

# AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM CONSÓRCIO DE FORRAGEIRAS E MILHO EM SUCESSÃO COM SOJA EM REGIÃO DE CERRADOS<sup>(1)</sup>

Veridiana Zocoler de Mendonça<sup>(2)</sup>, Luiz Malcolm Mano de Mello<sup>(3)</sup>, Marcelo Andreotti<sup>(3)</sup>, Francisco Cezar Belchor Lages Pereira<sup>(2)</sup>, Ronaldo Cintra Lima<sup>(2)</sup>, Walter Veriano Valério Filho<sup>(4)</sup> & Élcio Hiroyoshi Yano<sup>(3)</sup>

## RESUMO

O uso intensivo de áreas do Cerrado para produção agropecuária aliado ao manejo inadequado tem causado degradação dos solos. Nesse sentido há necessidade da incorporação de sistemas sustentáveis como plantio direto e a integração lavoura-pecuária. Este trabalho objetivou identificar o efeito da sucessão de milho+forrageiras e soja nos atributos físicos do solo. Para tanto foi realizado, em área experimental da Unesp, campus de Ilha Solteira, um ensaio composto do consórcio de milho com quatro forrageiras (*Brachiaria brizantha*, *B. ruziziensis*, *Panicum maximum* cv. Tanzânia e *P. maximum* cv. Áries) semeadas em três modalidades (na linha de semeadura do milho misturada ao adubo, a lanço simultânea à semeadura do milho e a lanço no estágio V4 do milho) e o milho sem consorciação (testemunha). A soja de verão foi implantada sobre os restos culturais dos tratamentos anteriores. Foram realizadas coletas para determinar a macro e microporosidade, porosidade total e densidade do solo em duas épocas de amostragem, após as colheitas do milho e da soja. Pelos resultados, pôde-se concluir que, em regiões de cerrados, a sucessão de culturas utilizada promoveu a melhoria da macroporosidade, porosidade total e densidade do solo, independentemente da utilização de forrageiras em consórcio com milho.

**Termos de indexação:** sistemas conservacionistas, plantio direto, sucessão de culturas, física do solo.

---

<sup>(1)</sup> Extraído da dissertação de mestrado da primeira autora. Recebido para publicação em 11 de maio de 2012 e aprovado em 11 de dezembro de 2012.

<sup>(2)</sup> Pós-graduandos em Agronomia (Sistemas de Produção) da Faculdade de Engenharia, UNESP. Av. Brasil, 56, Centro. CEP 15.385-000 Ilha Solteira (SP). E-mail: veridianazm@yahoo.com.br; franciscocezarbl@gmail.com; rclima@agr.feis.unesp.br

<sup>(3)</sup> Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia, UNESP. E-mail: malcolm@agr.fes.unesp.br; dreotti@agr.feis.unesp.br; elcio@agr.feis.unesp.br

<sup>(4)</sup> Departamento de Matemática, Faculdade de Engenharia, UNESP. E-mail: wvfvf@mat.feis.unesp.br

**SUMMARY: EVALUATION OF SOIL PHYSICAL PROPERTIES IN A FORAGE-CORN INTERCROPPING IN SUCCESSION WITH SOYBEAN IN THE CERRADO REGION**

*The intensive use of Cerrado soils for agricultural production coupled with an inadequate management has resulted in soil degradation. This created the need for the introduction of more sustainable systems such as no-tillage and crop-livestock integration. This study analyzed the effect of succession of corn+forage and soybean on soil physical properties. For this purpose, four forages (Brachiaria brizantha, B. ruziziensis, Panicum maximum cv. Tanzânia, and P. maximum cv. Áries), were sown in an intercropping trial with maize in three modalities (in the corn row mixed with fertilizer; broadcast at corn sowing; and broadcast in corn stage V4) and corn without intercropping (control), in the experimental area of UNESP, campus Ilha Solteira. Summer soybean was sown on the crop remains of previous treatments. To determine macro and microporosity, total porosity and bulk density soil was sampled twice, after the maize and after the soybean harvest. From the results, it was concluded that in Cerrado region, the crop succession improved soil macroporosity, total porosity and bulk density, regardless of the use of forages intercropped with maize.*

