

**Atributos de solo e produtividade  
de culturas em sistemas de manejo  
conduzidos por dezesseis anos**



ISSN 1679-0456

Dezembro, 2009

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Agropecuária Oeste  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 54***

**Atributos de solo e produtividade  
de culturas em sistemas de manejo  
conduzidos por dezesseis anos**

Luís Carlos Hernani  
Júlio Cesar Salton

Embrapa Agropecuária Oeste  
Dourados, MS  
2009

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Agropecuária Oeste**

BR 163, km 253,6 -  
Trecho Dourados-Caarapó  
Caixa Postal 661  
79804-970 Dourados, MS  
Fone: (67) 3416-9700  
Fax: (67) 3416-9721  
www.cpao.embrapa.br  
E-mail: sac@cpao.embrapa.br

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: *Guilherme Lafourcade Asmus*  
Secretária-Executiva: *Karina Neoob de Carvalho Castro*  
Membros: *Claudio Lazzarotto, Gessi Ceccon, Harley Nonato de Oliveira, Josiléia Acordi Zanatta, Milton Parron Padovan, Oscar Fontão de Lima Filho e Silvia Mara Belloni.*  
Membros suplentes: *Alceu Richetti e Carlos Ricardo Fietz.*

Supervisão editorial: *Eliete do Nascimento Ferreira*  
Revisão de texto: *Eliete do Nascimento Ferreira*  
Normalização bibliográfica: *Eli de Lourdes Vasconcelos*  
Fotos e montagem da capa: *Nilton Pires de Araújo*  
Editoração eletrônica: *Eliete do Nascimento Ferreira*

**1ª edição**

(2009): online

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei Nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).**

Embrapa Agropecuária Oeste.

---

Hernani, Luís Carlos

Atributos do solo e produtividade de culturas em sistemas de manejo conduzidos por dezesseis anos / Luís Carlos Hernani, Júlio Cesar Salton. ¾ Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2009.

61 p. ; 21 cm. ¾ (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Agropecuária Oeste, ISSN 1679-0456 ; 54).

1. Sistema de cultivo - Manejo do solo - Brasil. I. Salton, Júlio Cesar. II. Embrapa Agropecuária Oeste. III. Título. IV. Série.

---

CDD (21.ed.) 631.45

© Embrapa 2009

# Sumário

<b>Resumo</b> .....	<b>5</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>7</b>
<b>Introdução</b> .....	<b>9</b>
<b>Material e Métodos</b> .....	<b>10</b>
Área experimental .....	10
Tratamentos e condução do experimento .....	12
Variáveis de solo e planta avaliadas .....	15
Tratamento estatístico .....	16
<b>Resultados e Discussão</b> .....	<b>18</b>
Produtividade de soja, milho e trigo .....	18
Atributos químicos do solo .....	33
Atributos físicos do solo .....	46
<b>Conclusões</b> .....	<b>55</b>
<b>Agradecimentos</b> .....	<b>56</b>
<b>Literatura Citada</b> .....	<b>57</b>



# Atributos de solo e produtividade de culturas em sistemas de manejo conduzidos por dezesseis anos

---

*Luís Carlos Hernani<sup>1</sup>  
Júlio Cesar Salton<sup>2</sup>*

## Resumo

Para identificar alternativas ao manejo intensivo com grades de discos, avaliaram-se, entre 1987 e 2003, efeitos de sistemas de manejo do solo na produtividade de soja, milho e trigo e em atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico muito argiloso, localizado na sede da Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS. Os tratamentos entre 1987 e 1994 constaram de: a) sistemas de preparo de solo no verão (SP): PD - semeadura direta; ES - escarificação + gradagens niveladoras; GP - gradagem aradora + gradagens niveladoras e SI - gradagem aradora + aração com arado de aivecas + gradagens niveladoras; b) sistemas de preparo no inverno: ES, GP e PD e c) cultura de inverno: trigo e aveia preta. Em 1994, o PD passou a ser o único sistema de preparo usado no inverno e a sucessão aveia preta/soja foi substituída pela rotação nabo forrageiro/milho - aveia preta/soja - trigo/soja (CR); mantendo-se os demais tratamentos, a sequência trigo/soja passou a ser denominada tratamento sem rotação (SR). Em 2000, o sistema CR foi modificado para aveia preta + nabo forrageiro/milho - aveia preta + nabo forrageiro/soja - trigo/soja, mantendo-se os demais tratamentos. O preparo de solo no verão foi realizado em faixas dispostas em nível no terreno; no inverno o preparo foi em faixas, no sentido transversal ao das faixas do preparo no

---

<sup>(1)</sup> Engenheiro-Agrônomo; Dr.; Embrapa Agropecuária Oeste, Caixa Postal 661, 79804-970 Dourados, MS. E-mail: [hernani@cpao.embrapa.br](mailto:hernani@cpao.embrapa.br)

<sup>(2)</sup> Engenheiro-Agrônomo; Dr.; Embrapa Agropecuária Oeste, Caixa Postal 661, 79804-970 Dourados, MS. E-mail: [salton@cpao.embrapa.br](mailto:salton@cpao.embrapa.br)

verão; as culturas foram conduzidas sempre em faixas e em nível. Determinaram-se a produtividade de grãos de soja, milho e trigo. De amostras compostas das camadas 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm do solo avaliaram-se pH, Al, K, P e matéria orgânica (MO), em 1993, 1996 e 2003 e, em amostras indeformadas dessas mesmas camadas, mediram-se densidade (Ds), macro (Ma), micro (Mi) e porosidade total (Pt), em 1993 e 1996. A estabilidade de agregados em água e o diâmetro médio ponderado (DMP) foram determinados a partir de monolitos da camada 0-10 cm, obtidos em 1996. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os tratamentos apresentaram efeitos significativamente diferentes entre si em, pelo menos, uma das variáveis e ou safras estudadas entre 1988 e 2003. A produtividade de soja foi maior com o PD empregado ininterruptamente, no inverno e no verão, independentemente da cultura antecedente (trigo ou aveia preta); a aveia preta foi mais eficaz do que trigo quanto à produtividade da soja cultivada subsequentemente, independente do SP; a produtividade de milho foi maior com o PD empregado continuamente ao longo do tempo; a CR, foi mais eficaz do que a sequência trigo/soja (SR) quanto à produção de soja ou de trigo; a interação entre sistemas de preparo de verão x rotação de cultura foi mais eficaz quando o sistema de preparo foi o PD, efeito evidenciado com a produção de trigo. Após os primeiros seis anos de ensaio (1993), o PD (usado com as sucessões trigo/soja e aveia preta/soja) proporcionou maior teor de P da camada 0-5 cm, em relação ao SI, apenas; posteriormente (em 1996 e 2003) o PD incrementou teores de K, P e MO das camadas 0-5 cm e 5-10 cm, em relação aos demais SP e, por outro lado, estes últimos incorporaram melhor o calcário, diminuindo o Al da camada 10-20 cm em relação ao PD; o tratamento RC foi mais eficaz do que o SR quanto ao teor de MO da camada 0-5 cm. O PD elevou a Ds e diminuiu a Pt das camadas 0-5 cm e 5-10 cm em relação aos demais SP em 1993, efeito não ratificado na avaliação de 1996. O PD, comparado aos demais SP, aumentou os agregados de maior tamanho (classes 7,93-9,52 mm e 6,35-7,93 mm) e o DMP e diminuiu os agregados de menor tamanho (classes 1,0-0,5 mm e < 0,5 mm) da camada 0-10 cm do solo; a RC diminuiu os agregados de menor tamanho (classes 1,0-0,5 mm e < 0,5 mm) em relação à SR e, a combinação PD + RC incrementou os agregados de maior tamanho (7,93-9,52 mm) e o DMP. Em suma, a combinação entre o plantio direto e a rotação de culturas melhorou a fertilidade (física e química) do solo, resultando em produtividade mais estável e elevada das culturas de soja e milho.

Termos para indexação: plantio direto, rotação de culturas, soja, milho, trigo, aveia preta, nabo forrageiro.

# Soil Attributes and Crop Productivity in Soil Management Systems Conducted by Sixteen Years

---

## Abstract

To identify alternatives to intensive management with disc harrows were evaluated between 1987 and 2003, effects of tillage systems on productivity of soybeans, corn and wheat and on attributes of a Hapludox clay soil located at the headquarters of Embrapa Western Region Agriculture, Dourados, MS, Brazil. The treatments, between 1987 and 1994, consisted of: a) systems of tillage in the summer (ST): NT- no tillage; CS - chiseling + disk harrow leveling; DH - disk harrow plowing and disk harrow leveling, and DM - disk harrow plowing + moldboard plowing + disk harrow leveling; b) tillage in the winter: NT, CS and DH, and c) crops of winter: wheat and black oat. In 1994, the NT has become the only tillage system used in the winter and the succession black oat/soybean was replaced by the radish/corn - black oat/soybean - wheat/soybean (CR), keeping the other treatments, and the succession wheat/soybean pass to be called treatment without rotation (NR). In 2000, the CR system changed to black oat + radish/corn - black oat + radish/soybean - wheat/soybean, keeping the other treatments. It determined the soybean, corn and wheat yield. Soil composite samples of the 0-5, 5-10 and 10-20 cm soil were evaluated about pH, Al, K, P and organic matter (SOM), in 1993, 1996 and 2003, and on undisturbed samples of those same soil layers were measured bulk density (Bd), macroporosity (Ma),

microporosity (Mi) and total porosity (Tp), in 1993 and 1996. The water-stable aggregates and mean weight diameter (MWD) were determined from monoliths of the 0-10 cm soil layer obtained in 1996. The data were subjected to analysis of variance and the means were compared by Tukey test ( $p < 0.05$ ). The treatments had effects significantly different from each other in at least one of the variables and/or harvest, studied between 1988 and 2003. Soybean yield was higher with the NT employed continuously in the winter and summer, regardless of preceding crop (wheat or black oat); the black oat was more effective than wheat as the productivity of soybean subsequent, regardless of the system tillage; the corn yield was higher with NT continuously employed over time; the CR was more effective than NR about the soybean or wheat yield; the ST x CR interaction was more effective with NT, an effect even more evident with wheat yield. After the first six years of testing (1993), the NT (used with wheat/soybean or black oat/soybean) increased the content of P layer 0-5 cm in relation to DM, only; later (in 1996, 2003) NT increased levels of K, P and SOM of 0-5 and 5-10 cm soil layers, compared to other ST, and on the other hand, that ST incorporated more deeply the limestone, reducing the AI of the 10-20 cm soil layer in relation to NT; CR was more effective than SR on the SOM content of the 0-5 cm soil layer. The NT increased the Bd and decreased the TP of the 0-5 and 5-10 cm soil layers in relation to the other SP in 1993, effect which was not ratified in the 1996 evaluation. The NT, compared to the other ST increased the % of the larger water-stable aggregates (classes 7.93-9.52 and 6,35-7,93 mm) and the MWD, and decreased the proportion of small size aggregates (classes 1,0-0,5 mm and <0.5 mm) of the soil layer 0-10 cm; CR decreased the proportion of small size aggregates (classes 1.0-0.5 mm and <0.5 mm) compared with SR, and the combination NT + CR increased the percentage of the water-stable aggregates with larger size (7.93-9.52 mm) and the MWD. In short, the combination no tillage and crop rotation improved soil fertility (physical and chemical) of the soil first layers, resulting in more stable and high yield on soybean and corn.

Index terms: no tillage, crop rotation, soybean, corn, weat, oat, radish.

## Introdução

A forte expansão da área cultivada com soja em Mato Grosso do Sul, na década de 1980, promoveu, além do crescimento da agricultura enquanto atividade econômica, a degradação dos recursos naturais solo e água, devido, principalmente, ao incremento da erosão hídrica.

Esses efeitos foram devidos especialmente ao uso intensivo (seis a sete vezes ao ano) de implementos como grades de discos aradoras e niveladoras (grades leves), prática comum no preparo do solo, nessa época, em mais de 80% das propriedades agrícolas. Aliado a isso, nessas propriedades eram adotados modelos de produção trigo/soja ou pousio/soja, com ausência quase completa de práticas conservacionistas. Essa forma de manejo promove intenso revolvimento e pulverização das camadas mais superficiais do solo pela ação direta dos implementos, expõe o solo ao sol, chuva e ventos, proporcionando condições para a desagregação, compactação e erosão, com perdas na qualidade ambiental e prejuízos à biodiversidade e à economia rural.

Sistemas de manejo mais conservacionistas tendem a proporcionar melhorias na fertilidade do solo. Sistemas de preparo que envolvem menor revolvimento do solo propiciaram incremento nos teores de P, K, Ca e Mg (PRADO; NATALE, 2003; SILVA; SILVEIRA, 2002; SOUZA; ALVES, 2003); no teor de carbono orgânico e na capacidade de troca de cátions de camadas superficiais (CIOTTA et al., 2003; SOUZA; ALVES, 2003) de Latossolos.

Aumentos na estabilidade de agregados em água verificados em sistemas de manejo mais conservacionistas foram diretamente relacionados com o teor de matéria orgânica e atividade biológica de Latossolos Vermelhos (CAMPOS et al., 1995; DA ROS et al., 1997; TORMENA et al., 2004). A não mobilização do solo contribuiu para aumentar a percentagem de agregados estáveis em água maiores que 2 mm e o diâmetro médio ponderado (STONE; SILVEIRA, 2004). Esses efeitos também foram observados em experimentos de longa duração (CASTRO FILHO et al., 1998; COSTA et al., 2003). Ausência de efeitos diferenciais de sistemas de preparo sobre a densidade global e porosidade total (VIEIRA; KLEIN, 2007) também tem sido observada.

Quando a ausência de preparo de solo associa-se a adequados esquemas de rotação de cultura, os efeitos sobre a produtividade são maiores e melhores e a produção é mais estável. O rendimento de milho foi maior sob condições de

plântio direto do que em sistema mínimo e convencional de preparo de solo (SANTOS et al., 2003). Além de melhorias em atributos químicos, Almeida et al. (2008) reportaram que a semeadura direta de sistemas de culturas conduzida em rotação, comparada ao sistema convencional de preparo de um Latossolo Vermelho, proporcionou incrementos no rendimento do milho. O plântio direto e o cultivo mínimo proporcionaram maior rendimento de soja do que o sistema convencional de preparo e a produtividade dessa leguminosa foi maior em esquema de rotação, do que em monocultura (SANTOS et al., 2006).

No entanto, alguns trabalhos também reportam resultados contraditórios. A aração profunda comparada ao plântio direto induziu maior produtividade de milho enquanto os sistemas de manejo do solo não influenciaram a produtividade de grãos de soja (KLUTHCOUSKI et al., 2000). No primeiro ano de cultivo, em safras em que predominou boa disponibilidade hídrica, a produtividade da soja foi maior em sistema convencional do que em plântio direto (CARVALHO et al., 2004). Tais resultados parecem estar relacionados, principalmente, ao tempo de condução dos sistemas de manejo, porque, em geral, os mesmos não são obtidos em experimentos de longa duração.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar o impacto de diferentes sistemas de manejo do solo na produtividade de culturas (soja, trigo e milho) e em atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho Distroférico, em experimento conduzido por 16 anos.

## **Material e Métodos**

### **Área experimental**

O experimento foi conduzido durante 16 anos na sede da Embrapa Agropecuária Oeste, de coordenadas 22°16'S e 54°49'W, e altitude de 408 m, Município de Dourados, MS. O relevo regional é plano a suave ondulado, com declividade média local de 3%. O Clima na região é o Aw, mesotérmico úmido, com verão chuvoso e inverno seco. O solo é o Latossolo Vermelho Distroférico típico, com 190, 120 e 690 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, de areia, silte e argila, na camada 0-20 cm.

A área foi cultivada com a cultura de soja, sob preparo convencional, durante os últimos 5 anos anteriores ao início do experimento, em 1987.

Visando à correção do solo, 1,2 t ha<sup>-1</sup> de calcário calcítico (6% de MgO) e doses de 74 e 79 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente, foram administradas com base em resultados de análise química da camada 0-20 cm, em 1987. O calcário foi aplicado a lanço e incorporado nos primeiros 20 cm de profundidade com uma aração (arado com três discos de 28 polegadas, não reversível) e uma gradagem (16 discos de 24 polegadas). A incorporação do calcário também rompeu uma camada compactada detectada entre 14 cm e 16 cm de profundidade do solo, mediante a abertura de pequenas trincheiras. As fontes de fósforo e potássio foram superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente, que foram incorporados com grade aradora na camada de 0-15 cm do solo.

Após as práticas corretivas as camadas 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm do solo apresentaram os atributos químicos e físicos ilustrados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Resultados de análise química e física de amostras compostas das camadas 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm do Latossolo Vermelho Distroférico, obtidas em outubro de 1987. Dourados, MS.

