centro-Sul do Brasil, existe uma área de 187,7 mil ha irrigada por pivô central, utilizada anualmente para o cultivo do feijão de inverno (CONAB, 2013). Nessas áreas, os produtores têm dúvidas sobre quais culturas devem ser colocadas em rotação com o feijoeiro comum e quais irão proporcionar maior rentabilidade. Assim, partiu-se da hipótese de que o sistema de manejo do solo afeta significativamente a produtividade de grãos das culturas agrícolas e que a rotação com maior diversidade de culturas com valor econômico proporcionará maior rentabilidade agrícola.

O objetivo deste trabalho foi determinar o efeito de rotações de culturas e manejo do solo na produtividade de grãos de milho e feijoeiro comum, e no rendimento econômico do sistema.

2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido em área irrigada por aspersão, sistema pivô central, na Embrapa Arroz e Feijão, no município de Santo Antônio de Goiás-GO, localizado a 16° 28' 00" de latitude Sul e longitude 49° 17' 00" WG, e altitude de 823 m. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, com as seguintes características químicas e físicas da área do primeiro ciclo de rotações: pH (H₂O) = 5,4; Ca (mmol_c dm⁻³) = 20,7; Mg (mmol_c dm⁻³) = 5,5; P (Mehlich) (mg dm⁻³) = 6,5; K (mg dm⁻³) = 70; Matéria Orgânica (g dm⁻³) = 16,4; areia (g kg⁻¹) = 440; silte (g kg⁻¹) = 140, e argila (g kg⁻¹) = 420, com textura argilosa. A área, quando se implementou o segundo ciclo de rotações (mesma área anterior), tinha como características químicas: pH (H₂O) = 5,6; Ca (mmol_c dm⁻³) = 18,7; Mg (mmol_c dm⁻³) = 5,9; P (Melich) (mg dm⁻³) = 14,1; K (mg dm⁻³) = 97, e Matéria Orgânica (g dm⁻³) = 16,3.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em parcelas divididas, com um total de nove tratamentos e seis repetições. Os tratamentos incluíram três sistemas de preparo do solo (parcelas): P₁ = plantio direto seguido anualmente de um preparo com arado no inverno; P₂ = plantio direto seguido bianualmente de um preparo com arado no inverno; P₃ = plantio direto contínuo; incluíram-se, também, três rotações de culturas (subparcelas): R₁ = Milho/feijão/milho/feijão; R₂ = Milheto/feijão/milho/feijão; R₃ = Soja/feijão/milho/feijão. As parcelas continham 5 m de largura e 30 m de comprimento, enquanto as subparcelas tinham 5 m de largura e 10 m de comprimento. Foram considerados, como área útil, os 3 m centrais, desprezando-se 0,5 m de cada lado. Ao final do primeiro ciclo de rotações, repetiram-se as mesmas rotações na mesma área, havendo, portanto, um segundo ciclo de rotações. Dessa forma, obtiveram-se dois ciclos completos para cada rotação.

O milho foi semeado, em novembro, no espaçamento de 0,90 m entre linhas e 5-6 sementes por metro. Foi utilizado o híbrido BR 3123 e as sementes foram tratadas com carbofuram (0,525 kg ha⁻¹ i.a.). Foi utilizado, em pós-emergência, o herbicida atrazine (1,25 kg ha⁻¹ i.a.) + simazine (1,25 kg ha⁻¹ i.a.). A adubação de base foi de 400 kg ha⁻¹, utilizando-se a fórmula (N-P₂O₅-K₂O) 5-30-15, e foi feita adubação nitrogenada, em cobertura, com 60 kg ha⁻¹ de N como ureia.

O plantio da soja foi feito em novembro com a cultivar Conquista, utilizando-se 20 sementes por metro, no espaçamento de 0,45 m entre linhas. Foram utilizados em pós-emergência os herbicidas fomesafem (0,200 kg ha⁻¹ i.a.) e fluazifop-butil (0,300 kg ha⁻¹ i.a.). A adubação de base foi de 400 kg ha⁻¹ da fórmula (N-P₂O₅-K₂O) 0-20-20.

