

# Efeitos de culturas de verão e opções de inverno na cultura do milho e no solo na implantação do plantio direto

Geovane Lima Guimarães<sup>1</sup>, Salatier Buzetti<sup>1\*</sup>, Edson Lazarini<sup>2</sup>, Marco Eustáquio de Sá<sup>2</sup>, Orivaldo Arf<sup>2</sup> e João Antonio da Costa Andrade<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/Unesp), Av. Brasil Centro, 56, 15385-000, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil. <sup>2</sup>Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/Unesp). <sup>3</sup>Departamento de Biologia e Zootecnia, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/Unesp). \*Autor para correspondência. e-mail: sbuzetti@agr.feis.unesp.br

**RESUMO.** O plantio direto na região dos cerrados é cada vez mais dependente de sistemas de manejo que privilegiem a produção e a manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo. Objetivou-se avaliar o efeito das culturas de soja e milho conduzidas no verão e o uso de leguminosas, gramíneas e pousio, no inverno, sobre atributos de um solo de cerrado manejado para implantação do plantio direto e sobre a produção da cultura do milho, conduzida no verão subsequente. As seqüências soja – milheto, soja – pousio e milho – mucuna proporcionaram as maiores produtividades de palhada. A maior produtividade de grãos de milho ocorreu na seqüência milho-mucuna. A maior exportação ocorreu com o N e o maior retorno ao solo com o K. Não houve incremento da matéria orgânica mesmo na camada de 0 a 0,10 m.

**Palavras-chave:** culturas de cobertura, reciclagem de nutrientes, rotação de culturas.

**ABSTRACT. Effect of summer crops and winter options on corn and soil in no tillage system introduction.** The no-tillage system in savannah soil depends on soil management that keeps higher yield and cultural residues on surface. The aim of this work was to study the effect of corn and soybean, cropped in summer, and the use of legumes, grasses and fallow, in winter, on some soil characteristics under no tillage system and also on corn yield in the following summer crop. The rotation soybean – millet, soybean – fallow and, corn – velvet bean provided large amounts of crop residues. The rotation corn-velvet bean provided higher corn grain yield. N was the more exported nutrient and K was the nutrient that more returned to soil. There was not increment on organic matter even in the 0 to 0.10m layer.

**Key words:** cultural residues, nutrient recycle, crop rotation.

## Introdução

A expansão da área de cultivo, sob plantio direto nos cerrados, tem contribuído para a sua transformação em uma importante região agrícola, sendo a qualidade do solo a base de sustentação de qualquer sistema de produção agrícola. Depende, entretanto, da adoção de sistemas de cultivos que privilegiem a produção e a manutenção de resíduos culturais na superfície do solo. O sistema plantio direto (PD) tem sido cada vez mais adotado em todo o Brasil, principalmente por contribuir para minimizar perdas pela erosão hídrica, devido a maior proteção do solo. O sucesso do PD como sistema de produção agrícola está também relacionado com as alterações observadas na dinâmica de decomposição dos resíduos vegetais, os quais são mantidos na superfície do solo e funcionam como um reservatório de nutrientes, liberados lentamente pela ação de

microrganismos. Com o passar do tempo, ocorre aumento no teor de matéria orgânica do solo devido à menor taxa de decomposição dos resíduos vegetais, o que aumenta a fertilidade de solos ácidos com cargas dependentes de pH, associadas à matéria orgânica, predominantes no território brasileiro (Pavan *et al.*, 1985; Rheinheimer *et al.*, 1998).

Nas últimas décadas, tem crescido a utilização de culturas de cobertura associadas a preparos conservacionistas, visando o controle da erosão, incremento da infiltração de água no solo, controle de plantas daninhas, fornecimento de N para a cultura em sucessão e aumento do potencial de produtividade do sistema. Conforme Mengel e Kirkby (1987), as plantas possuem capacidades específicas de retiradas de nutrientes do solo e exploram diferentes profundidades do mesmo, fazendo com que a rotação de culturas propicie a ciclagem de nutrientes de forma

mais efetiva. Os resíduos de leguminosas têm grande importância como fornecedores de N, podendo contribuir para a diminuição da acidez do solo e da relação C/N da matéria orgânica do solo, além da redistribuição do potássio (Hargrove, 1986). Em contrapartida, os resíduos das gramíneas promovem a estruturação e estabilidade dos agregados do solo (Fassbender e Bornemisza, 1994), por possuírem maior conteúdo de lignina, possibilitando aumento em ácidos carboxílicos e ácidos húmicos nos substratos (Primavesi, 1982).