Atributo <sup>(1)</sup>	Unidade	Camada (cm)		
		0-10	10-20	20-30
pH em água	-	5,6	5,6	5,5
Al	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,0	0,0	0,2
Ca	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	6,3	6,2	4,3
Mg	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,5	2,5	1,8
K	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,4	0,3	0,2
P	mg dm <sup>-3</sup>	10,4	5,2	4,4
MO	g kg <sup>-1</sup>	31,0	28,0	24,0
Ds	g cm <sup>-3</sup>	1,2	1,2	1,2
Ma	%	25,6	20,6	18,6
Mi	%	32,9	34,9	34,8
Pt	%	58,7	55,5	53,4

<sup>(1)</sup>Al; alumínio, Ca: cálcio, Mg: magnésio, K: potássio, P: fósforo, MO: matéria orgânica, Ds: densidade do solo, Ma: macroporos, Mi: microporos, Pt: volume total de poros.

## Tratamentos e condução do experimento

Na safra 1987/88, após gradagem pesada + niveladora, a soja (cv. Bossier) foi cultivada em toda a extensão da área num ensaio “em branco”, para homogeneizar o terreno.

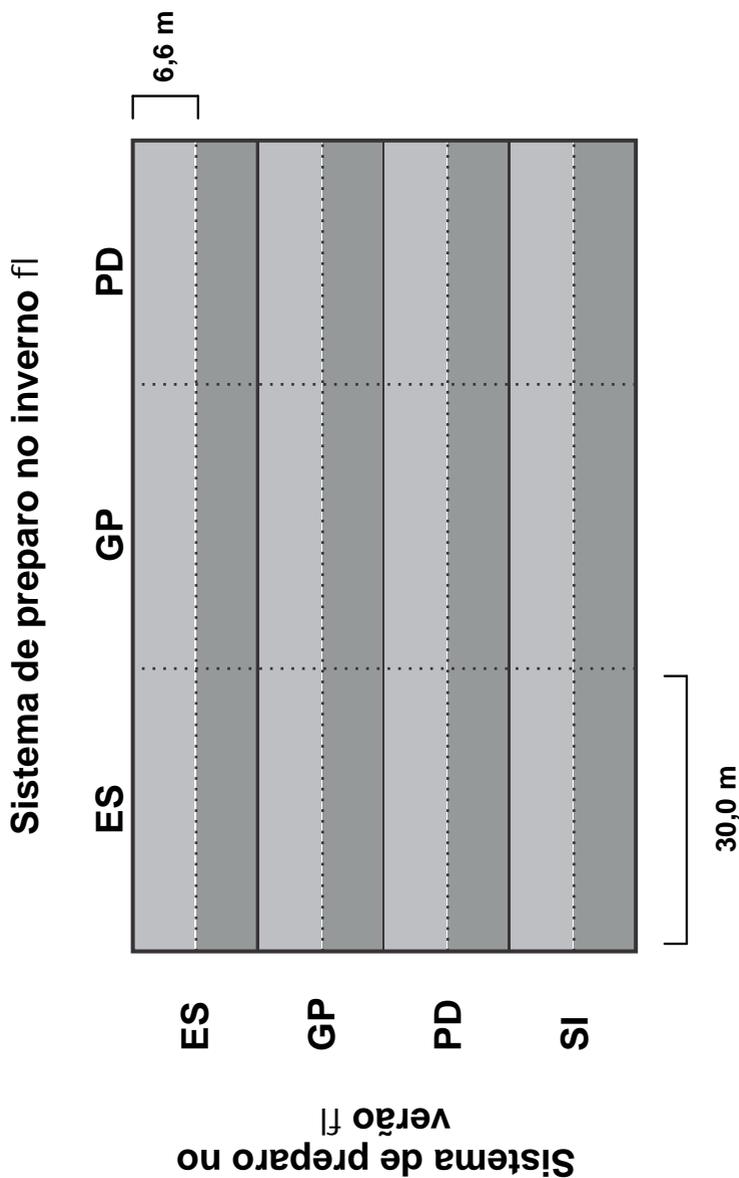
A partir da safra de inverno de 1988 até o final da safra de verão de 1993/94 foram conduzidos tratamentos com sistemas de preparo do solo no inverno e no verão, combinados às sucessões trigo/soja e aveia preta/soja. O delineamento experimental foi o de parcelas subdivididas distribuídas ao acaso em três repetições. Nas parcelas principais (13,2 m x 90 m) foram executados os sistemas de preparo de solo no verão e, nas subparcelas (13,2 m x 30 m), os sistemas de preparo no inverno (Figura 1).

Os sistemas de preparo de solo no verão foram:

- a) escarificação (ES) - escarificador de cinco hastes e ponteiros estreitos, atuando à profundidade máxima de 25 cm, seguido de duas gradagens leves, com grades de 42 discos de 19 polegadas, na profundidade máxima de 5 cm (42/19” – 5 cm);
- b) gradagens (GP) - uma gradagem com grade aradora (16/24” – 15 cm), seguida de duas gradagens leves (conforme já descrito);
- c) plantio direto (PD) - semeadura direta mantendo-se os resíduos vegetais sobre a superfície do solo, usando-se herbicidas dessecantes para o controle de plantas daninhas; e
- d) sistema inverso (SI) - uma gradagem (16/24” – 15 cm), seguida de uma aração com arado de aivecas (três aivecas estriados, atuando à profundidade máxima de 20 cm) e duas gradagens leves.

No inverno os sistemas de preparo foram ES, GP e PD, conforme procedimentos já descritos para cada um deles.

As culturas foram implantadas seguindo as faixas de preparo de verão (em nível) apresentada na Figura 1, sendo que, nesse período, a aveia preta recebeu na linha de semeadura a mesma adubação do trigo.



**Figura 1.** Esboço de bloco com os sistemas de preparo de solo, aplicados no verão [ES: escarificação + gradagens niveladoras; GP: gradagens aradora + niveladoras; PD: semeadura direta; SI: gradagem aradora + aração (aiveca) + gradagens niveladoras] e no inverno (ES, GP e PD de 1988-1994, e PD, de 1994-2003), e com as sucessões de culturas [□ : trigo/soja, de 1988-2003 e ■ : aveia preta/soja, de 1988-1994; nabo/milho – aveia/soja – trigo/soja, de 1994-2000; nabo + aveia/milho – nabo + aveia/soja – trigo/soja, de 2000-2003]. Setas indicam o sentido das operações de preparo do solo.

A partir da safra de inverno de 1994, visando aumentar a biodiversidade do sistema de produção e inserir culturas de maior potencial de adição de resíduos vegetais, passou-se a cultivar a rotação nabo forrageiro/milho - aveia preta/soja - trigo/soja, em substituição à sequência aveia preta/soja e adotou-se o PD como único sistema de preparo no inverno. Os sistemas de preparo aplicados no verão e a sequência trigo/soja foram mantidos conforme vinham sendo conduzidos desde 1988, sempre nas mesmas faixas e épocas.

Desta forma, os tratamentos, nas parcelas, continuaram a ser constituídos pelos sistemas de preparo aplicados no verão (ES, GP, PD e SI) e, nas subparcelas, foram introduzidos os tratamentos: sem rotação (SR - manutenção da sequência trigo/soja, e com rotação (CR) - sequência nabo forrageiro/milho - aveia preta/soja - trigo/soja, cultivada em lugar de aveia preta/soja.

A partir de 1994 a aveia preta e o nabo forrageiro não foram adubados.

Após a condução de dois ciclos de rotação (seis anos), as culturas de cobertura do solo passaram ser cultivadas em consórcio, ficando o tratamento CR modificado para a sequência nabo forrageiro + aveia preta/milho - nabo forrageiro + aveia preta/soja - trigo/soja, que passou a ser utilizada entre 2000 e 2003, sendo mantidos os demais tratamentos. O consórcio aveia + nabo não recebeu adubação e a dose de sementes usada, neste caso, foi metade da normalmente recomendada para cada cultura. Essa alteração no sistema de rotação visou incrementar ainda mais a qualidade da cobertura do solo (associando-se crucíferas e gramíneas) e propiciar maior biodiversidade e equilíbrio da relação C/N, no outono-inverno, promovendo maior controle de plantas espontâneas com menor custo de herbicidas na safra subsequente.

Ressalta-se que, a partir de 1994, no outono-inverno, apenas o trigo continuou a ser adubado. Em 1995, oito anos após a correção inicial, 1,2 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico foi distribuído a lanço em toda área, sendo que a incorporação dependeu dos diferentes sistemas de preparo de solo.

O manejo das culturas de soja, milho, trigo, nabo forrageiro e aveia preta seguiram recomendações técnicas da Embrapa e as cultivares utilizadas no período 1988-2003 estão na Tabela 2.

**Tabela 2.** Cultivares utilizadas nas safras de 1988 a 2002/03. Dourados, MS.

Saфра	Trigo	Culturas <sup>(1)</sup>			
		Nabo forrageiro	Aveia preta	Soja	Milho
1988	BH 1146	-	Comum	Bossier	-
1989	BH 1146	-	Comum	Bossier	-
1990	BH 1146	-	Comum	Iguassu	-
1991	BR 18	-	Comum	Iguassu	-
1992	BR 18	-	Comum	Iguassu	-
1993	BR 18	-	Comum	Iguassu	-
1994	BR 18	Siletina	-	Iguassu	HP 3071
1995	BR 18	-	Comum	Iguassu	-
1996	BR 18	-	-	Iguassu	-
1997	BR 18	Siletina	-	BR 65	AGM 3180
1998	BR 40	-	Comum	BR 65	-
1999	BR 40	-	-	BR 65	-
2000	BR 40	Siletina	Comum	BR 182	AGM 3180
2001	BR 18	Siletina	Comum	BR 182	-
2002	BR 18	-	-	BR 182	-

<sup>(1)</sup> -: indica ausência de cultivo de nabo forrageiro, aveia preta ou milho.

## Variáveis de solo e planta avaliadas

Ao longo da condução deste experimento foram avaliados:

- em cada safra, as produções de soja, milho, trigo e aveia preta, a partir da coleta de duas linhas de três metros de comprimento, em três repetições, por parcela; os resultados médios foram expressos em  $\text{kg ha}^{-1}$ , com 12% de umidade dos grãos (obs.: a produção de grãos de aveia preta não foi discutida neste texto);

- a fitomassa, a partir de uma área de  $1 \text{ m}^2$  em três repetições por parcela, no período do florescimento das culturas. O material foi seco em estufa a  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  e a massa seca média expressa em  $\text{kg ha}^{-1}$  (obs.: neste texto, os dados de palha foram discutidos em algumas safras específicas apenas);

- amostras compostas das camadas 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm do solo foram obtidas a partir de cinco amostras simples coletadas em pontos ao

acaso em cada parcela, no início do período das chuvas em 1993, 1996 e 2003 e submetidas às determinações de carbono orgânico ( $C_{org}$ ) pelo método Walkley-Black e pH em água (1:2,5), alumínio ( $Al^{3+}$ ), cálcio ( $Ca^{2+}$ ), magnésio ( $Mg^{2+}$ ), potássio ( $K^+$ ) e fósforo (P, Mehlich I) conforme procedimentos descritos em Claessen (1997); e

- amostras indeformadas (anéis de Kopecky) foram retiradas das camadas 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm, no início do período das chuvas em 1993 e 1996, para determinação de densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt), de acordo com Claessen (1997).

- amostras em monólitos (10 cm x 10 cm x 10 cm) foram coletadas em 1996, na camada 0-10 cm do solo, levemente desagregadas e tamisadas em peneiras de 9,52 mm e 4,0 mm. O material retido na peneira de 4 mm ( $9,52 > y < 4,0$  mm) foi submetido ao peneiramento em água, para a determinação de agregados estáveis, conforme Claessen (1997). Este método foi modificado quanto ao conjunto de peneiras que foi constituído por peneiras de 7,93 mm; 6,35 mm; 4,0 mm; 2,0 mm; 1,0 mm e 0,5 mm de abertura de malhas. O material retido em cada peneira foi seco em estufa, determinando-se a percentagem de agregados estáveis em água, em cada classe de tamanho e o diâmetro médio ponderado (DMP).

Os resultados obtidos ao longo do tempo foram organizados e discutidos considerando-se duas fases de desenvolvimento do experimento: a primeira referente ao período de 1988 a 1994 e, a segunda envolvendo resultados obtidos entre 1994 e 2003, quando foram procedidas alterações em parte dos tratamentos.

## **Tratamento estatístico**

Na primeira fase do experimento (1988-1994), embora o delineamento experimental original tenha sido o de parcelas subdivididas, para avaliar o efeito de combinações de sistemas de preparo de solo e de sucessões de culturas na produtividade de soja, usou-se como delineamento estatístico o fatorial  $4 \times 3 \times 2$ , com quatro sistemas de preparo no verão, três sistemas de preparo no inverno e duas culturas de outono-inverno, fazendo-se uma análise

conjunta do período 1988-1994. No caso da cultura do trigo utilizou-se um fatorial 3x6, sendo fatores os três sistemas de preparo no inverno e seis épocas ou safras. Para analisar as variáveis relativas aos atributos químicos e físicos de solo, em 1993, adotou-se o fatorial 4x2, sendo fatores quatro sistemas de preparo de solo no verão (sendo as amostras coletadas nas parcelas com a combinação dos sistemas de preparo no verão com o PD no inverno) e duas culturas de inverno.

Apesar de que a partir da safra de 1994 o PD tenha sido o único sistema de preparo no inverno, para analisar os parâmetros referentes à produção de grãos e de palha das culturas de trigo (safra 1994) e da soja e do milho (safra 1994/95) consideraram-se os efeitos dos sistemas de preparo no verão e no inverno, utilizando então um esquema fatorial 4x3, com quatro sistemas de preparo no verão (ES, GP, PD e SI) e três sistemas de preparo no inverno (ES, GP e PD).

No período entre 1995 e 2003, para a análise estatística das variáveis relativas à produção de soja das safras de 1995/96, 1996/97, 1998/99, 1999/2000, 2001/02 e 2002/03 e de trigo das safras de 1996, 1999 e 2002 e, também, para análise de atributos de solo (da avaliação de 1996), adotou-se o arranjo fatorial 4x2, sendo quatro sistemas de preparo no verão e dois sistemas de rotação de culturas.

Para a análise da produção de grãos de soja (safras de 1997/98 e 2000/01) e de trigo (de 1995, 1997, 1998 e 2001), considerando não ser possível avaliar-se o efeito do tratamento rotação de cultura e que, no inverno, o PD foi fixado como único sistema de preparo, os dados obtidos foram analisados como um delineamento em blocos ao acaso, com quatro sistemas de preparo no verão e três repetições.

Após a análise de variância, sempre que necessário, as médias foram comparadas pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

## Resultados e Discussão

### Produtividade de soja, milho e trigo

Os resultados da análise de variância envolvendo a produtividade média anual de grãos de soja no período 1988-1994 indicou coeficiente de variação (CV) de 8%, considerado baixo para este tipo de experimento. A média geral para a produtividade de soja foi de 1.732 kg ha<sup>-1</sup>, refletindo condições agrometeorológicas pouco adequadas ao desenvolvimento dessa cultura, com a ocorrência de 2 a 3 veranicos com duração de, no mínimo, 10 e, no máximo, 29 dias, na maioria das safras desse período. Foram verificados efeitos significativos da cultura de inverno e interação significativa entre os sistemas de preparo de solo aplicados no verão e no inverno.

Embora esses resultados devam ser considerados com reservas em face da baixa produtividade, tanto os sistemas de preparo de solo no verão como os aplicados no inverno, bem como a cultura de inverno, apresentaram efeitos diferenciais entre si sobre a produção de soja. Além disso, também ocorreu interação significativa entre os sistemas de preparo de solo no verão e no inverno, para esse parâmetro.

O uso contínuo do PD (tanto no inverno quanto no verão), independente da cultura de inverno, propiciou rendimentos de soja de 1.908 kg ha<sup>-1</sup>, ou 315 e 162 kg ha<sup>-1</sup> maiores do que, respectivamente, os tratamentos ES (1.593 kg ha<sup>-1</sup>) e GP (1.746 kg ha<sup>-1</sup>) empregados, continuamente, nas duas épocas do ano (Tabela 3). Quando se utilizou PD no verão, associado a outros sistemas de preparo aplicados no inverno, a produtividade de soja foi menor do que com PD contínuo. Assim, as combinações de PD no verão com ES ou com GP no inverno resultaram, respectivamente, em 1.609 e 1.631 kg ha<sup>-1</sup>, ou seja, 299 e 277 kg ha<sup>-1</sup> menos do que o PD contínuo. Em suma, o não revolvimento do solo em todas as safras do ano e ao longo do tempo proporciona maior produtividade de soja do que a utilização eventual de preparo em uma ou outra época. A escassa e mal distribuída ocorrência de chuvas ao longo das safras evidenciou o efeito da cobertura morta que no PD pode ter induzido melhor disponibilidade de água do que nos tratamentos GP ou ES, gerando rendimentos diferenciais entre estes sistemas de preparo e o PD. Estes resultados ratificam os verificados por Santos et al. (2003) e

diferem dos observados por Kluthcouski et al. (2000), os quais reportaram que a produtividade de grãos da soja não foi influenciada por sistemas de manejo do solo.