O milho cultivar BN-2 foi semeado em novembro no espaçamento de 0,22 m entre linhas. A adubação de base foi de 200 kg ha⁻¹ da fórmula (N-P₂O₅-K₂O) 5-30-15.

A semeadura de feijão foi feita em maio com a cultivar Pérola, no espaçamento de 0,45 m entre linhas e oito sementes por metro. As sementes foram tratadas com carbofuran (0,525 kg ha⁻¹ i.a.) e benlate (0,05 kg ha⁻¹ i.a.). Foram aplicados em pós-emergência os herbicidas fomesafem (0,200 kg i.a. ha⁻¹) e fluazifop-butil (0,300 kg i.a. ha⁻¹). A adubação de base foi de 400 kg ha⁻¹ de fórmula (N-P₂O₅-K₂O) 5-30-15. Em cobertura, foram aplicados 60 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia.

No manejo sob plantio direto, foi utilizado o herbicida glifosate na dose de 2,4 kg ha⁻¹ de equivalente ácido, sete dias antes da semeadura da cultura. O manejo do solo com arado foi realizado antecedendo o cultivo do feijoeiro comum em maio, com o auxílio do arado de três aivecas comuns de doze polegadas, operando na profundidade de trinta centímetros. A cultura do milho, por ter sido implantada na época chuvosa, não foi irrigada. No controle das irrigações da cultura do feijoeiro comum, utilizaram-se três tensiômetros instalados a 15 cm de profundidade e as irrigações foram feitas quando a média das leituras se situava na faixa de 30 a 40 kPa, conforme sugerido por outros autores (SILVEIRA; STONE, 1994; CUNHA et al., 2013).

A colheita das culturas foi realizada após a maturação fisiológica na área útil das subparcelas. O teor de água dos grãos foi determinado e ajustado para 13%, sendo os dados transformados para kg ha⁻¹. O milho foi colhido rente ao solo e o material vegetal foi utilizado para produção de silagem. Calculou-se o efeito das rotações de cultura na produtividade de grãos da última safra de milho e da última safra de feijoeiro comum.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey para $p < 0,05$. Foi feita a comparação entre os sistemas de preparo do solo, rotações e interações.

Foi feito o acompanhamento do custo operacional de produção (MATSUNAGA et al., 1976; MARTIN et al., 1998) de todos os tratamentos, calculando-se o custo de cada rotação. Trabalhou-se com a média da produtividade e com a média dos custos operacionais das safras 2008/2009, 2009/2010, 2010/2011 e 2011/2012. Nos tratos culturais, foram incluídos os gastos com irrigação para o feijoeiro comum. Os coeficientes técnicos foram obtidos nas lavouras. Os preços de mercado dos fatores e produtos foram os praticados na região da Grande Goiânia. Para os fatores (insumos e serviços) foram considerados os preços vigentes no mês de outubro para as culturas de verão e de abril, para o feijão comum. Já para os produtos (grãos), foram considerados os preços vigentes no principal mês de colheita (março para as culturas de verão e setembro para o feijão comum) dos respectivos anos. O valor do dólar em 31 de maio de 2013 estava em R\$ 2,00.

3 Resultados e Discussão

O manejo do solo afetou significativamente a produtividade de grãos do milho, não havendo efeito das rotações de culturas, mas ocorrendo interação entre os fatores (Tabela 1). Assim, constata-se que o manejo P₃ (SPD contínuo) proporcionou a menor produtividade de grãos de milho na rotação soja, feijoeiro comum, milho, diferindo significativamente do preparo P₂ (SPD seguido bianualmente de um preparo com arado no inverno). Resultados semelhantes foram obtidos por Kluthcouski et al. (2000), que relataram produtividade de grãos do milho significativamente superior na aração em relação ao SPD. Cysne et al. (2012), trabalhando com feijão-caupi e milho, relataram que as produtividades de grãos dessas culturas foram significativamente menores nos tratamentos com cobertura morta no SPD, em relação ao plantio convencional. Da mesma forma, observaram-se, na cultura do feijoeiro comum, menores produtividades no manejo do solo com SPD contínuo. Resultados semelhantes foram obtidos por Kluthcouski et al.