No cerrado brasileiro, o inverno apresenta baixa precipitação pluvial, tendo implicações negativas no desenvolvimento de culturas neste período, necessitando-se de opções de plantas de cobertura de solo que viabilizem o sistema plantio direto. Uma alternativa é o uso de espécies e cultivares que produzam quantidades elevadas de massa seca nas condições edafoclimáticas do cerrado e que permitam manejo que retarde a sua decomposição. Em sistemas de rotação de culturas intensivos, utilizando plantas de cobertura ou de adubos verdes no inverno, existem poucas informações sobre seus efeitos na dinâmica e teores de nutrientes no solo. Desse modo, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito das culturas de soja e milho conduzidas no verão e o uso de leguminosas, gramíneas e pousio, no inverno, sobre atributos de um solo de cerrado manejado para implantação do plantio direto e na produção da cultura do milho conduzida no verão subsequente.

### Material e métodos

O estudo foi realizado em um Latossolo Vermelho distrófico (LVd), localizado na fazenda experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp, em Selvíria, Estado do Mato Grosso do Sul (20° 22' S e 51° 22' W), com altitude média de 335 m, 1.370 mm de precipitação média anual, 23,5°C de temperatura média anual, umidade relativa variando entre 70% e 80%, como média anual, com as características químicas como constam na Tabela 1. A área havia sido utilizada por 20 anos com cultivo de milho, soja e feijão, sob aração de discos e gradagens leves, como preparo do solo. O preparo inicial do solo foi realizado pelo sistema convencional (09/98), fazendo-se uma subsolagem a 40 cm de profundidade, uma aração e duas gradagens, aplicando-se 1 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico antes da aração mais 1 Mg ha<sup>-1</sup> após a aração e antes da primeira gradagem. A segunda gradagem foi realizada pouco antes da semeadura do milho e da soja (11/98). A calagem foi realizada na camada de 0-0,20 m, objetivando-se alcançar 70% de saturação por bases, conforme recomendação de Raij *et al.* (1996). A área experimental foi de 0,50 ha, tendo-se parcelas de 10 m x 10 m. O delineamento utilizado foi o

inteiramente casualizado, em um esquema fatorial, com 2 culturas no verão (milho e soja), semeadas em 12/98 e na seqüência (07/99) cinco opções de inverno (braquiária, feijão, milheto, mucuna-preta e vegetação espontânea), em 4 repetições. Na cultura do milho foram aplicados 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 08-28-16 com 0,2% de Zn e 0,1% de B, além de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura (uréia) quando as plantas apresentavam 6 a 8 folhas totalmente desdobradas. Para a soja, a qual recebeu inoculação com *Rhizobium japonicum*, foram aplicados 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 00-28-16 com 0,2% de Zn e 0,1% de B. Nas opções de inverno e no pousio não foi aplicado fertilizante.

**Tabela 1.** Resultados da análise química para avaliação inicial da fertilidade do solo.

Camada	Presina	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V
0-0,10 m	21	30	5,1	1,8	26	11	31	5	38	69	55
0,10-0,20 m	16	29	4,9	0,6	23	7	34	10	30	64	47
0,20-0,40 m	5	24	4,7	0,3	15	2	31	25	17	48	36

Previamente à semeadura das espécies de inverno (CI) foi realizada uma dessecação das plantas daninhas com glifosate, na dose de 1.080 g ha<sup>-1</sup>. A semeadura foi realizada mecanicamente em 18/08/99, utilizando-se milheto (25 kg ha<sup>-1</sup> de sementes), *Brachiaria decumbens* (25 kg ha<sup>-1</sup> de sementes), mucuna-preta (8 sementes/m) e feijão IAC Carioca (18 sementes/m). Milheto e braquiária foram semeados no espaçamento de 20 cm entre linhas, enquanto que a semeadura do feijão e da mucuna-preta foi realizada no espaçamento de 50 cm entre linhas. A produção de matéria seca do milheto foi avaliada no início da emissão de panículas, coletando-se a parte aérea das plantas contidas em 1,0 m<sup>2</sup> da área útil da parcela, sendo a determinação da massa da matéria seca realizada após secagem em estufa a 65°C, com circulação forçada de ar e os dados transformados em Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca. Para as demais culturas (braquiária, feijão e mucuna-preta) e a vegetação espontânea das parcelas em pousio, a avaliação de matéria seca foi realizada aos 81 dias após a semeadura, de forma similar à utilizada para avaliação do milheto. A dessecação química foi realizada com glifosate na dose de 1.080 g ha<sup>-1</sup>, em 11/11/99, aos 83 dias após a semeadura. Em 18/11/99 realizou-se o manejo mecânico com Triton (um tipo de roçador horizontal que promove uma distribuição uniforme da palhada na superfície do terreno). O milho foi semeado mecanicamente em 8/12/99, utilizando-se o híbrido simples Pioneer 30F80 e de ciclo semi-precoce e a mesma adubação do primeiro cultivo da cultura. O controle de plantas daninhas, em pós-emergência, foi realizado através da aplicação do herbicida bentazon na dose de 900 g ha<sup>-1</sup> e o controle de percevejos e lagartas com a aplicação do inseticida