O revolvimento intensivo do solo, aqui caracterizado pelo SI, não induziu a respostas mais positivas ou mais expressivas, em termos de rendimento de soja, do que a ausência de preparo do solo mantida ao longo do tempo.

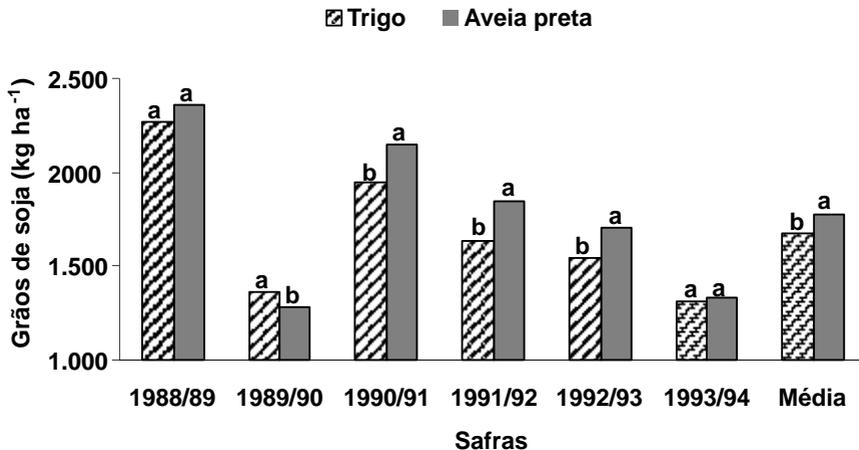
**Tabela 3.** Produção (kg ha<sup>-1</sup>) de grãos de soja, período 1988-1994, para a combinação de sistemas de preparo<sup>(1)</sup> de solo aplicados no verão e no inverno, no período 1988-1994.

Preparo no Inverno	Preparo no verão				Média
	ES	GP	PD	SI	
Grãos (kg ha <sup>-1</sup> )					
ES	1.593 Ab	1.804 Aa	1.609 Bb	1.686 Aab	1.673
GP	1.692 Ab	1.746 Aab	1.631 Bb	1.878 Aa	1.737
PD	1.604 Ab	1.788 Aa	1.908 Aa	1.842 Aa	1.786
Média	1.629	1.779	1.716	1.802	1.732

<sup>(1)</sup>ES: escarificação + gradagens niveladoras; PD: semeadura direta; GP: gradagens aradora + niveladoras; SI: gradagem aradora + aração + gradagens niveladoras. Valores seguidos por letras minúscula iguais, nas linhas e, por letras maiúsculas, nas colunas, indicam que tratamentos não diferem entre si conforme teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A produtividade de soja foi significativamente influenciada pela cultura anterior, sendo que a aveia preta foi, em 50% das safras, mais eficiente do que o trigo (Figura 2). Nas safras de 1990/91, 1991/92 e 1992/93, a soja produziu, em termos médio, 276 kg ha<sup>-1</sup> mais após aveia do que após trigo e, em termos gerais, essa diferença foi significativa, em torno de 100 kg ha<sup>-1</sup>.

Efeitos de sistemas de preparo de solo aplicados no inverno na produtividade de grãos de trigo foram observados em duas das safras entre 1988-1993 (Tabela 4). Efeitos diferenciais entre sistemas de preparo de solo ocorreram nas duas primeiras safras (1988 e 1989), quando o PD foi superior ao ES mas não diferiu do GP. Ao se considerar o conjunto das safras desse período, verifica-se que os sistemas de preparo se comportaram de forma semelhante, sendo a produção média de trigo de 1.906, 1.958 e 1.982 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente para os ES, GP e PD.



**Figura 2.** Produção média de grãos de soja, no período de 1988-1994, em função da cultura de inverno (trigo e aveia preta).

Letras iguais em cada safra e na média geral indicam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

**Tabela 4.** Produção de grãos de trigo em função de sistemas de preparo de solo aplicados no inverno, no período de 1988 a 1993.

Preparo no inverno	Safras						Média
	1988	1989	1990	1991	1992	1993	
	Grãos de trigo (kg ha <sup>-1</sup> )						
ES	1.845 b	914 b	1.938 a	2.643 a	1.805 a	2.294 a	1.906
GP	1.940 ab	960 ab	2.072 a	2.679 a	1.772 a	2.326 a	1.958
PD	2.110 a	1.066 a	2.084 a	2.483 a	1.802 a	2.345 a	1.982
CV (%)	9,2	11,7	8,7	15,2	13,5	9,8	1.949

No entanto, quando se envolve a rotação de culturas, os efeitos de sistemas de preparo sobre a cultura do trigo são melhorados conforme relataram Santos et al. (2000). Estes autores, ao estudarem efeitos de sistemas de preparo de solo e rotação de culturas, verificaram que o rendimento de grãos de trigo cultivado em plantio direto ou em cultivo mínimo foi superior ao preparo convencional do solo com arado de discos e com arado de aivecas. A rotação de culturas reduziu a ocorrência de doenças do sistema radicular, contribuindo provavelmente para o aumento do rendimento de grãos do trigo.

Os resultados aqui obtidos permitem inferir que os efeitos do PD sobre o rendimento de soja e de trigo, comparado aos demais sistemas de preparo, poderiam ser mais expressivos se um esquema de rotação, com maior diversificação de espécies com relação C/N mais elevada, fosse agregado a esse sistema de preparo. Alguns dos resultados alcançados nos primeiros seis anos de ensaio, tais como a ausência de efeitos significativos mais consistentes dos sistemas de preparo de solo no inverno sobre o rendimento de trigo e, a maior eficiência relativa da combinação PD no verão + PD no inverno na produção de soja, sugerem que a adoção de um único sistema de preparo de solo no inverno, o PD, poderá facilitar a avaliação dos sistemas de preparo no verão associado a sistemas de rotação sobre a cultura de soja.

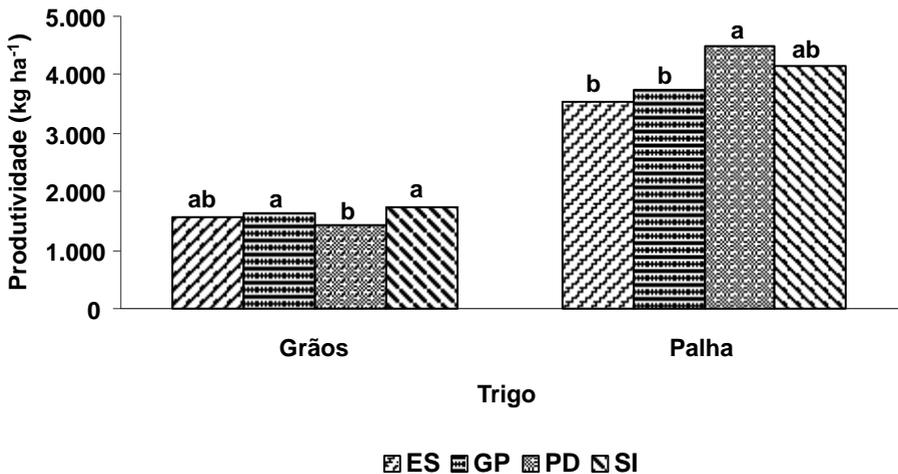
No outono de 1994, o esquema de culturas nabo forrageiro/milho - aveia preta/soja - trigo/soja (tratamento com rotação), começou a ser cultivado em substituição à sequência aveia preta/soja, mantendo-se o cultivo da sequência trigo/soja que passou a ser denominado tratamento sem rotação, sendo que no inverno o sistema de preparo passou a ser apenas o PD.

No entanto, para a análise de variância dos dados de rendimentos de grãos e palha de trigo (safra 1994) e de soja e milho (safra 1994/95) considerou-se a combinação dos sistemas de preparo no verão e no inverno, estes últimos aplicados entre 1988 e 1993.

Foram verificados, pelo teste F, efeitos significativos dos sistemas de preparo de solo aplicados no verão sobre a produção de grãos e de palha do trigo na safra 1994, após execução contínua da sequência trigo/soja entre 1988 e 1994 e, imediatamente após a adoção da semeadura direta como único sistema de preparo no inverno; entretanto não ocorreu efeito de sistema de preparo de solo anteriormente aplicado no inverno ou a interação entre os sistemas de preparo (verão x inverno), em relação a essas variáveis. Em 1994, a produção média geral de grãos de trigo foi de 1.595 kg ha<sup>-1</sup> e a de palha, de 3,9 t ha<sup>-1</sup>. Nessa mesma safra a cobertura morta formada pelo nabo forrageiro (inserido pela primeira vez nessa safra de 1994, no sistema de produção “com rotação de cultura”), cuja produção de grãos não foi avaliada, gerou, em média, 4,6 t ha<sup>-1</sup> de massa seca.

Nas parcelas onde se empregou, no verão imediatamente anterior, o PD, a produção de grãos de trigo foi significativamente menor do que onde foram empregados os sistemas que promoveram maior revolvimento de solo (GP e

SI), mas não houve diferença entre PD e o ES que teve comportamento intermediário (Figura 3). O baixo estande na cultura do trigo, nessa safra, devido provavelmente à maior densidade do solo nos primeiros 10 cm no PD (ver item Atributos físicos do solo), em comparação aos demais tratamentos, aliado às baixas condições de umidade nos primeiros dias após a semeadura, podem ter proporcionado a queda relativa observada no rendimento de grãos. No entanto, essa hipótese não pode ser confirmada porque o estande não foi determinado. No PD, como era esperado, a produção de palha foi superior ao ES e GP, ficando o SI em posição intermediária. Isso ocorreu porque a avaliação da cobertura morta envolveu não apenas a produção de cada safra, mas também os resíduos remanescentes de cultivos anteriores, o que explica a superioridade do PD, especialmente sobre ES e GP.



**Figura 3.** Efeitos de sistemas de preparo aplicados no verão (ES: escarificação + gradagens niveladoras; PD: semeadura direta; GP: gradagens aradora + niveladoras; SI: gradagem aradora + aração + gradagens niveladoras) sobre grãos e palha de trigo, safra 1994.

Letras iguais, em cada variável, indicam que os sistemas de preparo não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

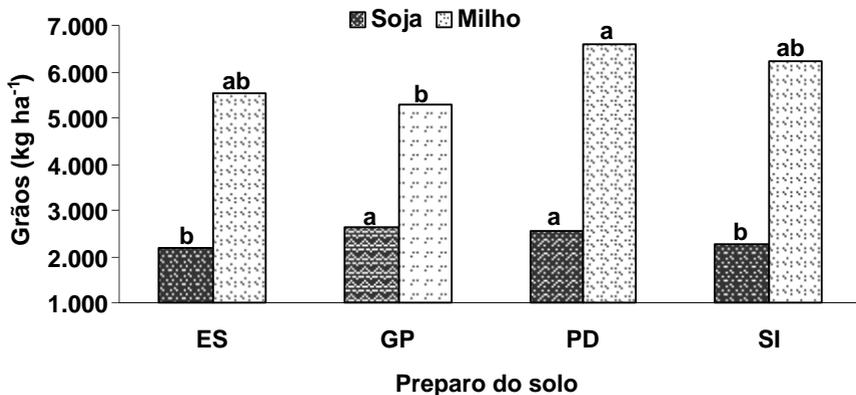
Há evidência, portanto, de que, neste caso, os sistemas de preparo tenham menor influência do que outros fatores como as condições climáticas e o estande final dessa gramínea. Além disso, o cultivo contínuo da sequência trigo/soja pode, com o tempo, gerar crescimento gradativo da incidência de pragas e doenças, que associado às condições climáticas pode, em safras específicas, proporcionar baixos índices de rentabilidade, fato que pode ter acontecido na safra de 1992.

Entretanto, a produtividade média geral de grãos do experimento para o período 1988-1993 foi de  $1.949 \text{ kg ha}^{-1}$  para o trigo, índice superior aos valores médios obtidos na região, nessa época, que foram cerca de  $1.600 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Na safra de verão (1994/95), a produção média geral do milho foi de  $5.915 \text{ kg ha}^{-1}$ , com resíduos de  $7,1 \text{ t ha}^{-1}$  (Figura 4). A soja apresentou média geral de  $2.408 \text{ kg ha}^{-1}$  de grãos e,  $4,0 \text{ t ha}^{-1}$  de palha. A análise de variância indicou que o CV para os dados de palha foram mais elevados do que para grãos, e também, maior para o milho do que para a soja, refletindo a menor uniformização da distribuição dos resíduos do milho pela colheitadora no campo. Efeitos significativos de tratamentos, nessa safra, foram verificados apenas para os sistemas de preparo do solo aplicados no verão e para a variável grãos de soja e de milho.

O PD foi um dos tratamentos mais efetivos no que se refere à produtividade de grãos na safra 1994/95. No caso da soja, PD e GP foram semelhantes entre si e ambos foram significativamente superiores ao ES e SI. Para rendimento de milho o PD superou o GP, enquanto ES e SI propiciaram rendimentos intermediários.

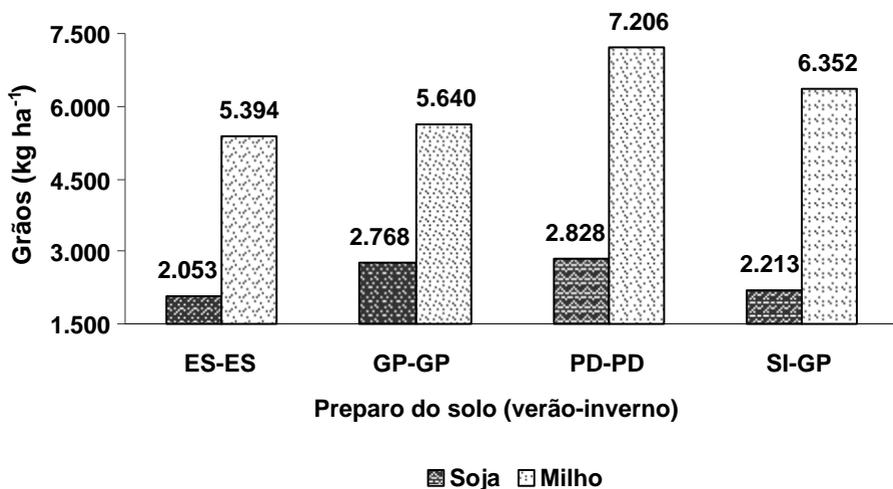
Embora não tenha ocorrido interação significativa entre os sistemas de preparo aplicados no verão e no inverno, na Figura 5 são apresentados resultados referentes à comparação numérica entre os valores médios de produção de soja e de milho avaliados na safra 1994/95, nas parcelas onde, ao longo do período 1988-1994, os sistemas de preparo no verão e no inverno foram ES-ES, GP-GP e PD-PD e a combinação SI (no verão) e GP no inverno (SI-GP), que representa a combinação com maior revolvimento de solo. Observa-se que, principalmente para cultura do milho, a efetividade do PD em relação aos demais sistemas contínuos e ao SI-GP ficou evidente.



**Figura 4.** Produtividade de grãos de soja e de milho em função de sistemas de preparo de solo aplicados no verão (ES: escarificação + gradagens niveladoras; PD: semeadura direta; GP: gradagens aradora + niveladoras; SI: gradagem aradora + aração + gradagens niveladoras), na safra 1994/95.

Letras iguais, em cada cultura, indicam que os sistemas de preparo não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

A produção de grãos do milho com o PD-PD foi 7.206 kg ha<sup>-1</sup>, sendo 25%, 22% e 12% maior do que, respectivamente, ES-ES, GP-GP e SI-GP. Na cultura da soja, o PD-PD gerou rendimentos de 2.828 kg ha<sup>-1</sup>, sendo 27%, 22% e 2% maiores do que os rendimentos gerados por ES-ES, SI-GP e GP-GP (Figura 5). Esses resultados indicam que para essas culturas o revolvimento do solo, mediante o uso de arados, grades ou escarificadores, mesmo que numa única safra (no inverno ou no verão) ao ano, pode induzir queda relativa nos rendimentos de grãos. Portanto, a ausência de preparo, além de ser economicamente mais interessante por diminuir o número de operações agrícolas, quando bem manejada, garante incremento na produtividade das culturas. Estes resultados ratificam os obtidos por Almeida et al. (2008) e por Santos et al. (2003), que observaram maior rendimento de milho sob condições de plantio direto do que sob sistemas mínimo e convencional de preparo de solo. Mas os resultados deste trabalho não concordam com os obtidos por Kluthcouski et al. (2000), segundo os quais a aração profunda induziu maior produtividade de milho comparada ao plantio direto. Conforme esses últimos autores ressaltaram, a produtividade média muito baixa do milho provavelmente foi mais influenciada pelo excesso de chuvas, baixa luminosidade e ataque de *Phaeosphaeria maydis* no pendoamento do que pelos sistemas de preparo de solo.



**Figura 5.** Produção de grãos de soja e de milho (safra 1994/95) em função de sistemas de preparo de solo aplicados, entre 1988-1994, continuamente no verão e no inverno (ES-ES, GP-GP e PD-PD) e do SI no verão e GP no inverno (SI-GP). (ES: escarificação + gradagens niveladoras; PD: semeadura direta; GP: gradagens aradora + niveladoras; SI: gradagem aradora + aração + gradagens niveladoras).