Tabela 1. Produtividade de grãos da última safra de milho (M) e do feijoeiro comum (F) em função da rotação de cultura e do sistema de manejo do solo. Média de dois cultivos.

Rotação de cultura ¹	Manejo do solo ²		
	P ₁ ²	P ₂ ³	P ₃ ⁴
	Milho		
		kg ha ⁻¹	
R ₁ (M/F/M)	7.588 a A ⁵	7.833 a A	7.311 a A
R ₂ (Mi/F/M)	7.125 a A	7.924 a A	7.487 a A
R ₃ (S/F/M)	7.532 a AB	8.255 a A	7.094 a B
	Feijoeiro Comum		
R ₁ (M/F/M/F)	2.580 a A	2.403 b AB	2.287 b B
R ₂ (Mi/F/M/F)	2.572 a A	2.529 a A	2.407 a B
R ₃ (S/F/M/F)	2.571 a A	2.443 b AB	2.280 b B

¹M - milho; F - feijoeiro comum; Mi - milho e S - soja. ²P₁ = plantio direto no verão seguido anualmente de um preparo com arado no inverno. ³P₂ = plantio direto seguido bianualmente de um preparo com arado no inverno. ⁴P₃ = plantio direto contínuo. ⁵letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey para $p < 0,05$.

(2000) e Yokoyama, Silveira e Stone (2002) (somente milho), em que a maior produtividade foi obtida no preparo do solo com aração, quando comparada à do SPD. Os autores relataram que o pior desenvolvimento do milho e do feijoeiro comum no SPD sugere relativa sensibilidade das culturas à compactação do solo. Corroborando essas informações, Silveira Neto et al. (2006), trabalhando na mesma área, relataram maior densidade do solo no manejo com SPD contínuo, em comparação com o SPD seguido anualmente de preparo com arado no inverno. Segundo Loss et al. (2012), Nascente et al. (2013b) e Nascente, Crusciol e Cobucci (2013c), no SPD, devido ao trânsito de máquinas durante as várias etapas do processo produtivo, pode-se causar maior adensamento do solo. Uma solução seria a introdução de espécies de cobertura com sistema radicular denso, capaz de crescer em camadas adensadas e proporcionar redução da densidade do solo (LOSS et al., 2012).

Vale destacar a estabilidade produtiva do milho, que teve produtividade semelhante em todas as rotações (Tabela 2). Com relação ao feijoeiro comum, verificou-se maior produtividade nas rotações com a inclusão do milheto no manejo do solo com SPD contínuo e no SPD seguido de rotação a cada dois anos. O milheto é planta anual que possui rápida degradação, liberando mais rapidamente os nutrientes para o solo (NASCENTE;

CRUSCIOL; COBUCCI, 2012b, 2013c), o que pode ter proporcionado melhores condições para o desenvolvimento do feijoeiro comum, com reflexos positivos na produtividade de grãos da cultura. Nascente, Crusciol e Cobucci (2013c), no SPD, também obtiveram maior produtividade de grãos na cultura do arroz de terras altas, quando se utilizou a palhada de milheto como cultura antecessora. Nesse sentido, apesar de o milheto gerar menor receita do que as outras culturas agrícolas (milho, soja ou feijoeiro comum), deve-se pensar no sistema agrícola e nos ganhos indiretos proporcionados pelo milheto, como aumento da fertilidade natural dos solos e rompimento de camadas compactadas, além de proporcionar melhores condições para o desenvolvimento da cultura em sucessão.

Considerando-se dois ciclos completos de rotação de culturas, em situações de uma aração anual no inverno, a rotação R_1 (milho/feijoeiro comum/milho/feijoeiro comum) proporcionou maior renda bruta por hectare, em razão de suas produtividades relativamente superiores nestas condições (Tabela 2). Já em casos de se realizar uma aração a cada dois anos ou se usar o sistema plantio direto contínuo, sem aração, a rotação R_2 (milheto/feijoeiro comum/milho/feijoeiro comum) apresentou renda bruta mais elevada (Tabela 3).