endossulfan na dose de 1,0 L ha<sup>-1</sup>. A área foi sempre irrigada, quando havia necessidade, utilizando-se de um sistema de aspersão convencional.

O solo foi amostrado em 05/2000, em 3 camadas: 0 – 10; 10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m de profundidade. A análise de variância e o teste de comparação de médias foram realizados apenas para o último cultivo do milho e para a última amostragem do solo (MO, pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC e V%).

As avaliações realizadas foram: análise química do solo (pH, Ca, Mg, P, K, MO, H+Al e Al), conforme Rajj e Quaggio (1983); quantidade de matéria seca e concentração de nutrientes na palhada das culturas de cobertura e do milho (Malavolta *et al.*, 1997); retorno de nutrientes ao solo, calculado através dos resíduos da parte aérea das plantas, nutrientes exportados pelos grãos e produtividade de grãos.

## Resultados e discussão

### Produtividade de palhada e de grãos

Na Tabela 2 encontram-se os valores médios da produtividade de palhada (MS) e de grãos produzidos pela cultura do milho após as opções de inverno. A análise do desdobramento da interação culturas de verão (S-soja e M-milho) versus opção de inverno (OI) evidencia maior rendimento de palhada do milho sobre a cultura do milho e da área em pousio em relação foram superiores àqueles sobre mucuna, porém estatisticamente semelhante ao das demais opções de inverno, quando semeado sobre resíduos culturais de soja. Já na interação OI d. M (milho após milho) verificou-se a superioridade do tratamento mucuna preta em relação à braquiária e ao milho, não diferindo, porém, do feijão e do pousio.

A produtividade de massa seca do milho esteve ao redor de 13,5 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo superior às produtividades relatadas em trabalhos conduzidos com a cultura no cerrado, a exemplo de 9,0 Mg ha<sup>-1</sup> obtidos por Salton *et al.* (1993), em experimentos realizados em Maracaju, Estado do Mato Grosso do Sul. A mucuna-preta apresentou bom rendimento de matéria seca (cerca de 12 Mg ha<sup>-1</sup>), levando-se em conta o seu potencial produtivo e época de cultivo, conforme dados referenciais citados por Wutke (1993).

**Tabela 2.** Médias e teste de Tukey referentes à produtividade de palhada (parte aérea-grãos) e grãos da cultura do milho.

Tratamentos	Palhada (kg ha <sup>-1</sup> )	Grãos (kg ha <sup>-1</sup> )
SOI	9817	7477
MOI	9017	7980
Culturas no inverno (OI)		
Braquiária	8624	7174
Feijão	9723	7590
Milheto	9417	8051
Pousio	9959	7439
Mucuna-preta	9361	8390

OI d. S		
Braquiária	9387 ab	7445
Feijão	9974 ab	7093
Milheto	10889 a	7576
Pousio	10390 a	7385
Mucuna-preta	8444 b	7883
OI d. M		
Braquiária	7862 b	6903 c
Feijão	9472 ab	8088 ab
Milheto	7946 b	8525 ab
Pousio	9528 ab	7493 bc
Mucuna-preta	10279 a	8896 a

Obs.: SOI e MOI referem-se, respectivamente, ao cultivo de milho após a rotação soja-opção de inverno e após a rotação milho-opção de inverno; OI refere-se às médias obtidas pela cultura do milho após a ocupação de inverno, independentemente do cultivo anterior com milho ou soja; OI d. S e OI d. M referem-se, respectivamente, ao desdobramento da interação entre a opção de inverno, conduzida sobre resíduos culturais de soja e ao desdobramento da interação entre a opção de inverno, conduzida sobre resíduos culturais de milho; Médias não seguidas de letras ou seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Em experimento realizado na Fazenda de Ensino e Pesquisa da FEIS/Unesp, em Selvíria, Estado do Mato Grosso do Sul, Arf *et al.* (1999a) obtiveram produção de matéria seca da mucuna-preta equivalente a 8,0 Mg ha<sup>-1</sup>, podendo este já ser considerado um bom rendimento de matéria seca para as condições de cerrado, porém estando abaixo daqueles aqui encontrados. Outros trabalhos conduzidos por Arf *et al.* (1996, 1999b), em Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul, comprovaram a alta capacidade de produção de matéria seca pela mucuna-preta em clima e solo de cerrado. As demais culturas (braquiária e feijão), conduzidas no período de inverno, assim como a vegetação espontânea das áreas em pousio, apresentaram rendimento em matéria seca, respectivamente, da ordem de 9,6 Mg ha<sup>-1</sup>, 11,0 Mg ha<sup>-1</sup> e 11,1 Mg ha<sup>-1</sup>.