Os resultados da análise de variância para os efeitos de sistemas de preparo (no verão) e de sistemas de rotação de culturas, em grãos de soja (safras 1995/96, 1996/97, 1998/99, 1999-2000, 2001/02 e 2002/03) e de trigo (safras de 1996, 1999 e 2002), mostraram que os sistemas de preparo apresentaram efeitos significativamente diferentes entre si sobre o rendimento da soja nas safras de 1995/96, 1996/97, 1998/99 e 2002/03, enquanto a rotação de cultura, isoladamente, influenciou significativamente a produtividade de soja em 1995/96 e 1998/99 e o rendimento de trigo na safra de 1999. Houve interação entre preparo de solo e rotação de cultura apenas para a produtividade de trigo na safra de 2002. Os CV variaram de 9% (safra 1995/96) a 21% (safra 1998-99; as médias gerais para a produtividade de grãos, em kg ha<sup>-1</sup>, variaram de 2.177 (safra 1995/96) a 3.286 kg ha<sup>-1</sup> (safra 2001/02) para a soja e, de 1.208 (safra 2002) a 2.160 kg ha<sup>-1</sup> (safra 1999) para o trigo.

Verifica-se expressiva mudança no nível de produtividade da soja entre o período 1988-1994, em que a média geral foi de 1.732 kg ha<sup>-1</sup>, e o período posterior, 1995-2003, quando a produção média geral de grãos,

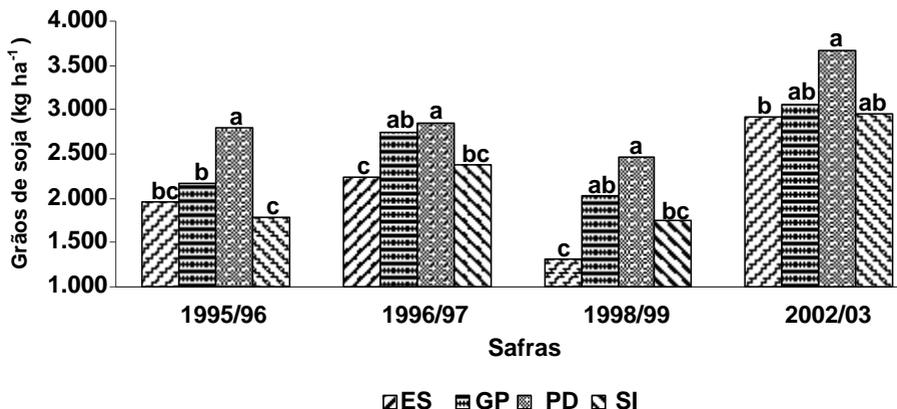
independente do sistema de preparo utilizado, foi de 2.624 kg ha<sup>-1</sup>. Essa mudança pode ser creditada, entre outros fatores, às melhores condições agrometeorológicas nas safras deste último período, mas, também, à melhoria das técnicas de cultivo adotadas, tais como uso de semeadoras mais eficientes, que proporcionaram, especialmente no PD, estande mais uniforme e a rotação de culturas introduzida como um dos tratamentos, a partir de 1994.

Das seis safras (1995/96, 1996/97, 1998/99, 1999-2000, 2001/02 e 2002/03) em que, no período 1995-2003, foi possível avaliar efeitos de sistemas de preparo do solo (no verão) x rotação de culturas (com e sem) na produtividade de soja, em quatro delas foram verificados efeitos significativos dos sistemas de preparo de solo. A produtividade média de soja nessas safras foi 2.108, 2.504, 2.945 e 2.217 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para o ES, GP, PD e SI, ou seja, o PD superou o ES, SI e GP, em 837, 728 e 441 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Na safra 1995/96 a produção de soja por unidade de área foi significativamente superior no PD comparado aos demais sistemas de preparo e o SI foi o tratamento menos efetivo (Figura 6). Nas safras 1996/97 e 1998/99 a produção de soja com o PD superou a dos demais sistemas de preparo de solo, mas não foi significativamente diferente da proporcionada pelo GP. Na safra 2002/03 a produtividade de soja com o PD superou a obtida com o ES, mas esses tratamentos apresentaram comportamento semelhante aos de GP e SI. A produção de soja com o PD, na safra 1995/96, foi cerca de 30% maior do que com o GP, mas nas safras 1998/99 e 2002/03, nas quais esses tratamentos não apresentaram diferenças significativas entre si, a produtividade de soja ainda foi, em média, 20% maior com o PD do que com o GP.

Promovendo o mais intenso revolvimento do solo entre os tratamentos, o SI tendeu a proporcionar, com o tempo, oscilação na produção de soja em função das condições climáticas de cada safra (entre 1995 e 2003), variando de 1.745 a 2.959 kg ha<sup>-1</sup>. Por outro lado, o rendimento de soja no PD foi menos instável, mantendo níveis elevados de produção ao longo desse período, sendo a produção mínima (2.461 kg ha<sup>-1</sup> em 1998/99) e a máxima (3.674 kg ha<sup>-1</sup> em 2002/03), inferindo-se daí que, sendo relativamente menos vulnerável às mudanças de clima, o PD pode proporcionar maior rentabilidade e estabilidade econômica, se comparado aos demais sistemas de preparo do solo. O tratamento ES que é mais conservacionista do que GP

e SI foi, no entanto, o menos efetivo dos sistemas de preparo em relação à produtividade de soja. As razões que poderiam explicar essa performance não foram aprofundadas neste trabalho, porém por hipótese, o estande relativamente menor no ES, poderia ser uma das razões para essas diferenças relativas.

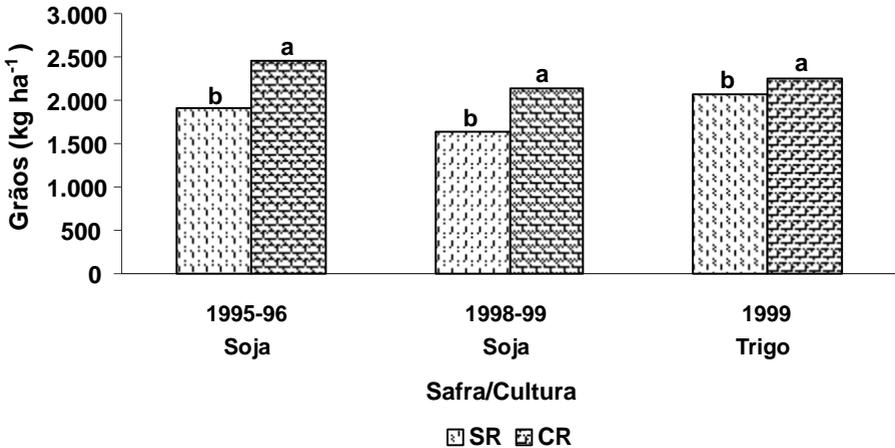


**Figura 6.** Produção de grãos de soja (kg ha<sup>-1</sup>) nas safras 1995/96, 1996/97 e 2002/03, em função de sistemas de preparo de solo no verão (ES: escarificação + gradagens niveladoras; GP: gradagens aradora + niveladoras; PD: semeadura direta; SI: gradagem aradora + aração + gradagens niveladoras). Letras iguais, em cada safra, indicam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Esses resultados ratificam que, no caso da cultura da soja, o plantio direto é o mais eficaz sistema de preparo, garantindo estabilidade de produção e maior rendimento da cultura.

Apesar de, geralmente, tender a elevar a produtividade das culturas, isoladamente, o tratamento rotação de cultura apresentou efeitos significativos sobre a produção de soja apenas nas safras 1995/96 e 1998/99 e sobre a de trigo na safra de 1999 (Figura 7). Esse efeito foi mais expressivo na cultura da soja, cujos rendimentos foram em torno de 500 kg ha<sup>-1</sup>, maiores com a rotação do que no tratamento sem rotação. A produtividade de trigo foi em torno de 200 kg ha<sup>-1</sup>, maior com a rotação do que com o sistema sem

rotação (sucessão trigo/soja, SR). Esses resultados podem estar relacionados com a menor ocorrência de pragas e doenças, promovida pela maior biodiversidade de sistemas com rotação de culturas, conforme reportaram Santos et al. (2000).



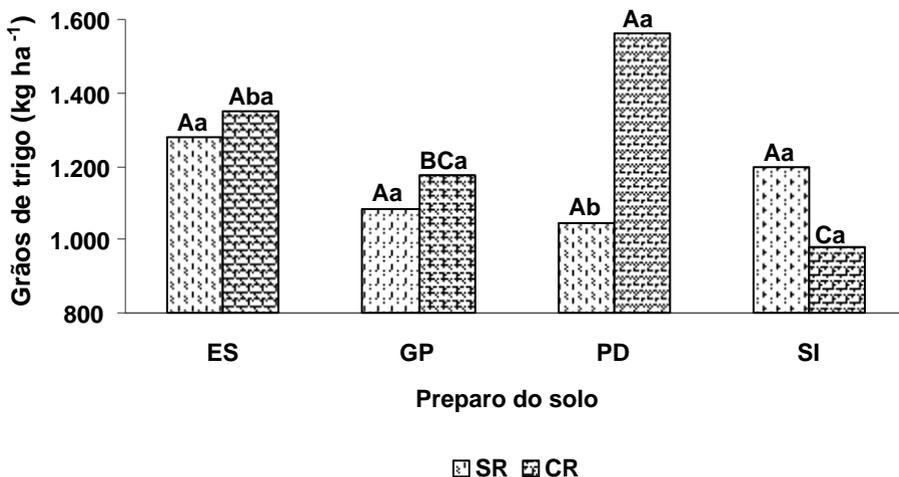
**Figura 7.** Produção de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) de soja (safra 1995/96 e 1998/99) e de trigo (safra 1999) em função de sistemas de rotação de culturas (SR: trigo/soja e CR: nabo forrageiro/milho - aveia preta/soja - trigo/soja).

Letras iguais, em cada safra, indicam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

A rotação de culturas, no entanto, traz uma série de outras vantagens ao sistema de produção, pois melhora a cobertura do solo (com plantas fotossinteticamente ativas cobrindo o solo, durante o maior tempo possível e ao longo do ano, resíduos de relação C/N elevada são decompostos mais lentamente); incrementa a diversidade biológica (mediante cultivo de espécies diferenciadas quanto a sistemas radiculares e características da parte aérea, tanto no inverno quanto no verão); apresenta efeitos positivos de uma espécie sobre a subsequente (melhor disponibilização de nutrientes, por exemplo); amplia o volume de solo explorado pelos sistemas radiculares (com o uso de espécies com diversificados tipo e agressividade de raízes); e traz maior equilíbrio na absorção e extração de nutrientes pelas plantas, entre outras vantagens.

O desdobramento de sistemas de preparo de solo dentro de rotação de culturas para o rendimento de trigo da safra de 2002 está na Figura 8. O PD foi

significativamente influenciado pela rotação de culturas sendo que o mesmo não aconteceu para os demais sistemas de preparo. Associado à rotação de culturas o PD propiciou produção de trigo cerca de  $500 \text{ kg ha}^{-1}$ , maior do que quando esse sistema de preparo foi conduzido em ausência de rotação (sequência trigo/soja). Santos et al. (2000) justificaram este comportamento diferencial devido ao fato de que a rotação reduziu a ocorrência de doenças do sistema radicular, resultando em aumento em grãos de trigo. Resultados semelhantes também foram observados por Santos et al. (2006) com a soja, cujo rendimento foi maior quando o plantio direto foi associado à rotação de cultura.



**Figura 8.** Produção de grãos de trigo, em função da interação entre sistema de preparo de solo (ES: escarificação + gradagens niveladoras; GP: gradagens aradora + niveladoras; PD: semeadura direta; SI: gradagem aradora + aração + gradagens niveladoras) e rotação de culturas (SR: trigo/soja; CR: nabo forrageiro + aveia preta/milho - nabo forrageiro + aveia preta/soja - trigo/soja), em 2002.

Letras maiúsculas (preparo do solo dentro de cada sistema de rotação) e minúsculas (sistemas de rotação em cada sistema de preparo) iguais indicam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Considerando a tendência produtiva de soja, milho e trigo verificada neste trabalho, sempre que a associação PD + RC estava presente, pode-se inferir que para a obtenção de rendimentos mais elevados, especialmente no caso do trigo, o PD necessariamente deverá estar associado à rotação de culturas.

Considerando que nas safras de inverno de 1995, 1997, 1998 e 2001 e nas de verão de 1997/98 e 2000/01 não foi possível avaliar o efeito do tratamento rotação de cultura, mas apenas os sistemas de preparo do solo, para análise estatística da produtividade de grãos de soja e de trigo nessas safras utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, com quatro sistemas de preparo no verão (Tabela 5). O teste F indicou que os tratamentos apresentaram efeitos diferenciais entre si na safra de trigo de 1995, e na safra 2000/01 para a soja. A produção média geral de grãos de trigo variou de 1.299 (safra 2001) a 2.096 (safra 1998) kg ha<sup>-1</sup>, refletindo as condições climáticas adversas ocorridas em várias das safras de outono-inverno. A produção média de soja das safras 1997/98 e 2000/01 foi, respectivamente, 3.044 e 2.740 kg ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 5.** Produção de grãos de trigo e de soja e teste F em função de sistemas de preparo de solo no verão<sup>(1)</sup> em safras entre 1995 e 2001.

Cultura	Safra	Teste F <sup>(2)</sup>	Média geral (kg ha <sup>-1</sup> )	CV (%)
Trigo	1995	10,1**	1.428	8,1
	1997	1,2 ns	1.936	8,7
	1998	2,1 ns	2.096	8,6
	2001	2,9 ns	1.299	12,1
Soja	1997/98	0,9 ns	3.044	11,3
	2000/01	16,8**	2.740	3,8

<sup>(1)</sup>ES - escarificação + gradagens niveladoras; PD - semeadura direta; GP - gradagens aradora + niveladoras; SI - gradagem aradora + aração + gradagens niveladoras.

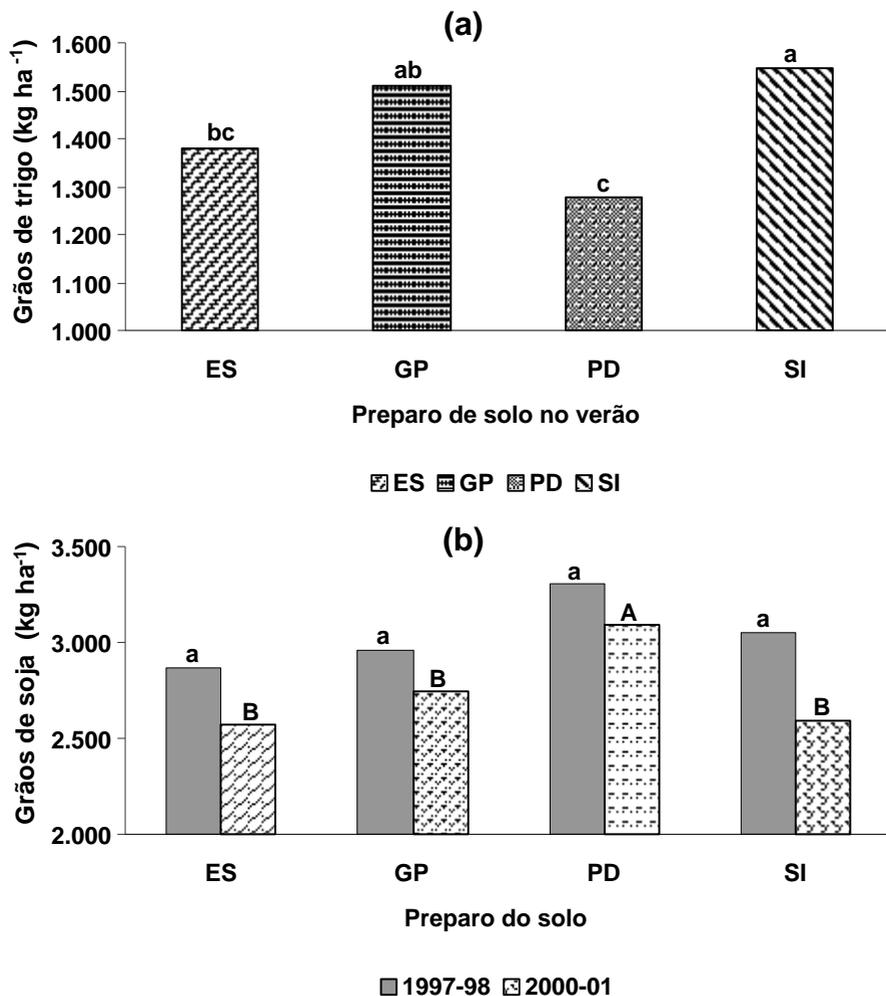
<sup>(2)</sup>Teste F \*\*: significativo a 1% e ns: não significativo

A produção de massa seca (palha) da aveia preta (safras 1995 e 1998) foi em média de  $6,7 \text{ t ha}^{-1}$ , a do nabo forrageiro ficou em torno de  $4,7 \text{ t ha}^{-1}$  (safra 1997) e a do consórcio nabo + aveia preta propiciou a cobertura morta média de  $5,2 \text{ t ha}^{-1}$  (safras 2000 e 2001). A cultura do milho foi seriamente prejudicada pelas condições climáticas adversas nas safras 1997/98 e 2000/01, impedindo a avaliação dos efeitos dos tratamentos sobre a produtividade dessa cultura.