*Index terms: conservation systems, tillage, crop succession, soil physics.*

## INTRODUÇÃO

O uso intensivo de áreas no Cerrado para a produção agropecuária, aliado a técnicas impróprias de manejo do solo, tem causado degradação da estrutura do solo, influenciando negativamente o desenvolvimento vegetal e predispondo o solo à degradação (Stone & Guimarães, 2005). Essa ocupação e utilização de áreas agrícolas necessitam da adoção de novas tecnologias fundamentadas em bases conservacionistas como o sistema plantio direto (SPD), a rotação de culturas e a integração lavoura-pecuária.

A adoção de medidas conservacionistas de manejo e uso do solo, que visem racionalizar o uso de máquinas e promover maior conservação do solo, tem-se apresentado como alternativas para contribuir com a sustentabilidade econômica e ambiental do agroecossistema (Silva et al., 2000).

Santos et al. (2008) afirmaram que o sucesso desses sistemas no Cerrado deve-se ao fato de que a palhada, acumulada pelas plantas de cobertura ou das pastagens e restos culturais de lavouras comerciais, proporciona ambiente favorável à recuperação ou manutenção das propriedades do solo. A formação de palha é fundamental para a proteção, estruturação e redução da erosão, por meio de sistemas radiculares capazes de permitir a manutenção do solo em densidades adequadas ao desenvolvimento radicular das culturas (Bortolini, 2005).

O sistema de integração agricultura-pecuária pode melhorar as condições físicas e químicas do solo em razão da maior produção de palha proporcionada pelo consórcio, o que melhora a cobertura do solo, promove aporte de matéria orgânica, favorece a infiltração de

água, permite maior exploração do perfil do solo pelas raízes, promove a diminuição do processo erosivo e consequentemente mantém a estabilidade do sistema (Chioderoli, 2010). A inclusão de pastagens na rotação de culturas provoca melhoria da qualidade física do solo por causa da combinação de três efeitos principais: ausência de preparo durante o ciclo da pastagem, presença de um denso sistema radicular atuando como agente agregante e aumento da atividade da macrofauna do solo (Marchão, 2007).

Em áreas de SPD, em razão da menor mobilização do solo, a compactação superficial e a redução da macroporosidade do solo são comuns. Diante disso, formulou-se a hipótese de que a palhada de forrageiras consorciadas com milho contribuiria para melhoria da qualidade física do solo por causa da alta densidade de raízes e cobertura vegetal em superfície, de maneira que os consórcios proporcionariam melhores condições físicas do solo para a cultura em sucessão, comparados ao cultivo de milho exclusivo, e que as forrageiras do gênero *Panicum* proporcionariam melhor condicionamento físico do solo. Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da palhada dos consórcios de forrageiras com milho e da soja como cultura sucessora sobre os atributos físicos do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

No ano agrícola 2010/11, em área irrigada, foi realizado o experimento na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP, localizada no município de Selvíria, MS, com altitude local de 350 m e 4 % de

declividade. O solo, anteriormente ocupado com Cerrado, foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico, textura argilosa; o clima da região é tipo Aw. A área experimental estava sendo conduzida em SPD há 10 anos. Antes da instalação do experimento, foi realizada a caracterização física para determinar a macro e microporosidade, porosidade total (método da mesa de tensão), densidade do solo (método do anel volumétrico) e os teores de areia, silte, e argila (método da pipeta) nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20; e 0,20-0,30 m, em uma amostra composta por 20 pontos da área experimental (Quadro 1), conforme Embrapa (1997).