Para a produtividade de grãos (Tabela 2) verificou-se diferença estatística significativa entre os tratamentos opções de inverno após a cultura do milho. Maior produtividade foi obtida quando o milho foi semeado sobre palhada de mucuna-preta. Contudo, nas parcelas com feijão e milho, houve produtividade similar à do milho sobre mucuna. Os piores desempenhos foram observados nas parcelas com milho sobre braquiária e milho sobre pousio.

### Exportação e retorno de nutrientes

Os resultados referentes à exportação de nutrientes pela cultura do milho encontram-se na Tabela 3. Apenas a exportação de Ca foi significativamente superior nos tratamentos antecedidos por milho, quando comparado aos tratamentos em que a cultura antecessora foi a soja. Já, para as opções de inverno, houve diferença estatística significativa nas exportações de N, P, Ca e S. As interações existentes entre as opções de inverno, semeadas sobre resíduos culturais de soja ou sobre resíduos culturais de milho, foram significativas para o Mg. Os resíduos de milho sobre braquiária após soja proporcionaram maior exportação de Mg, assim como os resíduos de milho sobre mucuna-preta após milho.

Em relação ao retorno de nutrientes ao solo através da palhada, observou-se que os resíduos culturais do milho apresentaram retornos significativos apenas para os nutrientes P e Ca, cujas médias, obtidas para milho antecedido por soja, superaram as médias obtidas para milho antecedido por milho. Nas opções de inverno, o retorno de Ca e S foi maior com a cultura de feijão, quando comparada à mucuna-preta, para Ca e à braquiária e milheto para o S. A avaliação dos desdobramentos da interação entre as opções de inverno após soja ou milho indicou efeito significativo apenas para o retorno de K ao solo. As maiores taxas de retorno de K ao solo foram obtidas nos tratamentos com milheto e pousio, quando o milho foi antecedido por soja, e para feijão e pousio, quando o milho foi antecedido por milho.

### Efeitos dos tratamentos na fertilidade do solo

A Tabela 4 apresenta os resultados da análise do solo após o último cultivo com a cultura do milho. Não houve aumento no conteúdo de matéria orgânica na camada 0-0,10 m, quando comparado ao teor inicial de

matéria orgânica (30 g kg<sup>-1</sup>), devido provavelmente ao pouco tempo de experimentação. Em condições de maiores períodos de estudo, o maior acúmulo pode ser explicado pela ausência de revolvimento do solo e conseqüente deposição superficial dos restos de culturas, conforme resultados verificados por Muzilli (1983), Eltz *et al.* (1989) e Alves (1992). Também Bayer e Scheneider (1999), no RS, demonstraram que a utilização do plantio direto durante 3-7 anos resultou num incremento nos conteúdos de matéria orgânica entre 25% e 108% na camada de 0-0,025 m, e de 18-52% na camada de 0-0,10 m, comparativamente ao solo sob preparo convencional. Esses resultados reforçam a premissa de que a recuperação no conteúdo de matéria orgânica, além de ser dependente da palhada utilizada e das condições edafo-climáticas, ocorre em função do tempo de adoção do sistema. No desdobramento verificou-se efeito significativo para o teor de matéria orgânica apenas para a ocupação no inverno após a rotação com milho, sendo superior o uso com pousio em relação às outras opções.