Na safra 1995, quando se avaliou o efeito de sistemas de preparo aplicados no verão sobre a cultura de trigo, verificou-se que a produção de grãos foi mais elevada com o sistema SI e significativamente menor com o PD, ficando os demais tratamentos em posição intermediária (Figura 9a). O estande cultural pode ter sido um dos principais fatores que levaram às diferenças entre SI e PD. No entanto, esse parâmetro não foi determinado impedindo inferências nesse sentido.

O comportamento dos sistemas de preparo em relação à produção de soja nas safras 1997/98 e 2000/01 foi bastante semelhante; no entanto, apenas na última safra verificou-se efeitos diferenciais entre os tratamentos. A variabilidade dos dados pode ter impedido a verificação dessas diferenças entre os tratamentos, pois na Tabela 5 verifica-se que o CV relativo a 1997/98 foi cerca de três vezes maior do que o da safra 2000/01. Apesar disso, na safra 1997/98 a produção de grãos de soja com o PD foi 436, 346 e  $247 \text{ kg ha}^{-1}$  mais elevada do que, respectivamente, as verificadas com os tratamentos ES, GP e SI. Na safra 2000/01 a produção de grãos de soja com o PD foi significativamente superior à dos demais sistemas de preparo, sendo que aquele tratamento proporcionou 521, 497 e  $348 \text{ kg ha}^{-1}$  mais do que, respectivamente, ES, SI e GP (Figura 9b).

Os resultados permitem inferir que efeitos positivos de sistemas mais conservacionistas, como o PD, sobre a produtividade de culturas, podem ser obtidos de forma mais consistente, se à ausência de preparo de solo for associada à rotação de culturas. Isso fica mais evidente quando se comparam os valores médios de grãos de trigo obtidos pelo PD aos resultados de GP e do SI, verificando-se que, na maior parte das safras desse cereal, o PD foi superado por pelo menos um desses sistemas, quando em ausência de rotação de culturas. Dessa forma, infere-se que os efeitos do PD são, especialmente sobre a produtividade do trigo, dependentes da biodiversidade vegetal utilizada no sistema de produção.



**Figura 9.** Produção de grãos de trigo, safra 1995 (a), e de soja, safra 1997/98 e 2000/01 (b), em função de sistemas de preparo aplicados no verão (ES: escarificação + gradagens niveladoras; PD: semeadura direta; GP: gradagens aradora + niveladoras; SI: gradagem aradora + aração + gradagens niveladoras).

Letras iguais (minúsculas para a safra 1995 e 1997-1998 e maiúsculas para a safra 2000-2001) indicam que os sistemas de preparo não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

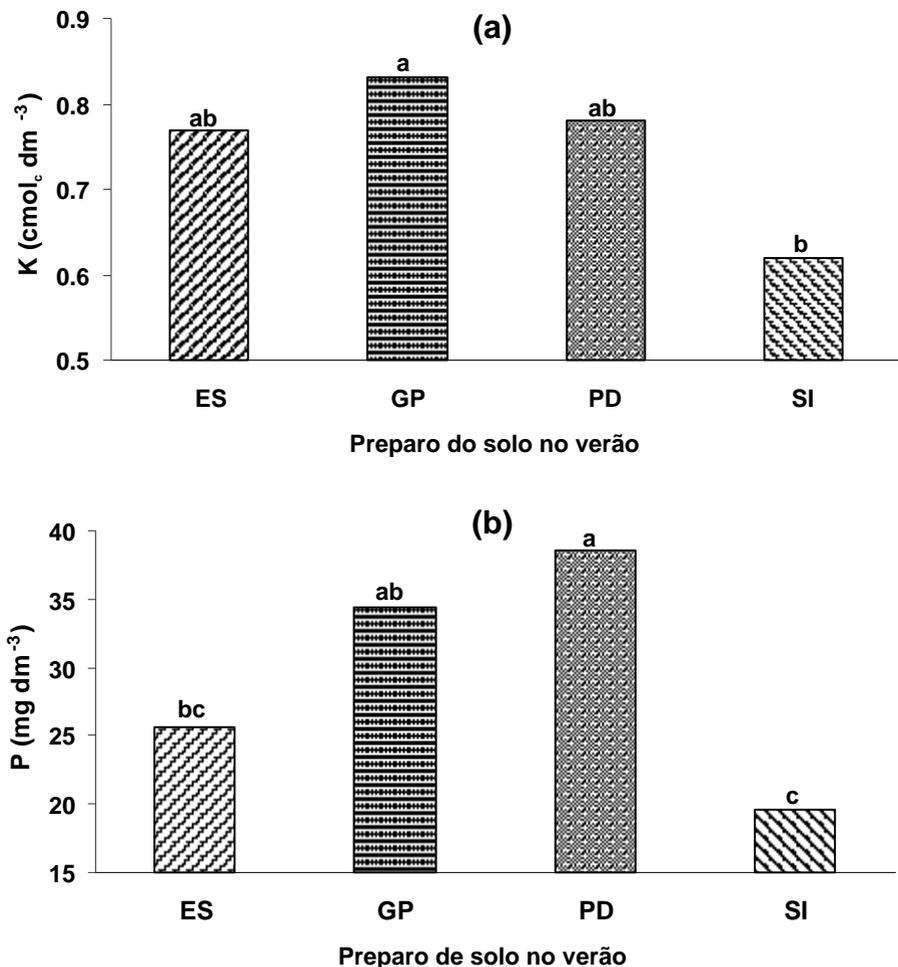
## Atributos químicos do solo

A análise estatística considerando como fonte de variação os sistemas de preparo no verão (fixando-se o preparo de inverno como PD) e as culturas de inverno (trigo e aveia preta), sobre as variáveis químicas de amostras obtidas em três camadas de solo, indicou ausência de efeitos significativos das cultura de inverno e da interação sistema de preparo x cultura de inverno. Apenas os sistemas de preparo de solo apresentaram efeitos significativamente diferentes entre si, sendo que tais efeitos foram observados apenas para os teores de potássio (K) e de fósforo (P), da camada 0-5 cm do solo (Figura 10).

Comparando-se numericamente as médias gerais das variáveis químicas verificadas nas três camadas estudadas, em 1993, aos teores obtidos imediatamente após a adequação química do solo, em 1987 (Tabela 1), pode-se inferir que os valores de Ca e de Mg tiveram pequenos decréscimos nas duas primeiras camadas superficiais, com o tempo, enquanto K e P apresentaram aumentos.

A fertilização das culturas na linha de semeadura ( $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  mais  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), bem como a ausência de preparo (PD) podem explicar os incrementos relativos desses nutrientes observados nas camadas superficiais, entre 1987 e 1993. A ação da fauna edáfica e a percolação de compostos oriundos da decomposição de raízes são algumas das hipóteses que também podem estar relacionadas com as alterações observadas na camada 10-20 cm, na qual o teor de P foi de 4,4 (1987) para  $12,6 \text{ mg dm}^{-3}$  (1993).

Embora se tenha verificado com o tratamento PD pequena tendência de incremento no teor de MO na camada 0-5 cm, as médias gerais do experimento em 1993 comparadas aos valores médios iniciais (Tabela 1) mostram que, nesse período, essa variável praticamente não foi alterada. Isso pode ter ocorrido devido, entre outras razões, à baixa produção relativa de biomassa (em torno de  $4,0 \text{ t ha}^{-1}$ /safra), ao baixo índice de produção de raízes das sequências de culturas envolvidas, com relação C:N < 37:1, aos elevados índices de temperatura e à grande variação de umidade do solo, que induziram acelerado processo de decomposição do material orgânico, mesmo sob as condições de PD.



**Figura 10.** Teores médios de K (a) e de P (b) de amostras compostas obtidas da camada 0-5 cm do Latossolo Vermelho Distroférico, para os sistemas de preparo do solo aplicados no verão (ES: escarificação + gradagens niveladoras; PD: semeadura direta; GP: gradagens aradora + niveladoras; SI: gradagem aradora + aração + gradagens niveladoras; fixando-se PD como o preparo no inverno), em 1993.

Letras iguais, para cada variável, indicam que sistemas de preparo não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Os coeficientes de variação (CV), para as camadas 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm, que foram, respectivamente, de 24,9%; 28,9% e 37,8% para os dados de P e de 15,9%, 22% e 28,9% para os do K, podem ser considerados elevados indicando precisão experimental questionável para essas variáveis, embora tais valores de CV, para esse tipo de estudo, sejam encontrados com frequência na literatura. A coleta de amostras simples do solo feita a partir de pontos ao acaso nas parcelas, sem considerar, na composição da amostra composta, efeitos de linha e entrelinha foi, possivelmente, uma das principais causas desses índices de variação mais elevados.

O teor de K da camada 0-5 cm foi maior com o tratamento GP do que com o SI, mas não se verificaram diferenças significativas entre o GP e os demais sistemas de preparo (Figura 10a). O teor de P foi maior no PD em relação ao ES e SI, mas PD e GP apresentaram efeitos semelhantes entre si (Figura 10 b). As causas primárias que induziram elevação de P e K na camada 0-5 cm foram a adubação de manutenção realizada nas culturas em todas as safras, a baixa extração dos nutrientes com a produção de grãos, devido às insatisfatórias condições climáticas ocorridas no período e, no caso do PD, o não revolvimento do solo. Os resultados aqui observados estão de acordo com os obtidos por Silva e Silveira (2002), que trabalhando com Latossolo Vermelho da região dos Cerrados observaram que sistemas de preparo com menor revolvimento propiciaram maior incremento nos teores de P e K de camadas superficiais do solo.

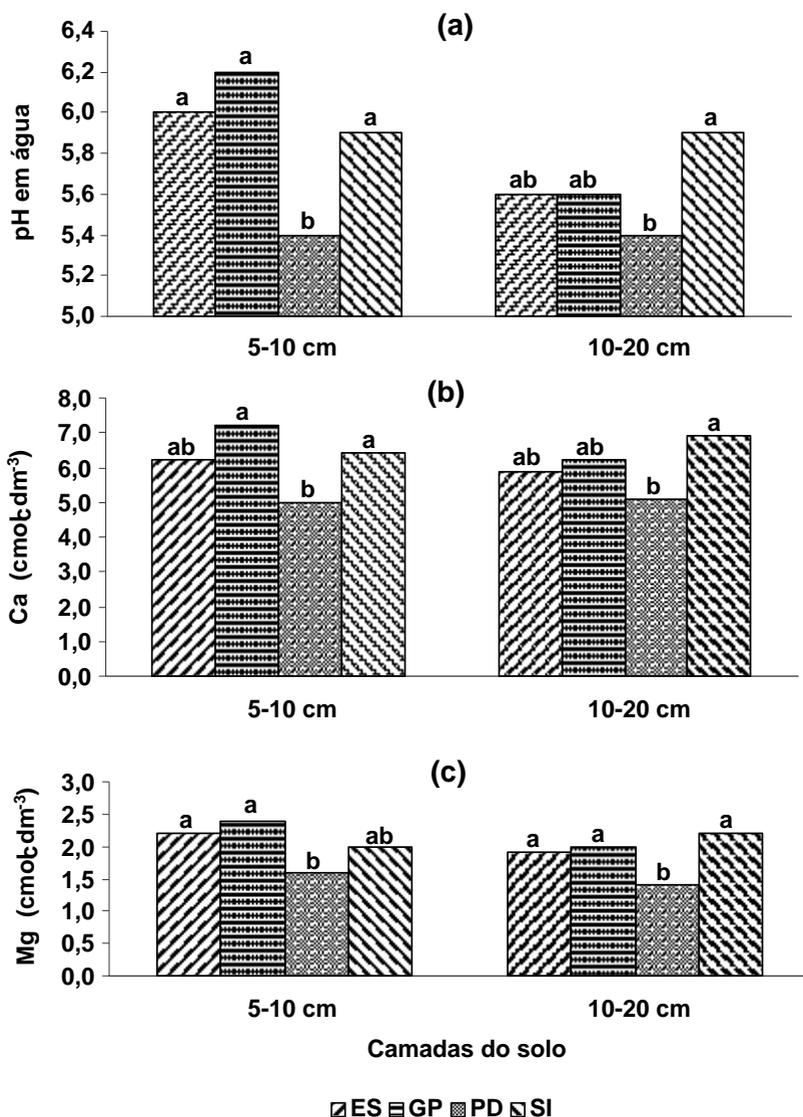
Em 1993, seis anos após o início do experimento, embora se tenha verificado efeitos positivos do PD sobre o P, outros efeitos relevantes desse tratamento sobre as demais variáveis químicas do solo ainda não tinham sido observados. Tais resultados podem estar relacionados com o fato de que as sucessões trigo/soja e aveia preta/soja são relativamente pobres quanto à produção de biomassa da parte aérea e, principalmente, de raízes, o que estaria limitando a ocorrência de impactos positivos em outras variáveis do solo, especialmente na matéria orgânica.

Resultados da análise de variância de atributos químicos de amostras do Latossolo Vermelho, realizada em 1996, indicaram efeitos diferenciais dos sistemas de preparo de solo sobre o P, K e a MO, na camada 0-5 cm; pH em água, Ca, Mg, K, P e MO, na camada 5-10 cm e, sobre o pH em água, Al, Ca, Mg, K, P e MO, na camada 10-20 cm. Os sistemas de rotação de cultura apresentaram diferenças significativas entre si, em relação a P e MO da camada 0-5 cm e ao Al e ao P da camada 5-10 cm. Interação significativa

entre os tratamentos foi verificada apenas para a variável Al da camada 5-10 cm.

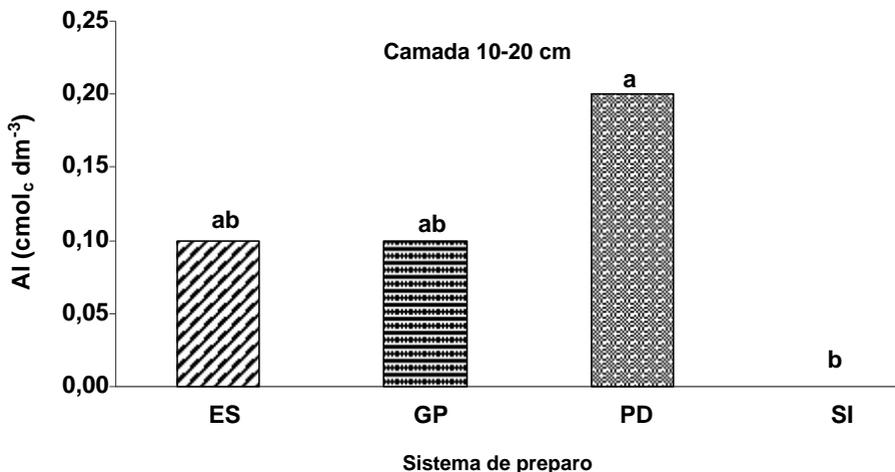
O pH em água e os teores de Ca e de Mg foram menores no PD do que nos demais sistemas de preparo, especialmente em relação a GP e SI, tanto na camada 5-10 cm quanto na 10-20 cm (Figura 11a, b e c); no mesmo sentido, o Al da camada 10-20 cm foi significativamente maior no PD do que no tratamento SI (Figura 12). O efeito diferencial da incorporação e mistura com o solo do calcário aplicado em 1995 promovido por grades e arados, em relação à ausência de incorporação, ficou aqui evidenciado. Ressalta-se, entretanto, que esses fatos ocorridos com essas variáveis no PD não influenciaram negativamente a produtividade da soja e do milho da safra 1994/95 (Figuras 4 e 5) e da soja da safra 1995/96 (Figura 6), mas o contrário, pois entre os sistemas de preparo o PD foi o que proporcionou os rendimentos mais elevados para essas culturas.

Os tratamentos apresentaram interação significativa para o Al da camada 5-10 cm (Tabela 6). Os sistemas que envolveram uso de algum implemento e revolvimento de solo incorporaram o calcário e promoveram a neutralização do Al da camada 5-10 cm. No PD os carbonatos do calcário são translocados, naturalmente, por meio de canais formados pela decomposição de raízes e pela ação da biota. Isso pode contribuir para que, nesse tratamento, a neutralização do Al se dê mais lenta e menos evidente nessa camada do que na camada 0-5 cm. Por outro lado, a rotação de culturas proporcionou as maiores produções de culturas (soja e milho), gerando maior extração de Ca e Mg (Figura 11b e c), fato que, aliado à adubação nitrogenada na cultura do milho e à maior formação de ácidos orgânicos devido ao maior aporte de matéria orgânica, podem ter propiciado a maior ocorrência de Al trocável nessa camada, especialmente quando CR foi associado ao PD. Por outro lado, nesses casos pode ocorrer a formação de complexos entre a MO e o Al, o que diminui os efeitos nocivos desse elemento na atividade de raízes, fazendo com que a produtividade das culturas de soja e trigo (Figuras 7 e 8) sejam, inclusive, mais elevadas sob esses tratamentos.