Tabela 2. Produtividade de grãos de milho, feijoeiro comum e soja, e de matéria seca de milheto em função da rotação de cultura e do sistema de manejo do solo.

Primeiro Ciclo de Rotações de Culturas						
Rotação de cultura ²	Safr	Ano	Culturas	Manejo do solo ¹		
				P ₁	P ₂	P ₃
				kg ha ⁻¹		
R ₁	Verão	2008/2009	Milho	7.518	8.180	8.343
	Inverno	2009	Feijoeiro comum	1.839	2.258	1.977
	Verão	2009/2010	Milho	7.832	8.333	7.111
	Inverno	2010	Feijoeiro comum	2.850	2.624	2.246
R ₂	Verão	2008/2009	Milheto	9.400	12.367	12.683
	Inverno	2009	Feijoeiro comum	1.900	2.569	2.641
	Verão	2009/2010	Milho	7.454	7.950	7.986
	Inverno	2010	Feijoeiro comum	2.264	2.396	2.378
R ₃	Verão	2008/2009	Soja	2.949	3.344	3.378
	Inverno	2009	Feijoeiro comum	1.999	2.402	2.808
	Verão	2009/2010	Milho	7.201	8.346	7.199
	Inverno	2010	Feijoeiro comum	2.674	2.565	2.096
Segundo Ciclo de Rotações de Culturas						
R ₁	Verão	2010/2011	Milho	7.658	7.486	6.279
	Inverno	2011	Feijoeiro comum	2.547	2.079	2.161
	Verão	2011/2012	Milho	7.343	7.333	7.511
	Inverno	2012	Feijoeiro comum	2.309	2.182	2.327
R ₂	Verão	2010/2011	Milheto	9.494	9.766	10.882
	Inverno	2011	Feijoeiro comum	1.177	1.924	2.368
	Verão	2011/2012	Milho	6.796	7.898	6.989
	Inverno	2012	Feijoeiro comum	2.880	2.661	2.435
R ₃	Verão	2011/2012	Soja	3.666	3.798	3.610
	Inverno	2012	Feijoeiro comum	2.787	1.923	2.144
	Verão	2012/2013	Milho	7.864	8.164	6.989
	Inverno	2012	Feijoeiro comum	2.468	2.321	2.464

¹ P_1 = plantio direto no verão seguido anualmente de um preparo com arado no inverno; P_2 = plantio direto seguido bianualmente de um preparo com arado no inverno; P_3 = plantio direto contínuo. ² R_1 = Milho/feijoeiro comum/milho/feijoeiro comum; R_2 = Milheto/feijoeiro comum/milho/feijoeiro comum; R_3 = Soja/feijoeiro comum/milho/feijoeiro comum.

Tabela 3. Receita bruta das rotações de culturas testadas com os diferentes tipos de manejo de solo.

Primeiro Ciclo de Rotações de Culturas						
Rotação de culturas ²	Safr	Ano	Culturas	Manejo do solo ¹		
				P ₁	P ₂	P ₃
				R\$/ha		
R ₁	Verão	2008/2009	Milho	2.151,40	2.340,84	2.387,49
	Inverno	2009	Feijoeiro comum	2.102,28	2.581,27	2.260,04
	Verão	2009/2010	Milho	1.853,57	1.972,14	1.682,94
	Inverno	2010	Feijoeiro comum	5.766,50	5.309,23	4.544,41
R ₂	Verão	2008/2009	Milheto	1.974,00	2.597,07	2.663,43
	Inverno	2009	Feijoeiro comum	2.172,02	2.936,80	3.019,10
	Verão	2009/2010	Milho	1.764,11	1.881,50	1.890,02
	Inverno	2010	Feijoeiro comum	4.580,83	4.847,91	4.811,49
R ₃	Verão	2008/2009	Soja	1.955,19	2.217,07	2.239,61
	Inverno	2009	Feijoeiro comum	2.285,19	2.745,89	3.210,01
	Verão	2009/2010	Milho	1.704,24	1.975,22	1.703,76
	Inverno	2010	Feijoeiro comum	5.410,39	5.189,85	4.240,91
Segundo Ciclo de Rotações de Culturas						
R ₁	Verão	2010/2011	Milho	3.397,60	3.321,29	2.785,78
	Inverno	2011	Feijoeiro comum	4.204,25	3.431,74	3.567,09
	Verão	2011/2012	Milho	2.839,29	2.835,43	2.904,25
	Inverno	2012	Feijoeiro comum	6.187,74	5.847,40	6.235,97
R ₂	Verão	2010/2011	Milheto	1.993,74	2.050,86	2.285,22
	Inverno	2011	Feijoeiro comum	1.942,83	3.175,88	3.908,78
	Verão	2011/2012	Milho	2.627,79	3.053,89	2.702,41
	Inverno	2012	Feijoeiro comum	7.717,92	7.131,04	6.525,39
R ₃	Verão	2010/2011	Soja	2.575,37	2.668,10	2.536,03
	Inverno	2011	Feijoeiro comum	4.600,41	3.174,23	3.539,03
	Verão	2011/2012	Milho	3.040,75	3.156,75	2.702,41
	Inverno	2012	Feijoeiro comum	6.613,83	6.219,89	6.603,11