**Tabela 3.** Médias e teste de Tukey referentes à exportação e retorno de nutrientes pela cultura do milho, em rotação.

Causas da variação	Exportação (kg ha <sup>-1</sup> )						Retorno (kg ha <sup>-1</sup> )					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
SOI	121,48	32,69	45,40	10,63 b	11,13	7,27	69,51	27,97 a	151,56	45,17 a	36,52	11,34
MOI	128,34	32,04	46,34	13,23 a	14,38	6,90	65,98	25,09 b	154,50	38,92 b	33,20	10,30
Ocupação no inverno (OI)												
Braquiária	117,11 b	28,52 b	40,34	9,72 b	11,43	6,57 b	60,40	24,29	124,61	42,80 ab	35,87	9,58 b
Feijão	125,42 ab	33,05 ab	45,26	11,15 ab	11,84	8,48 a	72,73	28,67	164,42	46,13 a	36,14	14,07 a
Milheto	123,59 ab	33,02 ab	47,53	13,21 a	12,89	6,64 b	67,32	26,45	159,51	44,18 ab	34,88	9,88 b
Pousio	117,76 b	30,31 b	45,36	12,26 a	10,55	6,07 b	71,63	26,43	171,44	43,17 ab	35,23	10,55 ab
Mucuna-preta	140,65 a	36,92 a	50,85	13,32 a	17,06	7,68 ab	66,65	26,81	145,16	33,95 b	32,16	10,02 ab
OI d. S												
Braquiária	123,48	30,61	45,29	8,91	13,65 a	7,01	64,45	26,11	120,10 b	47,85	43,69	10,16
Feijão	115,15	31,71	38,76	9,57	12,08 ab	9,61	75,65	30,63	155,07 ab	47,44	35,68	16,89
Milheto	116,64	30,42	42,51	11,07	8,53 b	6,52	77,28	30,41	190,45 a	51,98	40,32	10,76
Pousio	116,32	32,24	46,25	10,49	10,70 ab	5,89	75,41	26,55	168,92 a	46,06	32,56	10,35
Mucuna-preta	135,79	38,45	54,20	13,12	10,67 ab	7,34	54,76	26,16	123,27 b	32,53	30,34	8,53
OI d. M												
Braquiária	110,75	26,43	35,39	10,54	9,21 c	6,13	56,34	22,46	129,13 ab	37,75	28,05	9,01
Feijão	135,70	34,39	51,77	12,74	11,59 c	7,36	69,82	26,71	173,77 a	44,83	36,61	11,25
Milheto	130,54	35,63	52,56	15,35	17,25 b	6,76	57,36	22,49	128,58 b	36,37	29,44	9,00
Pousio	119,20	28,37	44,48	14,03	10,40 c	6,24	67,85	26,31	173,95 a	40,28	37,91	10,75
Mucuna-preta	145,50	35,40	47,50	13,51	23,45 a	8,01	78,54	27,46	167,05 ab	35,36	33,98	11,50

Obs.: SOI e MOI referem-se, respectivamente, ao cultivo de milho após a rotação soja-opção de inverno e após a rotação milho-opção de inverno; OI refere-se às médias obtidas pela cultura do milho após a opção de inverno, independentemente do cultivo anterior com milho ou soja; OI d. S e OI d. M referem-se, respectivamente, ao desdobramento da interação entre a opção de inverno, conduzida sobre resíduos culturais de soja e ao desdobramento da interação entre as opções de inverno e pousio, conduzidos sobre resíduos culturais de milho; Médias não seguidas de letras ou seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

**Tabela 4.** Valores médios de MO; pH; P; K, Ca, Mg, H + Al, SB, CTC e V% no solo, em três profundidades, após a colheita do milho.

Tratamentos	Médias										
	MO	pH	P	K <sup>a</sup>	Ca	Mg	H + Al	SB	CTC	V	
	g kg <sup>-1</sup>	CaCl <sub>2</sub>	mg dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%	
SOI	25	4,9	7	0,4	18	6	32	24,8	56,4	42	
MOI	24	5,1	10	0,4	20	6	28	27,1	55,4	47	
Ocupação no inverno (OI)											
Braquiária	25	4,8	8	0,6	17	6	33	24,3	57,4	41	
Feijão	24	4,9	10	0,5	18	6	32	25,4	57,2	43	
Milheto	26	4,9	9	0,4	19	6	33	25,1	57,9	43	
Pousio	25	5,1	8	0,4	21	6	28	28,1	56,9	47	
Mucuna	23	5,0	9	0,4	18	6	29	25,3	53,9	45	
Prof. (m)											