**Figura 11.** Valores de pH (a) e teores de Ca (b) e Mg (c) nas camadas 5-10 cm e 10-20 cm do Latossolo Vermelho Distroférico, para a avaliação de 1996, nos sistemas de preparo do solo aplicados no verão (ES: escarificação + gradagens niveladoras; PD: semeadura direta; GP: gradagens aradora + niveladoras; SI: gradagem aradora + aração + gradagens niveladoras).

Letras iguais, para cada variável e cada camada do solo, indicam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.



**Figura 12.** Teores de Al da camada 10-20 cm do Latosolo Vermelho Distroférico, para a avaliação de 1996, nos sistemas de preparo do solo aplicados no verão (ES: escarificação + gradagens niveladoras; PD: semeadura direta; GP: gradagens aradora + niveladoras; SI: gradagem aradora + aração + gradagens niveladoras). Letras iguais indicam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

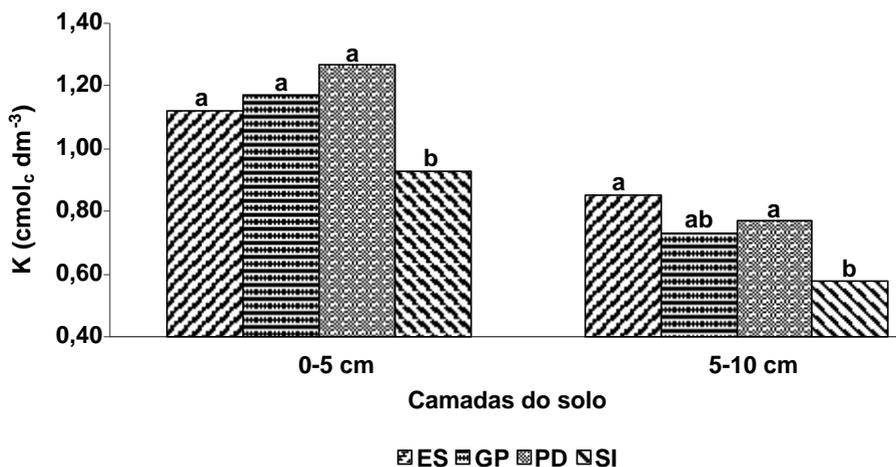
**Tabela 6.** Teores médios (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) de Al da camada 5-10 cm do Latosolo Vermelho Distroférico, em função de sistemas de preparo do solo aplicados no verão e rotação de culturas, em 1996.

Rotação <sup>(1)</sup>	Preparo do solo <sup>(2)</sup>				Média
	ES	GP	PD	SI	
	Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-1</sup> )				
SR	0,03 Ab	0,00 Ab	0,20 Ba	0,00 Ab	0,05
CR	0,00 Ab	0,00 Ab	0,40 Aa	0,00 Ab	0,11
<b>Média</b>	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>	<b>0,30</b>	<b>0,00</b>	<b>0,08</b>

<sup>(1)</sup>SR: sem rotação (sequência trigo/soja) e CR: com rotação (nabo forrageiro/milho - aveia preta/soja - trigo/soja)

<sup>(2)</sup>ES: escarificação + gradagens niveladoras, PD: semeadura direta, GP: gradagens aradora + niveladoras e SI: gradagem aradora + aração + gradagens niveladoras. Valores médios seguidos de letras minúsculas iguais, na linha, e maiúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade.

Com o PD, o teor de K da camada 0-5 cm foi significativamente maior do que com o tratamento SI; entretanto, ES, GP e PD apresentaram teores semelhantes entre si (Figura 13). Na camada 5-10 cm, PD e ES foram significativamente superiores ao SI, sendo que o tratamento GP apresentou teor de K semelhante aos verificados para PD e ES. Infere-se, portanto, que sistemas mais conservacionistas (PD e ES) proporcionam maiores condições de acumulação de K nas camadas mais superficiais do que sistemas que se caracterizam por maior revolvimento de solo (SI).

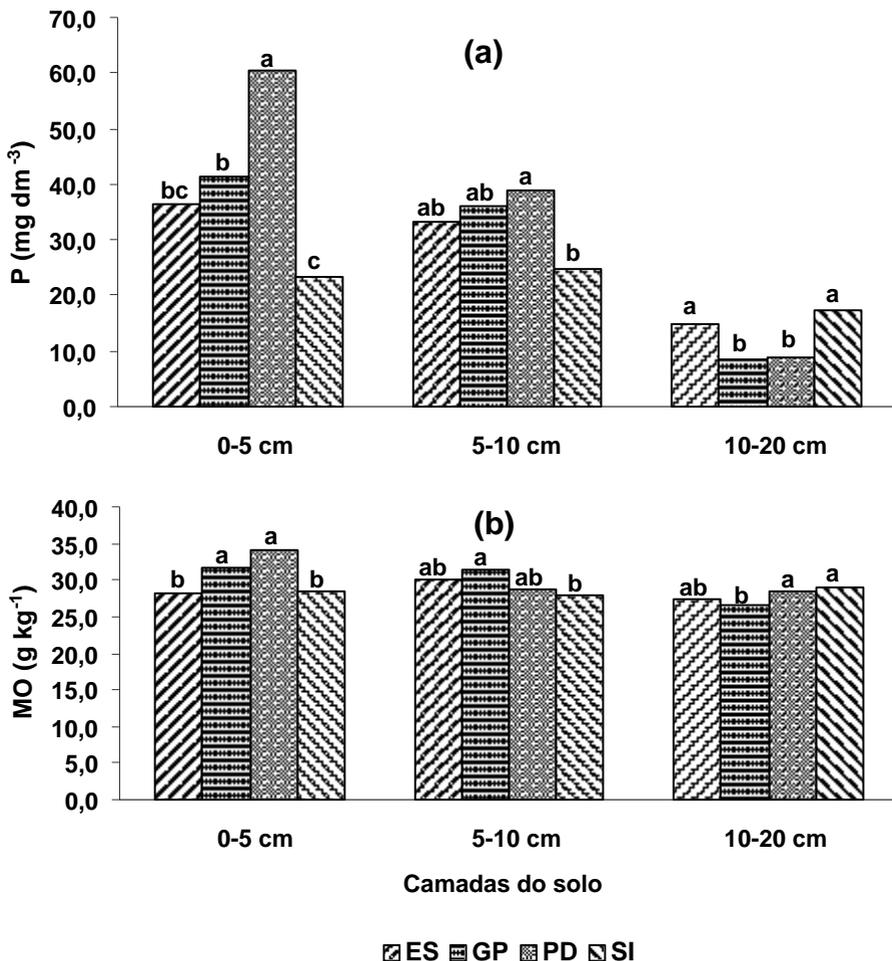


**Figura 13.** Teores de K nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm do Latossolo Vermelho Distroférico, para a avaliação de 1996, nos sistemas de preparo do solo aplicados no verão (ES: escarificação + gradagens niveladoras; PD: semeadura direta; GP: gradagens aradora + niveladoras; SI: gradagem aradora + aração + gradagens niveladoras).

Letras iguais, em cada camada do solo, indicam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Os efeitos diferenciais observados entre PD e SI podem ser explicados, entre outras razões, pela menor intensidade de perdas por erosão hídrica e pela melhoria da fertilidade do solo verificadas no PD em relação ao SI nas primeiras camadas aqui estudadas. Considerando resultados como os de Hernani et al. (1999), entre outros, pode-se afirmar que as perdas por erosão hídrica de K no tratamento PD são significativamente menores do que no SI, aumentando as chances de que, com o PD, esse nutriente seja conservado mais efetivamente onde foi aplicado. O incremento no teor de MO no PD em relação ao SI (Figura 14b) pode incrementar a capacidade de troca de cátions

(CTC) e, conseqüentemente, a capacidade do solo em reter nutrientes, proporcionando condições para incrementos relativos do K na camada 0-5 cm, quando o solo foi manejado com o PD.



**Figura 14.** Teores de P (a) e MO (b) nas camadas 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm do Latossolo Vermelho Distroférico, para a amostragem de 1996, nos sistemas de preparo do solo aplicados no verão (ES: escarificação + gradagens niveladoras; PD: semeadura direta; GP: gradagens aradora + niveladoras; SI: gradagem aradora + aração + gradagens niveladoras).

Letras iguais, para cada variável e cada camada do solo, indicam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

O PD proporcionou incremento significativo no teor de P na camada 0-5 cm em relação aos demais sistemas de preparo (Figura 14a). Na profundidade de 5-10 cm, o teor de P no sistema PD foi superior aos valores medidos nos demais sistemas de preparo, mas não significativamente diferente do GP e ES. O tratamento SI foi mais eficiente do que o PD e GP, em relação ao P da camada 10-20 cm, indicando que aquele sistema, devido ao uso de aração após gradagem pesada, promove maior incorporação do P no perfil do solo do que PD e GP.

O teor de MO na camada 0-5 cm foi significativamente maior no PD do que nos tratamentos ES e SI, mas não houve diferença entre PD e GP (Figura 14b). Na camada 5-10 cm, o GP apresentou maiores teores do que o SI, mas não foi diferente dos demais sistemas de preparo. Nessas camadas mais superficiais o PD tende a manter maior teor de MO, em função da incorporação lenta e gradativa do material orgânico residual da parte aérea das plantas pela fauna, pelo fato das raízes serem mantidas intactas e decompostas naturalmente, ao longo do tempo e, também, conforme demonstraram Hernani et al. (1997, 1999), devido a menores perdas por erosão.

Na camada 10-20 cm todos os sistemas de preparo tenderam a elevar o teor de MO em relação ao valor médio verificado em 1987 (Tabela 1). Nessa camada, o SI foi mais efetivo do que ES e GP, mas não houve diferença entre os teores de MO verificados com os tratamentos SI e PD (Figura 14b). O aumento relativo no teor de MO na camada 10-20 cm com o SI pode ser explicado pela atuação de seus implementos, que promoveram a incorporação de maior quantidade de material orgânico oriundo da parte aérea das plantas, até 20 cm de profundidade do solo, fato que não ocorreu com os demais sistemas de preparo. O desenvolvimento e a manutenção de raízes e a atividade da fauna edáfica pode ter propiciado teor mais elevado no PD do que no GP.

O tratamento sem rotação (SR) cujas culturas (trigo/soja) foram anualmente adubadas tendeu a elevar o teor de P em relação ao CR, visto que a cada ciclo (três anos) do esquema da rotação, em duas das safras de inverno, as culturas não foram adubadas (Tabela 7). Por outro lado, com a rotação (CR) o teor de MO da camada mais superficial foi significativamente maior do que no SR. Resultados semelhantes foram observados por Salton (2005).

**Tabela 7.** Valores médios para teores de P e de matéria orgânica (MO), de amostras compostas obtidas de diferentes camadas do Latossolo Vermelho Distroférico, com ou sem rotação de culturas, em 1996.

Camada (cm)	Rotação de culturas <sup>(1)</sup>	
	SR	CR
	P (mg dm <sup>-3</sup> )	
0-5	44,4 a	36,2 b
5-10	38,6 a	27,8 b
	MO (g kg <sup>-1</sup> )	
0-5	29,6 b	31,8 a

<sup>(1)</sup>SR: trigo/soja e RC: nabo/milho - aveia preta/soja - trigo/soja.

Valores médios seguidos de letras minúsculas iguais, na linha, não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade.

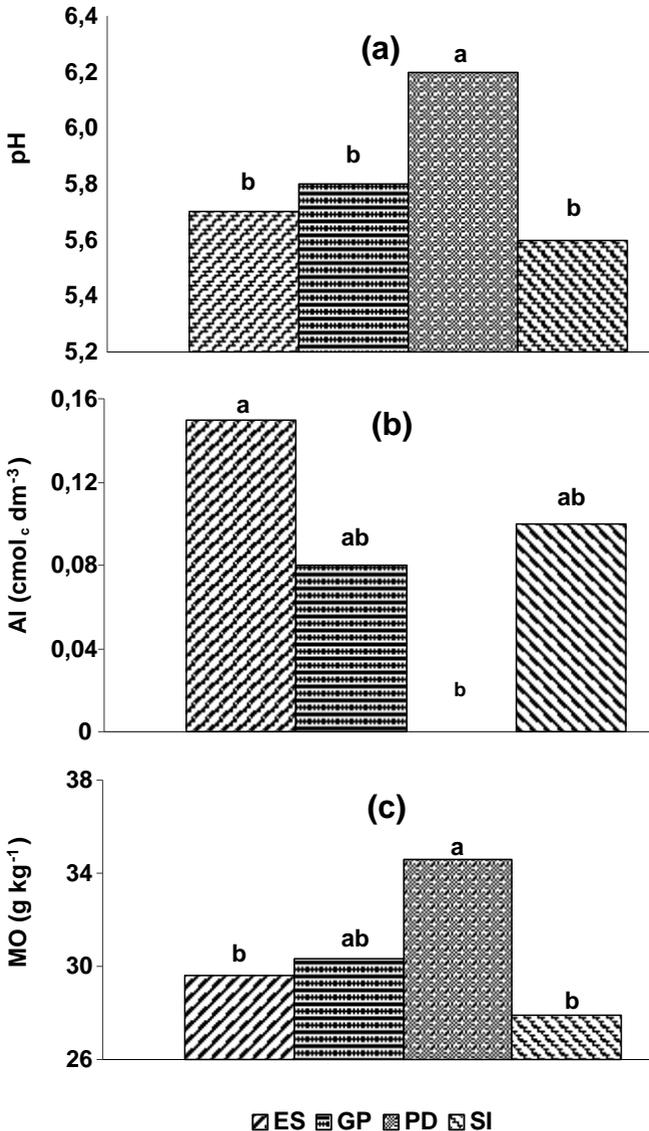
A presença da rotação de culturas proporciona maior aporte de biomassa, com maior relação C:N média do que o sistema trigo/soja, havendo, com isso, incremento no teor de MO da camada superficial neste tratamento comparado ao sem rotação (Tabela 7). Se por um lado o nabo forrageiro, de raízes pivotantes, promove exploração de maior volume de solo, por outro o milho gera expressivo aporte de biomassa mediante resíduos da parte aérea e das raízes, com relação C:N elevada. Como resultado final tem-se incremento na matéria orgânica do solo. Ressalta-se que em função da ausência de incorporação artificial, antrópica e imediata dos resíduos vegetais, com o PD, as raízes vivas e ativas teriam maior efeito sobre o conteúdo de MO e a qualidade física e biológica do solo do que a simples deposição de elevada quantidade de biomassa seca sobre a superfície do terreno. Ainda que essa deposição seja relevante, a incorporação da palha por ação da fauna edáfica será realizada, principalmente, nos primeiros milímetros do solo, de forma bastante lenta e gradual. Portanto, para que o PD possa influir, de forma mais efetiva sobre a MO, é necessário diversificar e introduzir, no modelo de produção, espécies com sistemas radiculares abundantes, fasciculadas e com relação C:N elevada, mediante adequado esquema de rotação de culturas.

Os resultados da análise de variância para os atributos químicos de amostras de solo obtidas em 2003 indicaram que os sistemas de preparo de solo proporcionaram efeitos diferenciais significativos entre si sobre todas as variáveis químicas da camada 0-5 cm, exceto para o caso do Ca. Nas camadas 5-10 cm e 10-20 cm, efeitos diferenciados entre os sistemas de preparo do solo foram observados com Mg, K e P. O tratamento rotação de cultura influenciou o P da camada 10-20 cm e a interação entre sistemas de preparo do solo e rotação de culturas não foi observada nesta época de amostragem. Tal como nas avaliações anteriores (1993 e 1996) os teores de P apresentaram coeficientes de variação elevados, entre 35%-39%, indicando necessidade de prudência na análise dos resultados obtidos com esse nutriente.

Na camada 0-5 cm ocorreram índices de pH em água e teores de Mg, K, P e MO mais elevados com o PD do que com os demais sistemas de preparo do solo (Figuras 15 e 16). O teor de Al (Figura 15b) dessa camada foi menor com o PD do que com o ES, sendo que GP e SI apresentaram valores intermediários. Com relação ao teor de MO (Figura 15c), não se verificou diferenciação entre o PD e o GP.