¹P₁ = plantio direto seguido anualmente de um preparo com arado no inverno; P₂ = plantio direto seguido bianualmente de um preparo com arado no inverno; P₃ = plantio direto contínuo. ²R₁ = Milho/feijoeiro comum/milho/feijoeiro comum; R₂ = Milheto/feijoeiro comum/ milho/feijoeiro comum; R₃ = Soja/feijoeiro comum/milho/feijoeiro comum.

Entre os diferentes tipos de manejo de solo, houve apenas uma pequena variação do custo operacional por hectare, para todas as rotações. Esta variação está relacionada à presença de uma aração anual em P₁, uma aração a cada dois anos em P₂ e sem aração em P₃, realizada sempre no início do cultivo do feijoeiro comum (safra de inverno). Os demais itens do custo operacional não diferiram entre os diferentes tipos de manejo do solo. Em todas as rotações testadas, a diferença no custo operacional por hectare acumulado durante dois ciclos completos de rotação de culturas (4 anos), entre o tipo de manejo de solo com uma aração anual e o manejo em SPD contínuo, foi de R\$ 470,00.

As três rotações testadas nos três tipos de manejo de solo foram todas economicamente viáveis, ou seja, geraram margem líquida positiva e relação benefício/custo maior do que um (Tabela 4); esse fato ocorreu, possivelmente, em função dos altos valores dos produtos agrícolas, principalmente do feijão, que alcançou valores superiores a R\$ 200,00 a saca, sendo que o preço histórico é de R\$ 70,00 a saca (SILVA et al., 2012). Considerando-se os dois ciclos completos de rotação

de culturas, as rotações R₁ (milho/feijoeiro comum/milho/feijoeiro comum) e R₃ (soja/feijoeiro comum/milho/feijoeiro comum) apresentaram rendimento econômico superior, usando manejo de solo com uma aração anual. Para estas duas rotações, tanto a margem líquida (R\$/ha) como a relação benefício/custo diminuíram à medida que se reduziu a frequência de aração, o que pode ser o reflexo da queda de produtividade observada nas culturas do milho e feijoeiro comum verificada nesses manejos do solo, que tem efeito direto na rentabilidade econômica do sistema (Tabela 1). Já a rotação R₂ (milheto/feijoeiro comum/milho/feijoeiro comum) proporcionou comportamento inverso. A redução da frequência de aração do solo fez com que a margem líquida (R\$/ha) e a relação benefício/custo aumentassem. Uma possível explicação seria porque o milheto tem sistema radicular vigoroso que rompe camadas compactadas, amenizando os efeitos da compactação verificados normalmente no manejo de solo sob SPD (NASCENTE; CRUSCIOL; COBUCCI, 2013c), o que teria proporcionado melhores condições para o desenvolvimento do milho e do feijoeiro comum, com reflexos na produtividade

Tabela 4. Rentabilidade das rotações de culturas testadas com diferentes manejos de solo, safras 2008/2009 a 2011/2012.