A soja (M-SOY 7908 RR) de verão foi semeada em 20/11/2010 sobre a palhada dos tratamentos da safra de outono (2010). Os tratamentos anteriores à cultura da soja foram constituídos do consórcio de milho com quatro forrageiras: *Brachiaria brizantha*, *B. ruziziensis*, *Panicum maximum* cv. Tanzânia e *P. maximum* cv. Áries e três modalidades de semeadura das forrageiras: forrageiras semeadas na linha de semeadura do milho, misturadas ao adubo; sementes da forrageira semeadas a lanço simultâneo à semeadura do milho; sementes da forrageira a lanço semeadas na época de adubação de cobertura do milho, no estádio V4; e o milho sem consorciação (testemunha).

Cada parcela experimental foi constituída de sete linhas espaçadas a 0,45 m, de 18 m de comprimento e carregadores de 15 m entre os blocos experimentais para manobras das máquinas. Para a instalação do experimento, foi utilizada semeadora-adubadora com distribuição pneumática de sementes, de arrasto, configurada com discos de corte frontais, sulcadores para deposição de adubo do tipo haste e discos duplos desencontrados para deposição de sementes, com rodas compactadoras em “V”, com sete linhas.

Os atributos físicos do solo foram determinados em monólitos indeformados, coletados em anéis de volume conhecido, com diâmetro de 5,55 cm e 4,10 cm de altura, retirados com amostrador de Uhland adaptado, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, de acordo com Embrapa (1997). Para as determinações de macro e microporosidade, utilizou-se o método da mesa de tensão com coluna d'água de 0,60 m; a densidade do solo (Ds) foi determinada pelo

método do anel volumétrico (Embrapa, 1997). A porosidade total foi calculada pela soma dos valores de macro e microporosidade do solo.

As coletas de solo foram realizadas em duas épocas: após a colheita do milho (08/11/2010) e a da soja (05/04/2011). No delineamento de blocos casualizados, adotou-se o esquema fatorial 4 x 3 x 2 para análise dos consórcios, sendo quatro forrageiras, três modalidades de semeadura e duas épocas de amostragem, o que possibilitou analisar os efeitos isolados de cada fator do consórcio (forrageira e modalidade de semeadura). Para comparar com o milho em cultivo exclusivo (testemunha) foi adotado o fatorial 13 x 2, constituindo 12 combinações de consórcio mais a testemunha (13 tratamentos) em duas épocas de amostragem; nesse caso, o interesse está na análise conjunta dos fatores de consórcio em relação à testemunha, ou seja, se alguma combinação estudada apresentasse diferença em relação à testemunha. Os tipos de análises de dados utilizados permitem a avaliação completa dos possíveis efeitos entre os fatores estudados. Os dados foram submetidos ao teste F no programa Assisat e realizado o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), para comparação das médias. Para as interações significativas, foi apresentado o desdobramento apenas quando constatada a diferença entre as médias.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os valores de macroporosidade na camada de 0-0,10 m, foi observado efeito significativo para as épocas de amostragem, com incremento na fração de macroporos da primeira para segunda amostragem (Quadro 2). Na camada de 0,10-0,20 m, a significância ocorreu para as modalidades de semeadura e épocas de amostragens, assim como a interação entre forrageiras e épocas de amostragens (F x E). Em relação à semeadura das forrageiras, a modalidade na linha diferiu da modalidade a lanço simultânea ao milho, porém não diferindo da modalidade a lanço em V4. Para a interação F x E, desdobramento apresentado no quadro 3, houve diferença significativa quanto à época de amostragem. Para todas as

**Quadro 1. Caracterização física do solo da área experimental, amostrada nas camadas de 0-0,1; 0,1-0,2; e 0,2-0,3 m, realizada em maio de 2010**

Profundidade	Porosidade do solo			Ds	Areia	Argila	Silte
	Macro	Micro	Total				
m	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			kg dm <sup>-3</sup>	g kg <sup>-1</sup>		
0-0,10	0,071	0,338	0,420	1,51	420	530	50
0,10-0,20	0,077	0,340	0,423	1,50	405	540	55
0,20-0,30	0,085	0,340	0,422	1,51	370	565	65

forrageiras empregadas nos consórcios, os valores de macroporos obtidos após a colheita da soja foram superiores aos constatados após a colheita do milho, pois, possivelmente nessa época, as raízes das forrageiras encontravam-se em estágio de decomposição mais avançado por causa do diferencial de tempo entre a colheita do milho (outubro) e a colheita da soja (março) e da maior ocorrência de precipitação pluvial e temperaturas mais elevadas, corroborando com Chioderoli et al. (2012), os quais verificaram que os valores de macroporos na amostragem após a colheita da soja foram superiores, quando comparados com a amostragem anterior ao consórcio de milho outonal com *B. brizantha*, *B. ruziziensis* e *B. decumbens* e após a colheita do milho. Para a camada de 0,20-0,30 m não houve diferença significativa para os fatores e interações em análise.