0-0,10	29a	5,2a	15a	0,8a	25a	10a	33a	35,2a	64,4a	55a
0,10-0,20	24b	4,9b	10b	0,4b	19b	6b	30b	26,2b	59,7b	43b
0,20-0,40	20c	4,7c	3c	0,3c	12c	3c	29b	15,5c	45,9c	34c
OI d. S										
Braquiária	26	4,8ab	6	0,7a	16	6ab	35a	22,6	57,1ab	39
Feijão	28	5,1ab	11	0,4ab	22	9a	30ab	32,3	62,3a	49
Milheto	26	4,7b	7	0,3b	17	4b	37a	21,2	57,8ab	36
Pousio	24	5,2a	6	0,3b	20	6ab	27b	26,3	53,2ab	47
Mucuna	23	5,0ab	8	0,4ab	16	5ab	30ab	21,7	51,7b	41
OI d. M										
Braquiária	21b	4,9	5b	0,3b	15b	5	29	20,7b	49,4b	41b
Feijão	22b	5,0	10ab	0,4ab	18b	5	27	24,2b	51,5b	46ab
Milheto	23b	5,0	9ab	0,4ab	19b	6	31	25,8b	56,3ab	45ab
Pousio	30a	5,3	14a	0,7a	28a	8	27	37,4a	63,9a	56a
Mucuna	24b	5,1	13a	0,4ab	20b	6	29	27,4ab	55,9ab	48ab

<sup>a</sup>Dados transformados em (x + 0,5)<sup>1/2</sup>; Obs.: SOI e MOI referem-se, respectivamente, ao cultivo de milho após a rotação soja-opção de inverno e após a rotação milho-opção de inverno; OI refere-se às médias obtidas pela cultura do milho após a opção de inverno,

independentemente do cultivo anterior com milho ou soja; OI d. S e OI d. M referem-se, respectivamente, ao desdobramento da interação entre a opção de inverno, conduzida sobre resíduos culturais de soja e ao desdobramento da interação entre a opção de inverno, conduzida sobre resíduos culturais de milho; Médias não seguidas de letras ou seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

De modo geral, os valores de pH ( $\text{CaCl}_2$ ) encontrados ficaram abaixo de 5,6, o que sugere, segundo Caires *et al.* (2000), a necessidade de calagem superficial. Contudo, Sousa (1998) preconizou que a acidez do solo não é um problema quando a saturação por bases estiver em torno de 50% e o pH em água próximo de 6,0, condições essas mais próximas das encontradas no presente trabalho. Também houve efeito da profundidade e da interação rotação versus opções de inverno, sendo que na rotação após soja, o pousio proporcionou maiores valores de pH em relação à ocupação com milho. Isso se deve, possivelmente, às exudações ácidas pelas raízes, atuando diretamente na reação do solo. O pH mostrou-se ligeiramente superior na camada de 0-0,10 m, sendo que igual tendência foi observada por Guedes *et al.* (1978) e Pauletti *et al.* (1995), devido à aplicação de calcário metade da dose antes da aração, o que deve atingir a profundidade de 0,20 m, mas a outra metade da dose aplicada, antes da gradagem, concentra-se mais na camada de 0-0,10 m, haja vista a menor penetração da grade leve.

As médias dos teores de fósforo, de modo geral, não sofreram grande influência dos diversos tratamentos, declinando ao longo do tempo e com a profundidade. Baseando-se em Unger (1991), isso ocorreu em função da palhada se concentrar na superfície e, como este elemento é pouco móvel no solo, concentrou-se próximo à região de decomposição do material vegetal. Outros fatores, como a presença de raízes e maiores teores de matéria orgânica nas camadas mais superficiais induziram o aumento da atividade microbiana e à atividade da enzima fosfatase, aumentando a eficiência da reciclagem do elemento na região, concordando também com os dados de Dick (1983) e Ball-Coelho *et al.* (1993). De modo geral, tem-se constatado que, em condições de plantio direto, o acúmulo de P na camada superficial não afeta negativamente a nutrição da planta, desde que haja suficiente umidade para as raízes absorverem o nutriente. Ademais, a absorção de P aumenta ao longo do tempo, em função do maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas nessa camada e da maior mineralização de formas orgânicas de fósforo, conforme descrito por Sousa (1998). Na rotação milho - opção de inverno - milho, o pousio e a opção com mucuna proporcionaram teores mais elevados de P quando comparados à ocupação com braquiária. Essas diferenças devem-se à maior ou menor reciclagem do P pelas plantas, além da aplicação de P nas culturas de verão, o que não ocorreu no pousio.

Houve efeito nos teores de K na profundidade e na interação rotação versus opções de inverno, após soja e milho. Tal fato deveu-se, possivelmente, à adubação potássica realizada, sendo o declínio função da absorção pelas culturas e/ou das perdas pela lixiviação no perfil do solo. Na rotação opções de inverno – soja, o maior valor foi obtido na opção com braquiária e na rotação milho – opções de inverno, com o pousio. A tendência ao acúmulo superficial e redução dos teores de K em profundidade foram relatadas por Alves (1992) em um Latossolo Roxo, sob plantio direto, assim como por Sá (1993), Mullins (1995), Franzluebbbers e Hons (1996) e Klutchcouski (1998). Isso está ligado, provavelmente, à adubação superficial e à reciclagem feita pelo sistema radicular.