Ciclo de rotações	Rotação de cultura ²	Indicador	Manejo do solo ¹		
			P ₁	P ₂	P ₃
1	R ₁	Custo operacional (R\$/ha)	8.113,90	8.013,90	7.913,90
		Receita bruta (R\$/ha)	11.873,76	12.203,48	10.874,87
		Margem líquida (R\$/ha)	3.759,86	4.189,58	2.960,97
		Relação benefício/custo	1,46	1,52	1,37
	R ₂	Custo operacional (R\$/ha)	7.397,50	7.297,50	7.197,50
		Receita bruta (R\$/ha)	10.490,96	12.263,27	12.384,04
		Margem líquida (R\$/ha)	3.093,46	4.965,78	5.186,54
		Relação benefício/custo	1,42	1,68	1,72
	R ₃	Custo operacional (R\$/ha)	7.779,83	7.679,83	7.579,83
		Receita bruta (R\$/ha)	11.355,01	12.128,03	11.394,30
		Margem líquida (R\$/ha)	3.575,18	4.448,20	3.814,47
		Relação benefício/custo	1,46	1,58	1,50
2	R ₁	Custo operacional (R\$/ha)	8.096,25	7.961,25	7.826,25
		Receita bruta (R\$/ha)	16.628,88	15.435,85	15.493,10
		Margem líquida (R\$/ha)	8.532,63	7.474,60	7.666,85
		Relação benefício/custo	2,05	1,94	1,98
	R ₂	Custo operacional (R\$/ha)	7.335,41	7.200,41	7.065,41
		Receita bruta (R\$/ha)	14.282,28	15.411,67	15.421,81
		Margem líquida (R\$/ha)	6.946,88	8.211,27	8.356,40
		Relação benefício/custo	1,95	2,14	2,18
	R ₃	Custo operacional (R\$/ha)	7.658,55	7.523,55	7.388,55
		Receita bruta (R\$/ha)	16.830,35	15.218,97	15.380,58
		Margem líquida (R\$/ha)	9.171,80	7.695,42	7.992,03
		Relação benefício/custo	2,20	2,02	2,08
Total (1+2)	R ₁	Custo operacional (R\$/ha)	16.210,15	15.975,15	15.740,15
		Receita bruta (R\$/ha)	28.502,63	27.639,33	26.367,97
		Margem líquida (R\$/ha)	12.292,48	11.664,18	10.627,82
		Relação benefício/custo	1,76	1,73	1,68
	R ₂	Custo operacional (R\$/ha)	14.732,90	14.497,90	14.262,90
		Receita bruta (R\$/ha)	24.773,24	27.674,94	27.805,85
		Margem líquida (R\$/ha)	10.040,34	13.177,04	13.542,95
		Relação benefício/custo	1,68	1,91	1,95
	R ₃	Custo operacional (R\$/ha)	15.438,38	15.203,38	14.968,38
		Receita bruta (R\$/ha)	28.185,36	27.347,00	26.774,87
		Margem líquida (R\$/ha)	12.746,98	12.143,62	11.806,49
		Relação benefício/custo	1,83	1,80	1,79

¹P₁ = plantio direto seguido anualmente de um preparo com arado no inverno; P₂ = plantio direto seguido bianualmente de um preparo com arado no inverno; P₃ = plantio direto contínuo. ²R₁ = Milho/feijoeiro comum/milho/feijoeiro comum; R₂ = Milheto/feijoeiro comum/milho/feijoeiro comum; R₃ = Soja/feijoeiro comum/milho/feijoeiro comum.

de grãos dessas culturas. Corroborando essas informações, constatou-se maior produtividade de milho nessa rotação, não diferindo das demais rotações, e no feijoeiro comum, a produtividade nessa rotação foi superior às outras rotações de cultura, diferindo significativamente no SPD contínuo.