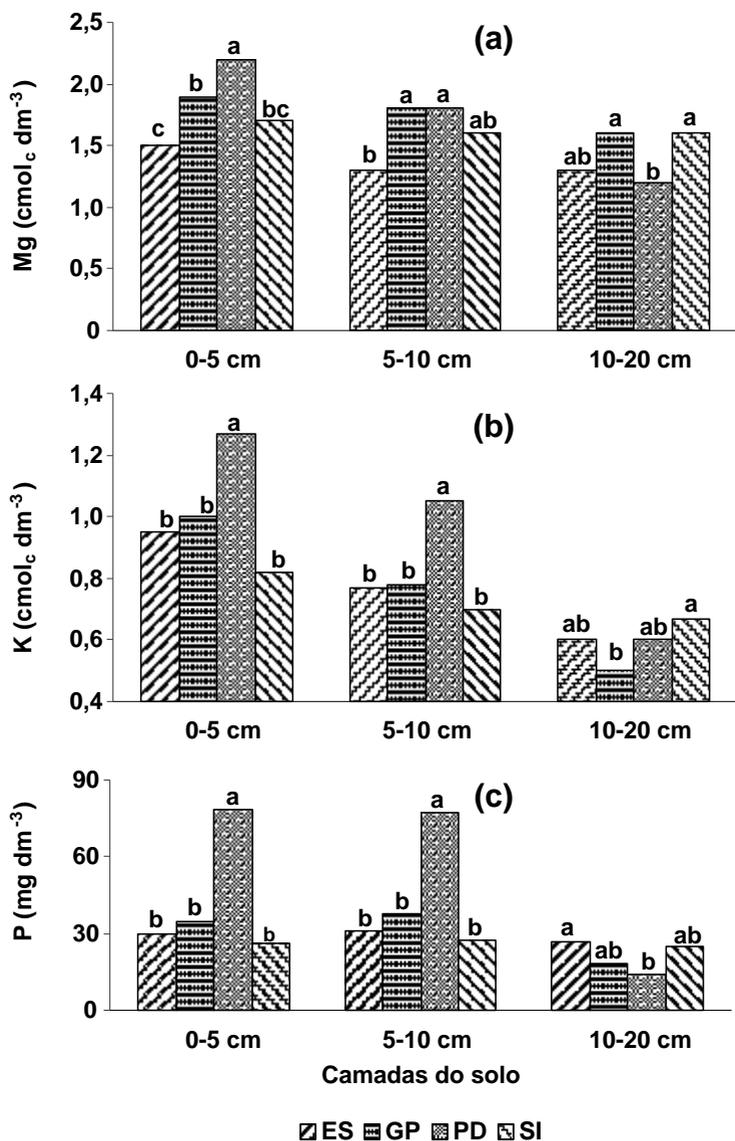
Os teores de Mg da camada 0-5 cm (Figura 16a) e os de K e P (Figuras 16b e c, respectivamente) das camadas 0-5 cm e 5-10 cm foram maiores com o PD do que com os demais tratamentos. Não houve diferença entre PD e GP, os quais superaram o ES em relação ao teor de Mg da camada 5-10 cm, mas na camada 10-20 cm o teor deste nutriente foi menor com o PD do que com o GP e SI, indicando que estes últimos promoveram incorporação mais efetiva desse nutriente.

Em 1996, devido receber adubação na linha duas vezes ao ano, na soja e no trigo, todos os anos, o sistema SR proporcionou maiores teores de P em relação ao CR (em que a adubação ocorreu todos os anos apenas para as culturas de verão e, apenas uma vez a cada três anos para o trigo), sendo que em 2003 esse comportamento foi observado na camada 10-20 cm (Tabela 8).



**Figura 15.** Valores de pH (a) e teores de Al (b) e MO (c) da camada 0-5 cm do Latossolo Vermelho Distroférico, para a avaliação de 2003, nos sistemas de preparo do solo aplicados no verão (ES: escarificação + gradagens niveladoras; PD: semeadura direta; GP: gradagens aradora + niveladoras; SI: gradagem aradora + aração + gradagens niveladoras).

Letras iguais, para cada variável, indicam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.



**Figura 16.** Teores de Mg (a), K (b) e P (c) das camadas 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm do Latossolo Vermelho Distroférico, para a avaliação de 2003, nos sistemas de preparo aplicados no verão (ES: escarificação + gradagens niveladoras; PD: semeadura direta; GP: gradagens aradora + niveladoras; SI: gradagem aradora + aração + gradagens niveladoras).

Letras iguais, para cada variável e cada camada, indicam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

**Tabela 8.** Valores médios para teores de P de amostras compostas obtidas da camada 10-20 cm do Latossolo Vermelho Distroférico, nos sistemas de rotação de culturas, em 2003.

Variável	Camada (cm)	Rotação de culturas <sup>(1)</sup>	
		SR	CR
P (mg dm <sup>-3</sup> )	10-20	24,6 a	17,1 b

<sup>(1)</sup>SR: trigo/soja e CR: nabo/milho - aveia preta/soja - trigo/soja, de 1994 até 2000 e nabo + aveia preta/milho - nabo + aveia preta/soja - trigo/soja, após 2000.

Valores médios seguidos de letras iguais não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade.

Os resultados aqui verificados estão de acordo com os obtidos por Almeida et al. (2008), Silva e Silveira (2002) e Souza e Alves (2003). Trabalhando com um Latossolo Vermelho da região dos Cerrados, Silva e Silveira (2002) observaram que sistemas de preparo, que envolviam menor revolvimento do solo, proporcionaram maior incremento nos teores de P e K de camadas superficiais do solo. A semeadura direta de sistemas de culturas conduzidas em rotação, comparada ao sistema convencional de preparo, proporcionou incrementos na matéria orgânica e no pH dos primeiros dez centímetros de um Latossolo Vermelho (ALMEIDA et al., 2008). Os sistemas plantio direto e cultivo mínimo com culturas anuais levaram a acúmulos significativos de matéria orgânica, P, K, Mg e Ca, maiores índices de pH, CTC efetiva e soma de bases e menores teores de Al, em relação ao preparo convencional, induzindo melhores condições de qualidade ao solo, pois, além da melhoria nas condições químicas, a matéria orgânica manteve-se em níveis similares aos do sistema natural, o cerrado (SOUZA; ALVES, 2003).

## Atributos físicos do solo

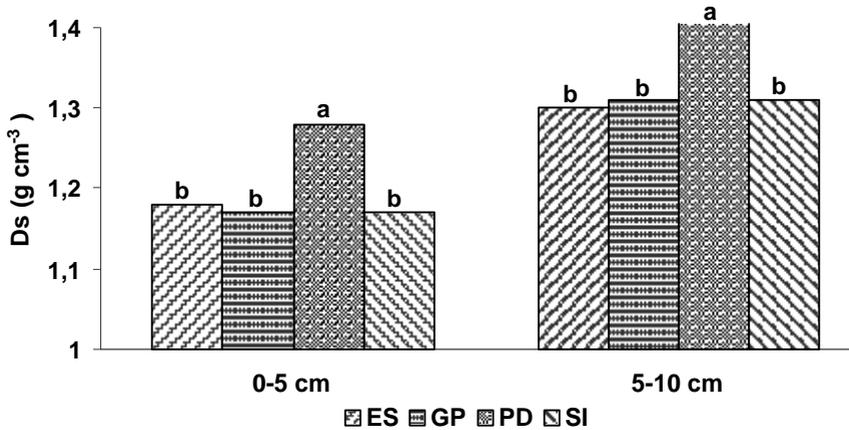
Resultados de análise de variância para alguns atributos físicos do solo, obtidos das camadas 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm, em 1993, indicam que os sistemas de preparo do solo influenciaram significativamente a densidade (Ds) e a porosidade total (Pt) das camadas 0-5 cm e 5-10 cm do solo, enquanto as culturas de inverno influenciaram a macroporosidade (Ma) e a Pt da camada 10 cm-20 cm.

Comparando-se numericamente os valores médios gerais dos atributos físicos obtidos em 1993 para a camada 10-20 cm com os respectivos valores de 1987 (Tabela 1), verifica-se que houve pequena elevação, com o tempo, na Ds e na microporosidade (Mi) e diminuição na Ma e na Pt, indicando ocorrência de processo de adensamento nessa camada, independente do tratamento estudado.

A Ds das camadas 0-5 cm e 5-10 cm, para a avaliação realizada em 1993, cinco anos após o início do experimento, foi maior com o PD do que com os demais sistemas de preparo de solo (Figura 17). As características dos sistemas radiculares e a qualidade e quantidade da cobertura morta (em torno de 4,0 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca) proporcionada pelas culturas, e a ação da semeadora, trabalhando anualmente à mesma profundidade (entre 5-7 cm), podem ter propiciado o incremento da Ds na camada 5-10 cm. Os efeitos verificados pelos sistemas de preparo nessa variável estão relacionados com a porosidade total (Pt) conforme resultados apresentados na Figura 18.

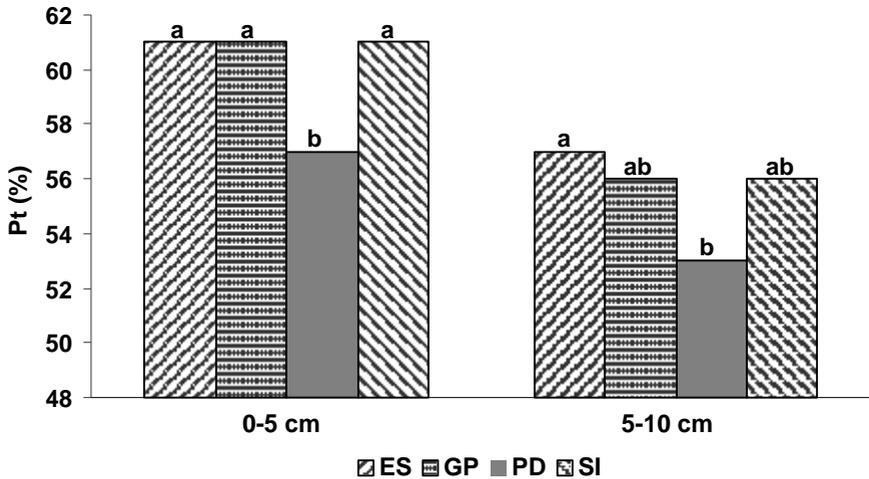
Ressalta-se que embora, com o PD, os valores da Ds na camada 5-10 cm tenham sido, em 1993, superiores aos verificados com os demais sistemas de preparo e, ainda, tenham ficado acima dos valores críticos de 1,33 (KLEIN, 2006) e de 1,30-1,40 g cm<sup>-3</sup> (REICHERT et al., 2003) para esse tipo de solo, o rendimento das culturas das safras subsequentes não foi influenciado negativamente, pois com o PD a produtividade da soja e do milho da safra 1994/95 (Figuras 4 e 5) e da soja da safra 1995/96 (Figura 6) foi significativamente superior aos demais sistemas de preparo.

O PD propiciou diminuição da Pt em relação às demais formas de preparo na camada 0-5 cm (Figura 18) e, na de 5-10 cm esse tratamento proporcionou diminuição da porosidade total em relação ao ES e foi semelhante aos demais sistemas de preparo. Os resultados aqui obtidos diferem dos apresentados por Vieira e Klein (2007), que trabalharam com Latossolo Vermelho, e por Silva et al. (2006), que avaliaram efeitos de sistemas de preparo em atributos físicos de Argissolo Vermelho. Esses autores reportaram que tanto a densidade global quanto a porosidade total não foram influenciadas pelos sistemas de manejo do solo.



**Figura 17.** Densidade do solo (Ds) das camadas 0-5 cm e 5-10 cm do Latossolo Vermelho Distroférico, nos sistemas de preparo aplicados no verão (ES: escarificação + gradagens niveladoras; PD: semeadura direta; GP: gradagens aradora + niveladoras; SI: gradagem aradora + aração + gradagens niveladoras), em 1993.

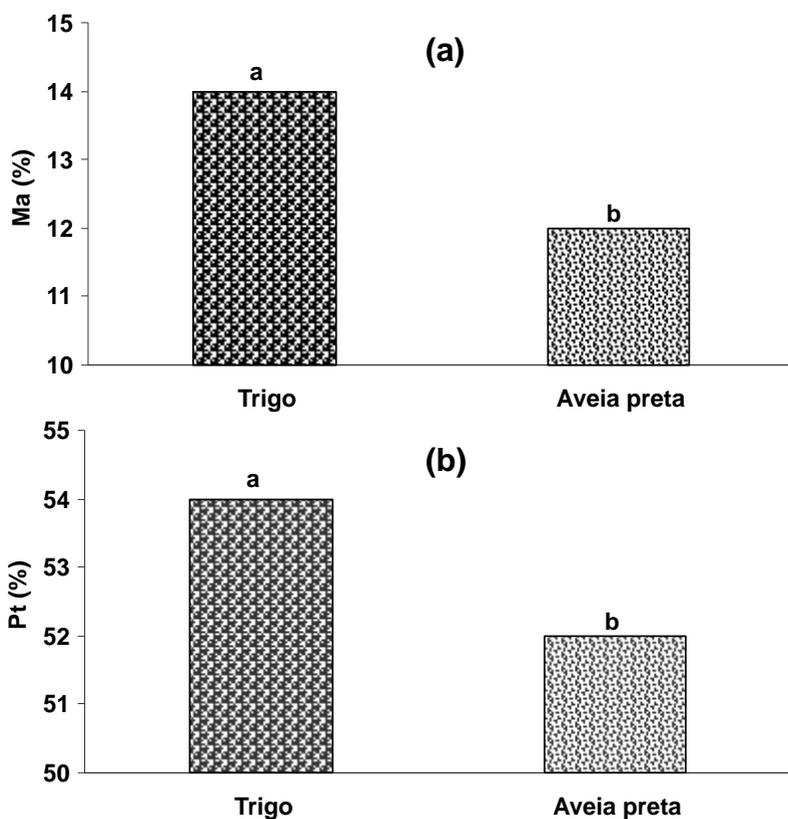
Letras iguais, em cada camada, indicam que sistemas de preparo não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.



**Figura 18.** Porosidade total (Pt) das camadas 0-5 cm e 5-10 cm do Latossolo Vermelho Distroférico, nos sistemas de preparo aplicados no verão (ES: escarificação + gradagens niveladoras; PD: semeadura direta; GP: gradagens aradora + niveladoras; SI: gradagem aradora + aração + gradagens niveladoras) fixando o PD no inverno, em 1993. Letras iguais, em cada camada, indicam que sistemas de preparo não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

As culturas de inverno influenciaram a macro e a porosidade total da camada 10-20 cm (Figura 19). A sucessão trigo/soja proporcionou percentuais médios de Ma e Pt mais elevados do que a aveia/soja, fato que não pode ser explicado pelos resultados obtidos neste trabalho.

Ressalta-se, entretanto, que no solo manejado em PD os valores de Pt (camada 10-20 cm) ainda ficaram acima de 50% e não influenciaram na produtividade geral das culturas estudadas, visto que o rendimento de soja e trigo foi, em geral, maior no PD contínuo (no verão e no inverno) do que nos demais sistemas de preparo.



**Figura 19.** Macroporosidade (Ma,%) (a) e porosidade total (Pt,%) (b) da camada 10-20 cm do Latossolo Vermelho Distroférico, cultivado com trigo e aveia preta, em 1993.

Letras iguais, em cada variável, indicam que o efeito das culturas não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade.

Na amostragem realizada em 1996 não se verificou efeito significativo dos sistemas de preparo do solo ou de rotação de culturas sobre Ds, Ma, Mi e Pt das camadas analisadas. Comparando-se as médias gerais obtidas em 1996 com as de 1993, verifica-se que, em todas as camadas estudadas, houve declínio da Ma e da Pt e aumento da Mi, sugerindo que em termos gerais e ao longo do tempo essas variáveis tendem a sofrer leve declínio em sua qualidade, em todos os sistemas de preparo utilizados.

Todas as classes de agregados estáveis em água obtidas da camada 0-10 cm do solo, em 1996, foram efetivamente influenciadas pelos sistemas de preparo, com exceção dos agregados da classe 4,0-6,35 mm (Tabela 9). As classes 7,93-9,52 mm, 0,5-1,00 mm e < 0,5 mm e o diâmetro médio ponderado (DMP) foram influenciados também pelo sistema de rotação de culturas. A interação entre os tratamentos foi verificada com as classes 7,93-9,52 mm e 1,0-2,0 mm e para o DMP.

**Tabela 9.** Resultados de teste F em função de sistemas de preparo do solo (SP) e de rotação de culturas (RC) para classes e diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados estáveis em água de amostras da camada 0-10 cm do Latossolo Vermelho Distroférrico coletadas em 1996.

Classes de agregados (mm)	Teste F <sup>(1)</sup>			CV (%)
	SP	RC	SPxRC	
7,93-9,52	11,98**	22,73**	4,59*	46,5
6,35-7,93	3,40*	1,51ns	0,58ns	38,0
4,0-6,35	1,62ns	4,34ns	1,64ns	12,4
2,0-4,0	5,23*	1,10ns	2,83ns	15,7
1,0-2,0	6,11**	0,14ns	3,28*	17,8
0,5-1,0	4,77*	17,38**	2,56ns	13,4
< 0,5	9,68**	25,51**	1,67ns	14,0
DMP	10,29**	21,75**	3,58*	21,6

<sup>(1)</sup>Valores para teste F significativos a 1% (\*\*) e a 5% (\*) de probabilidade e não significativos (ns). SP: ES - escarificação + gradagens niveladoras; PD - semeadura direta; GP - gradagens aradora + niveladoras; SI - gradagem aradora + aração + gradagens niveladoras e RC: sem rotação (trigo/soja) e com rotação (nabo forrageiro/milho - aveia preta/soja - trigo/soja) e sem rotação (trigo/soja).