Para Ca, verificou-se efeito significativo da interação rotação versus ocupação no inverno após o milho, em que o pousio foi superior aos demais tratamentos e também nas profundidades estudadas, por haver maiores teores na camada de 0-0,10 m, decrescendo nas profundidades subseqüentes. O fato de no pousio ter-se encontrado maiores valores deve-se, provavelmente, ao menor distúrbio proporcionado pelo sistema radicular daquelas plantas quando comparado às plantas cultivadas.

A concentração de Mg no solo ao longo da experimentação variou pouco, verificando-se diferença estatística significativa em profundidade, com acumulação mais superficial no solo. Segundo Muzilli (1981), embora o Mg possa ser afetado pela lixiviação de ânions, faz-se presente em quantidades relativamente menores que o cálcio, sendo esperado menor efeito do sistema de cultivo ou da localização dos fertilizantes sobre sua acumulação e distribuição no solo. Na rotação milho – opções de inverno, a opção com feijão propiciou maiores valores de Mg quando comparado ao milho.

O índice H+Al foi superior na camada superior. Na rotação após soja os tratamentos com braquiária e milho apresentaram teores mais elevados que no pousio.

A soma das bases trocáveis foi significativa para as profundidades e a interação entre a rotação com milho e a ocupação no inverno, com ênfase a maiores valores de SB na camada mais superficial do solo (0-0,10 m), em função dos teores mais elevados de K, Ca e Mg, nessa camada do solo. O desdobramento da interação entre rotação e opções de inverno, após milho, evidenciou uma maior influência do pousio na SB, seguido pela mucuna-preta. Isso se deve, provavelmente, ao fato de que no pousio a extração e o retorno dos nutrientes ao solo ocorrem de maneira diferenciada, quando comparados às culturas implantadas, já que naquela situação há vários tipos de plantas.

Observou-se pequena influência dos tratamentos na capacidade de troca catiônica, caracterizando,

assim, que o aumento de CTC se dá após longos períodos de estudos. A análise estatística apresentou diferença significativa para a profundidade e para a interação rotação versus opções de inverno. A CTC foi mais elevada na camada mais superficial do solo (0-0,10 m), devido à maior concentração de matéria orgânica na superfície. A interação entre a rotação – opções de inverno após soja evidenciou que a seqüência soja-feijão-milho se destacou da soja – mucuna - milho, com aumento mais expressivo da CTC. Para a rotação milho – opções de inverno-milho, a seqüência milho-pousio-milho foi aquele que apresentou maiores valores médios de CTC.

Em relação à saturação por bases (V%), as oscilações ao longo da experimentação não foram evidentes, já que esta é função da soma de bases e da capacidade de troca catiônica, as quais sofreram poucas variações com o tempo. Os resultados foram significativos para profundidade e para a interação rotação versus opções de inverno. A camada 0-0,10 m apresentou maior saturação de bases, conforme pode ser verificado na Tabela 4, sendo similar aos outros componentes da fertilidade do solo avaliados (responsáveis pela maior ou menor saturação por bases nos solos), os quais também apresentaram diferença estatística significativa na camada 0-0,10 m quando comparada às demais camadas de solo estudadas. Em relação ao desdobramento rotação versus opções de inverno, pode-se inferir que, quando o milho foi cultivado após milho, a seqüência que proporcionou o maior aumento na saturação por bases foi milho – pousio – milho, explicado pelo maior equilíbrio das bases com o solo em descanso.

### Conclusão

1. As seqüências soja – milheto, soja – pousio e milho – mucuna proporcionaram as maiores produtividades de palhada.
2. A maior produtividade de grãos de milho ocorreu na seqüência milho-mucuna.
3. A maior exportação ocorreu com o N e o maior retorno ao solo com o K.
4. Não houve incremento da matéria orgânica mesmo na camada de 0 a 0,10 m.

### Referências

- ALVES, M.C. *Sistemas de rotação de culturas com plantio direto em Latossolo Roxo: efeitos nas propriedades físicas e químicas*. 1992. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)–Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1992.
- ARF, O. *et al.* Incorporação de mucuna-preta e de restos culturais de milho antes da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 31, p. 563-68, 1996.
- ARF, O. *et al.* Efeito da rotação de culturas, adubação

verde e nitrogenada sobre o rendimento do feijão. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 34, p. 2029-2036, 1999a.