Dentre as opções testadas, os melhores resultados econômicos foram obtidos na rotação R₂ (milheto/feijoeiro comum/milho/feijoeiro comum) em sistema de plantio direto contínuo, sem aração. Após dois ciclos completos de rotação (= 4 anos), esta opção gerou uma margem líquida

de R\$ 13.542,95 ha⁻¹ e uma relação benefício/custo de 1,95 (Tabela 4). Nesse sentido, verifica-se que a utilização da rotação de culturas no SPD contínuo pode ser alternativa viável de utilização do pivô central na Região Central do Brasil, proporcionando rentabilidade econômica ao produtor rural. Especial atenção deve ser dada às culturas a serem utilizadas, uma vez que os produtos agrícolas sofrem constantes oscilações, sendo seus preços determinados pela lei de oferta e procura (CALLADO; CALLADO; ALMEIDA, 2011). O feijão, nos últimos três anos, vem apresentando preços

vantajosos (FERNANDES, 2012); o milheto, apesar de ter baixa rentabilidade econômica, parece proporcionar melhores condições de desenvolvimento da cultura em sucessão, o que afeta diretamente a produtividade e, consequentemente, a rentabilidade econômica da rotação de cultura. O SPD, além de ter proporcionado a maior rentabilidade econômica com a utilização da rotação R_2 , proporciona também benefícios, como redução da erosão e incrementos dos teores de matéria orgânica e da fertilidade do solo, além de contribuir para a maior conservação da umidade do solo (NASCENTE; CRUSCIOL; COBUCCI, 2012b; NASCENTE; LI; CRUSCIOL, 2013a).

4 Conclusões

O sistema plantio direto proporciona a menor produtividade de grãos para as culturas do milho e feijoeiro comum.

O milheto proporciona a maior produtividade de grãos do feijoeiro comum, no SPD.

Todas as rotações testadas proporcionam rendimento econômico positivo e são economicamente viáveis.

Dentre as opções testadas, a rotação de culturas com milheto/feijoeiro comum/milho/feijoeiro comum, no SPD contínuo, é a que proporciona a maior rentabilidade econômica.

Referências

- CALLADO, A. L. C.; CALLADO, A. A. C.; ALMEIDA, M. A. A utilização de indicadores de desempenho não-financeiros em organizações agroindustriais: um estudo exploratório. *Organizações Rurais & Agroindustriais*, v. 10, n. 1, p. 35-48, 2011.
- CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Sistemas de produção de grãos e incidência de plantas daninhas. *Planta daninha*, v. 29, p. 1001-1010, 2011. Número especial. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582011000500006>
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. *Acompanhamento da safra brasileira: grãos, oitavo levantamento safra 2012/2013*. CONAB, maio 2013. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso: 10 mar. 2013.
- CUNHA, P. C. R.; SILVEIRA, P. M.; NASCIMENTO, J. L.; ALVES JÚNIOR, J. Manejo da irrigação no feijoeiro cultivado em plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 7, p. 735-742, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000700007>
- CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P. Nitrogen supply for Cover Crops and Effects on Peanut Grown in Succession under a No-Till System. *Agronomy Journal*, v. 101, n. 1, p. 41-46, 2009. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2008.0054>
- CYSNE, J. R. B.; PINTO, C. M.; PINTO, O. R. O.; PITOMBEIRA, J. B. Influência da cobertura morta na produtividade de milho e feijão-caupi em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 2, n. 2, p. 92-102, 2012.
- DABNEY, S. M.; DELGADO, J. A.; REEVES, D. W. Use of winter cover crops to improve soil and water quality. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, v. 7, n. 7-8, p. 1221-1250, 2001. <http://dx.doi.org/10.1081/CSS-100104110>
- EMBRAPA SOJA. Tecnologia de produção de soja – Região Central do Brasil 2011. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 255 p. (Embrapa Soja, Sistema de produção, n. 14).
- FERNANDES, L. M. Retorno financeiro e risco de preço da cultura do feijão irrigado via pivô central na região noroeste de Minas Gerais. *Informações Econômicas*, v. 42, n. 1, 2012.
- FILIZADEH, Y.; REZAZADEH, A.; YOUNESSI, Z. Effects of Crop Rotation and Tillage Depth on Weed Competition and Yield of Rice in the Paddy Fields of Northern Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, n. 9, p. 99-105, 2007.
- KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D.; RIBEIRO, C. M.; FERRARO, L. A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. *Scientia Agrícola*, v. 57, n. 1, p. 97-104, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162000000100016>
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C.; Densidade e fertilidade do solo sob sistemas de plantio direto e de integração lavoura-pecuária no Cerrado. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 55, n. 4, p. 260-268, 2012. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2012.066>
- MARTIN, N. B.; SERRA, R.; OLIVEIRA, M. D. M.; ANGELO, J. A.; OKAWA, H. Sistema integrado de custos agropecuários – CUSTAGRI. *Informações Econômicas*, v. 28, n. 1, p. 7-28, 1998.
- MATSUNAGA, M.; BEMELMANS, P. F.; TOLEDO, P. E. N. D.; DULLEY, R. D.; OKAWA, H.; PEDROSO, I. A. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. *Agricultura em São Paulo*, v. 23, n. 1, p. 123-139, 1976.
- MAUAD, M.; VITORIONO, A. C. T.; SOUZA, L. C. F.; HEINZ, R.; GARBIATE, M. V. Straw persistence and nutrient release from crambe abyssinica according to the time of management. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 56, n. 1, p. 53-60, 2013. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2013.008>
- NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C. Cover crops and herbicide timing management on soybean yield under no-tillage system. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 2, p. 187-192, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000200006>
- NASCENTE, A. S.; GUIMARÃES, C. M.; COBUCCI, T.; CRUSCIOL, C. A. C. *Brachiaria ruziziensis* and herbicide on the yield of upland rice. *Planta Daninha*, v. 30, n. 4, p. 729-736, 2012a. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582012000400006>
- NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; COBUCCI, T. Ammonium and nitrate in soil and upland rice yield as affected by cover crops and their desiccation time. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 12, p. 1699-1706, 2012b. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012001200004>
- NASCENTE, A. S.; LI, Y. C.; CRUSCIOL, C. A. C. Cover crops and no-till effects on physical fractions of soil organic matter. *Soil and Tillage Research*, v. 130, p. 52-57, 2013a. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2013.02.008>
- NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; STONE, L. F.; COBUCCI, T. Upland rice yield as affected by previous summer crop rotation (soybean or upland rice) and glyphosate management on cover crops. *Planta Daninha*, v. 31, n. 1, p. 147-155, 2013b. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582013000100016>

- NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; COBUCCI, T. The no-tillage system and cover crops – alternatives to increase upland rice yield. *European Journal of Agronomy*, v. 45, 124-131, 2013c. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2012.09.004>
- MAHMOUDI, M.; RAHNEMAIE, M. M. R.; SOUFIZADEH, S.; MALAKOUTI, M. J.; ESHAGHI, A. Residual Effect of Thiobencarb and Oxadiargyl on Spinach and Lettuce in Rotation with Rice. *Journal of Agricultural Science and Technology*, v. 13, n. 5, p. 785-794, 2011.
- SILVA, A. G.; WANDER, A. E.; BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. O.; SILVA, J. G. Análise econômica da produção de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em Sistema de Produção Convencional (PC) e Sistema de Produção Integrada (PI), em Cristalina-GO e Unaí-MG, maio de 2009 a abril de 2010. *Informações Econômicas*, v. 42, n. 5, p. 55-64, 2012.
- SILVEIRA NETO, A. N.; SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F.; OLIVEIRA, L. F. C. Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 36, n. 1, p. 29-35, 2006.
- SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. *Manejo de irrigação do feijoeiro: Uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central*. Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 1994. 46 p. (EMBRAPA-CNPAF. Circular técnica, n. 27).
- STEVENSON, F. C.; VAN KESSEL, C. A landscape-scale assessment of the nitrogen and non-nitrogen rotation benefits of pea. *Soil Science Society of America Journal*, v. 60, n. 6, p. 1797-1805, 1996. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1996.03615995006000060027x>
- YAHUZA, I. Review of some methods of calculating intercrop efficiencies with particular reference to the estimates of intercrop benefits in wheat/faba bean system. *International Journal of Bioscience*, v. 1, n. 1, p. 18-30, 2011.
- YOKOYAMA, L.; SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Rentabilidade das culturas de milho, soja e trigo em diferentes sistemas de preparo do solo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 32, n. 1, p. 57-60, 2002.