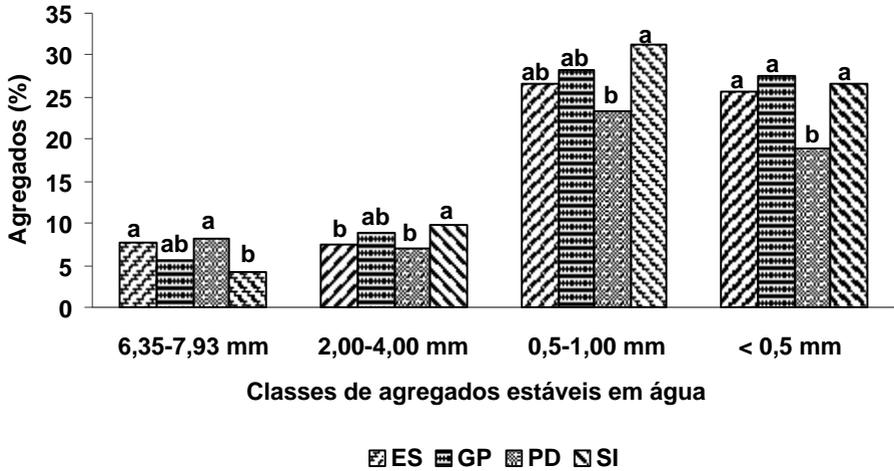
CV = coeficiente de variação.

As classes de agregados 7,93-9,52 mm e 6,35-7,93 mm e o DMP apresentaram precisão experimental relativamente baixa, o que, de certa forma, dificulta a comparação dos efeitos dos tratamentos com relação a essas variáveis; os CV mais elevados não são raros em análises desse tipo, mas, neste caso, podem ser atribuídos também ao longo período de armazenamento das amostras em laboratório até a realização do processo de preparação e peneiramento em água.

O PD, comparado aos demais tratamentos, promoveu diminuição significativa de agregados de menor tamanho (0,5-1,0 mm e < 0,5 mm) e induziu à formação de agregados maiores (Figuras 20 e 21).

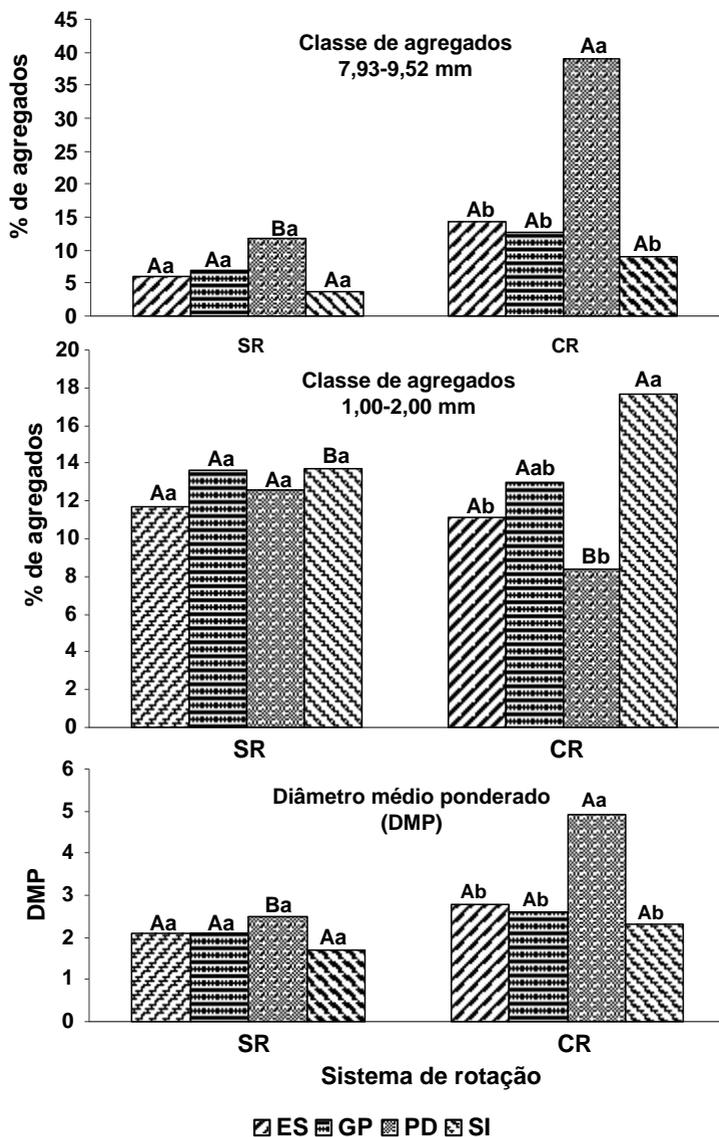
Verifica-se que a preservação dos agregados maiores e a diminuição da geração de agregados de menor tamanho no solo com o PD estão relacionadas com o maior teor de matéria orgânica promovido por sistemas radiculares diversificados, como os que compõem o esquema de rotação de culturas aqui adotado. Os dados da Tabela 10 indicam que a RC proporciona a diminuição de agregados de menor tamanho, ou seja, atua no sentido de elevar a estabilidade dos agregados e impedir que sejam destruídos por ação do impacto das gotas de chuva. Os resultados aqui apresentados estão de acordo com os obtidos por Guimarães (1999) e Hernani e Guimarães (1999).

Com o PD associado à rotação de culturas verificou-se forte efeito na agregação, com incremento dos agregados de maior tamanho (classe 7,93-9,52 mm), que se refletiram no DMP (Figura 21). Além disso, ressalta-se que a interação significativa foi verificada apenas com o PD, efeito não observado com os demais sistemas de preparo em estudo. Com os agregados da classe 1,0-2,0 mm, associados à rotação de cultura, o SI promoveu formação de maior quantidade de agregados, enquanto o PD diminuiu proporcionalmente os agregados dessa classe. Isso sugere que a rotação de culturas associada ao PD é uma combinação que possibilita aumentar o tamanho dos agregados, gerando mais agregados de tamanho maiores e menos agregados de menor tamanho, como os da classe 1,0 mm-2,0 mm. No solo com o sistema SI, a rotação proporcionaria condições para que a desagregação seja amenizada, induzindo a formação de significativo percentual de agregados da classe 1,0-2,0 mm, mas não a de agregados de tamanho maior.



**Figura 20.** Percentuais de agregados estáveis em água das classes 6,35-7,93 mm, 2,0-4,0 mm, 0,5-1,0 mm e < 0,5 mm de amostras da camada 0-10 cm do Latossolo Vermelho Distroférico, obtidas nos sistemas de preparo aplicados no verão (ES: escarificação + gradagens niveladoras; PD: semeadura direta; GP: gradagens aradora + niveladoras; SI: gradagem aradora + aração + gradagens niveladoras) em 1996.

Letras iguais, em cada classe, indicam que sistemas de preparo não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.



**Figura 21.** Percentuais de agregados estáveis em água (classes 7,93-9,52 mm e 1,0-2,0 mm) e DMP da camada 0-10 cm do Latossolo Vermelho Distroférico, para a interação de sistemas de preparo aplicados no verão (ES: escarificação + gradagens niveladoras; PD: semeadura direta; GP: gradagens aradora + niveladoras; SI: gradagem aradora + aração + gradagens niveladoras) e rotação de culturas (SR: trigo/soja e CR: nabo forrageiro/milho nabo forrageiro + a aveia preta/soja trigo/soja) em 1996.

Em cada variável, letras minúsculas comparam sistemas de preparo dentro de cada sistema de rotação; maiúsculas comparam sistemas de rotação dentro de cada preparo do solo; letras iguais indicam que os tratamentos não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade.

**Tabela 10.** Valores percentuais médios para duas classes de agregados com e sem rotação de culturas, em 1996.

Classe de agregados (mm)	Rotação de culturas <sup>(1)</sup>	
	SR	CR
	(%)	
0,5-1,0	30,5 a	29,4 b
< 0,5	24,2 a	22,0 b

<sup>(1)</sup>SR: trigo/soja e RC: nabo forrageiro/milho - aveia preta/soja - trigo/soja.

Valores seguidos de mesma letra, na linha, indicam que tratamentos não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade.

O incremento na estabilidade dos agregados representada pelo DMP resultou das melhores condições físicas, químicas, biológicas e ambientais (maior umidade e temperatura do solo) proporcionadas pela interação PD x rotação de culturas. A melhor qualidade química do solo, o maior aporte de matéria orgânica, a maior atividade biológica no âmbito da rizosfera e a própria ação física dos diversificados sistemas radiculares auxiliaram o crescimento e a estabilização de agregados nos primeiros dez centímetros do solo nesse sistema de manejo.

O aumento de estabilidade de agregados em função da matéria orgânica tem sido explicado por um processo de ligações de compostos orgânicos e partículas minerais e pela ação física das raízes ou de hifas fúngicas (CHENU et al., 1994; TISDALL; OADES, 1982), bem como pela diminuição da entrada de água no agregado, o que reduz a sua quebra por expulsão instantânea de ar (SULLIVAN, 1990).

Aumentos na estabilidade de agregados em água em amostras de Latossolos Vermelhos quando submetidos a sistemas de manejo mais conservacionistas foram diretamente relacionados ao teor de matéria orgânica e à atividade biológica (CAMPOS et al., 1995; DA ROS et al., 1997; TORMENA et al., 2004). A presença de ácidos húmicos, segundo Bastos et al. (2005), tem fundamental importância na agregação do solo, enquanto a não mobilização do solo é preponderante para o incremento da estabilidade de agregados (STONE; SILVEIRA, 2004). Efeitos semelhantes aos resultados aqui verificados foram observados também em outros experimentos de longa duração (CASTRO FILHO et al., 1998; COSTA et al., 2003).

A combinação entre a semeadura direta usada de forma contínua (PD) e o esquema de rotação de culturas com elevada diversificação de sistemas radiculares, proporcionou melhores condições de fertilidade (física e química) do solo, o que resultou em produtividade mais estável e elevada das culturas de soja e trigo.

## Conclusões

A produtividade de soja e de milho foi maior com o plantio direto empregado ininterruptamente, no inverno e no verão, independentemente da cultura antecedente ser trigo ou aveia preta. A aveia preta foi mais eficaz do que trigo quanto à produtividade da soja cultivada subsequentemente, independente do sistema de preparo do solo. A rotação (nabo forrageiro/milho - aveia preta/soja - trigo/soja) foi mais eficaz do que a sequência trigo/soja quanto à produção de soja ou trigo. A interação sistemas de preparo do solo + rotação de cultura foi mais eficaz quando o sistema de preparo foi o plantio direto, efeito este mais evidente com a produção de trigo.

Após os primeiros seis anos de ensaio (1993), o plantio direto (usado com as sequências trigo/soja ou aveia preta/soja) proporcionou apenas maior teor de P da camada 0-5 cm, em relação ao sistema de preparo com gradagem pesada + aração + gradagem niveladora; em 1996 e 2003 o plantio direto incrementou teores de K, P e MO das camadas 0-5 cm e 5-10 cm, enquanto os demais sistemas de preparo promoveram melhor incorporação do calcário, diminuindo teores de Al da camada 10-20 cm em relação ao plantio direto; a rotação (nabo forrageiro/milho - aveia preta/soja - trigo/soja) foi mais eficaz do que a sequência trigo/soja quanto ao teor de MO da camada 0-5 cm.

O plantio direto elevou a densidade do solo e diminuiu a porosidade total das camadas 0-5 cm e 5-10 cm em relação aos demais sistemas de preparo em 1993, efeito não ratificado na avaliação de 1996. O plantio direto, comparado aos demais sistemas de preparo, aumentou os agregados de maior tamanho (classes 7,93-9,52 mm e 6,35-7,93 mm) e o diâmetro médio ponderado e diminuiu os agregados de menor tamanho (classes 1,0-0,5 mm e < 0,5 mm) da camada 0-10 cm do solo; a rotação diminuiu os agregados de

menor tamanho (classes 1,0-0,5 mm e < 0,5 mm) em relação à sequência trigo/soja e a combinação plantio direto + rotação incrementou a porcentagem de agregados de maior tamanho (7,93-9,52 mm) e o diâmetro médio ponderado.

Em suma, a combinação entre o plantio direto e a rotação de culturas melhorou a fertilidade (física e química) do solo, resultando em produtividade mais estável e elevada das culturas de soja e milho.

## **Agradecimentos**

Os autores expressam especiais agradecimentos ao técnico agrícola Mauro Alves Junior, por sua dedicação e apoio na condução das atividades de campo deste trabalho. Agradecem também aos colegas Amoacy Carvalho Fabricio, Carlos Hissao Kurihara, William Marra da Silva, José Pereira, Adão Izidro Aguiar, Ilson França Soares e Angelo Torqueti, que de uma ou de outra forma tornaram possível a manutenção deste experimento de longa duração.

## Literatura Citada

ALMEIDA, V. P. de; ALVES, M. C.; SILVA, E. C. da; OLIVEIRA, S. A. de. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em Latossolo Vermelho de cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3,

BASTOS, R. S.; MENDONÇA, E. de S.; ALVAREZ V., V. H.; CORRÊA, M. M. Formação e estabilização de agregados do solo decorrentes da adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 11-20, jan./abr. 2005.

CAMPOS, B. C. de; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 121-126, jan./abr. 1995.

CARVALHO, M. A. C. de; ATHAYDE, M. L. F.; SORATTO, R. P.; ALVES, M. C.; ARF, O. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema plantio direto e convencional em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 9, n. 11, p. 141-1148, nov. 2004.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PADANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 3, p. 527-538, jul./set. 1998.

CHENU, C.; GUÉRIF, J.; JAUNET, A. M. Polymer bridging: a mechanism of clay and soil structure stabilization by polysaccharides. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 15., 1994, Acalpulco. **Proceedings...** Acalpulco: ISSS, 1994. p. 403-410.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 33, n. 6, p. 1161-1164, nov./dez. 2003.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212 p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 527-535, maio/jun. 2003.

DA ROS, C. O.; SECCO, D.; FIORIN, J. E.; PETRERE, C.; CADORE, M. A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 241-247, abr./jun. 1997.

GUIMARÃES, J. B. R. **Efeitos de sistemas de manejo de um Latossolo Roxo em seus atributos físicos e químicos e na produtividade de soja (*Glycine max*, L. Merrill)**. 1999. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Dourados.

HERNANI, L. C.; GUIMARÃES, J. B. R. Efeitos de sistemas de preparo do solo e rotação de culturas em atributos físicos de um Latossolo Roxo. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14., 1999, Pucon. **CLACS 99**: suelo, ambiente, vida. Pucon: Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo: Universidad de la Frontera, [1999?]. 1 CD-ROM.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 1, p. 145-154, jan./mar. 1999.

HERNANI, L. C.; SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. C.; DEDECEK, R.; ALVES JUNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, n. 4, p. 667-676, out./dez. 1997.

KLEIN, V. A. Densidade relativa - um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, ano 5, v. 5, n. 1, p. 26-32, jan./jun. 2006.

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 Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 97-104, jan./mar. 2000.

PRADO, R. M.; NATALE, W. Alterações na granulometria, grau de flocculação e propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico, sob plantio direto e reflorestamento. **Acta Scientiarum**: agronomy, Maringá, v. 25, n. 1, p. 45-52, jan./jun. 2003.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, RS, v. 27, p. 29-48, 2003.

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 2005. 158 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; PRESTES, A. M.; LIMA, M. R. Efeito de manejos de solo e de rotação de culturas de inverno no rendimento e doenças de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 12, p. 2355-2361, dez. 2000.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; SPERA, S. T. Rendimento de grãos de soja em função de diferentes sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 36, n. 1, p. 21-29, jan./fev. 2006.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O.; KOCHHANN, R. A. Rendimento de grãos de milho em função de diferentes sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 9, n. 3, p. 251-256, jul./set. 2003.

SILVA, C. C. da; SILVEIRA, P. M. da. Influência de sistemas agrícolas em características químico-físicas do solo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 3, p. 505-515, maio/jun. 2002.

SILVA, M. A. S. da; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, A.; ROSA, J. D.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 329-337, jan./fev. 2006.

SOUZA, Z. M. de; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 133-139, jan./fev. 2003.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Atributos físicos-hídricos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes preparos e rotações de culturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AFRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro, SP. **A inserção da engenharia agrícola em projetos nacionais:** caderno de resumos. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2004. p. 50-51.

SULLIVAN, L. A. Soil organic matter, air encapsulation and water stable aggregation. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 41, n. 3, p. 529-534, Sept. 1990.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, n. 2, p. 141-163, June 1982.

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 1023-1031, nov./dez. 2004.

VIEIRA, L. V.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1271-1280, nov./dez. 2007.

**Embrapa**

---

**Agropecuária Oeste**

**Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**