ARF, O. *et al.* Efeitos na cultura do trigo da rotação com milho e adubos verdes, na presença e na ausência de adubação nitrogenada. *Bragantia*, Campinas, v. 58, p. 323-334, 1999b.

BALL-COELHO, B. *et al.* Short and long-term phosphorus dynamics in a fertilized Ultissol under sugarcane, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 57, p. 1027-34, 1993.

BAYER, C.; SCHENEIDER, N.G. Plantio direto e o aumento no conteúdo de matéria orgânica do solo em pequenas propriedades rurais no município de Teutônia (RS). *Cienc. Rural*, Santa Maria, v. 29, p. 165-166, 1999.

CAIRES, E.F. *et al.* Calagem na superfície em sistema plantio direto. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 24, p. 161-169, 2000.

DICK, W.A. Organic carbon, nitrogen and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. *Soil Sci. Am. J.*, Madison, v. 47, p. 102-107, 1983.

ELTZ, F.L.F. *et al.* Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 13, p. 259-67, 1989.

FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. *Química de suelos: con énfasis en suelos de América Latina*. 2. ed. San José: IICA, 1994.

FRANZLUEBBERS, S.; HONS, F.M. Soil – profile distribution of primary and secondary plant available nutrients under conventional and no-tillage. *Soil Tillage Res.*, Amsterdam, v. 39, p. 229-239, 1996.

GUEDES, L.V.M. *et al.* Sistema de manejo do solo de longo prazo com comparações entre plantio direto, preparo mínimo e plantio convencional. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DA SOJA, 1., 1978. Londrina. *Anais...* Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1978. v. 1. p. 59-65.

HARGROVE, W.L. Winter legumes as a nitrogen source for no-till grain sorghum. *Agron. J.*, Madison, v. 78, p. 70, 1986.

KLUTHCOUSKI, J. *Efeito de manejo em alguns atributos de um Latossolo Roxo sob cerrado e nas características produtivas de milho, soja, arroz e feijão, após oito anos de plantio direto*. 1998. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)–Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1998.

MALAVOLTA, E. *et al.* *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicação*. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*. 4. ed. Bern: International Potash Institute, 1987.

MULLINS, G.L. Soil management under no-tillage: chemical aspects. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., Passo Fundo. 1995. *Resumos...* Passo Fundo: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1995. p. 121-125.

MUZILLI, A. Manejo da fertilidade do solo. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRÔNOMICO DO PARANÁ. Plantio direto no Paraná. Londrina, 1981. p. 43-57. (Circular IAPAR 23).

MUZILLI, A. Influência do sistema de plantio direto,

- comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 7, p. 97-102, 1983.
- PAULETTI, V. *et al.* Avaliação da fertilidade do solo em profundidade e da palhada em áreas sob plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. *Resumos...* Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p. 1802-1803.
- PAVAN, M.A. *et al.* Chemical and mineralogical characteristics of selected acid soils of the State of Paraná, Brazil. *Turrialba*, San José, v. 35, p. 131-139, 1985.
- PRIMAVESI, A. *O manejo ecológico do solo*. 4. ed. São Paulo: Nobel, 1982.
- RAIJ, B. VAN. *et al.* *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. (Boletim técnico, 100).
- RAIJ, B. VAN.; QUAGGIO, J.A. *Métodos de análise de solo para fins de fertilidade*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1983. (Boletim técnico, 81).
- RHEINHEIMER, D.S. *et al.* Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 22, p. 713-721, 1998.
- SÁ, J.C.M. *Manejo da fertilidade do solo no plantio direto*. Castro: Fundação ABC, 1993.
- SALTON, J.C. *Cultivo de primavera: alternativas para produção de palha em Mato Grosso do Sul*. Maracaju: Fundação MS, 1993. (Fundação MS, Informativo técnico, 1).
- SOUSA, D.M.G. Principais aspectos da fertilidade do solo sob plantio direto em solos de Cerrado. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO, 1., 1998. Rio Verde. *Resumos...* Passo Fundo: Aldeia Norte, 1998. p. 72-77.
- WUTKE, E.B. Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. In: WUTKE, E.B. *et al.* (Coord.). *Curso sobre adubação verde no Instituto Agrônomo*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. p. 17-29. (Documentos IAC 35).
- UNGER, P.W. Organic matter, nutrient and pH distribution in no- and conventional tillage semiarid soils, *Agron. J.*, Madison, v. 83, p. 186-189, 1991.

Received on November 29, 2004.

Accepted on August 18, 2006.