Do ponto de vista de manejo para a conservação do solo, Spera et al. (2009) afirmaram que o aumento de macroporos é o aspecto mais importante e o valor do volume de macroporos menor que  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  torna-se crítico, conforme citado por Lanzasova et al. (2007);

no entanto, os valores obtidos abaixo de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , neste trabalho, não interferiram na produção de milho e soja, que atingiram altas médias de produtividade.

Para a microporosidade, a camada de 0,20-0,30 m não apresentou diferença significativa para os fatores, tampouco nas interações (Quadro 2). Na camada de 0-0,10 m, houve significância para a interação tripla, notando-se pelo desdobramento (Quadro 4) que há entre as forrageiras *B. ruziziensis* e *P. maximum* cv. Áries que se diferiram entre as modalidades de semeadura; no entanto, os maiores valores de microporosidade após a colheita do milho, em geral, foram obtidos quando se utilizou a modalidade na linha de semeadura do milho. Para os resultados amostrados após a colheita da soja, não foram verificadas diferenças significativas entre forrageiras e modalidades de semeadura e, para as épocas de amostragem, somente o consórcio com *P. maximum* cv. Áries, semeado na linha, apresentou diferença com valor superior na coleta após a colheita do milho.

A microporosidade na camada de 0,10-0,20 m apresentou diferença significativa na interação entre

**Quadro 2. Valores médios de macro e microporosidade avaliadas nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m em razão da forrageira e modalidade de semeadura em duas épocas de amostragem**

Fator de variação	Profundidade (m)					
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,02-0,30	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30
	Macroporosidade			Microporosidade		
	$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$					
Forageira						
<i>B. brizantha</i>	0,069	0,065	0,089	0,328	0,331	0,340
<i>B. ruziziensis</i>	0,060	0,066	0,087	0,328	0,332	0,336
<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	0,065	0,067	0,085	0,328	0,329	0,336
<i>P. maximum</i> cv. Áries	0,071	0,067	0,086	0,330	0,330	0,335
Modalidade						
Linha	0,063	0,070 a	0,088	0,331	0,329	0,335
Lanço	0,067	0,062 b	0,086	0,328	0,332	0,338
Lanço V4	0,069	0,067 ab	0,086	0,326	0,330	0,340
Época						
Após a colheita do milho	0,062 b	0,060	0,086	0,330	0,333	0,336
Após a colheita da soja	0,071 a	0,073	0,087	0,327	0,327	0,337
	Valor F					
Forageira (F)	1,6749 <sup>ns</sup>	0,0996 <sup>ns</sup>	0,3585 <sup>ns</sup>	0,2266 <sup>ns</sup>	0,4416 <sup>ns</sup>	0,9908 <sup>ns</sup>
Modalidade (M)	0,7537 <sup>ns</sup>	3,4741*	0,1230 <sup>ns</sup>	2,0932 <sup>ns</sup>	0,8930 <sup>ns</sup>	0,8901 <sup>ns</sup>
Época (E)	5,3928*	25,2163**	0,1689 <sup>ns</sup>	3,0318 <sup>ns</sup>	14,3020**	0,0655 <sup>ns</sup>
Interação (F×M)	1,6154 <sup>ns</sup>	1,0768 <sup>ns</sup>	2,2101 <sup>ns</sup>	0,6322 <sup>ns</sup>	1,1174 <sup>ns</sup>	1,0577 <sup>ns</sup>
Interação (F×E)	1,4941 <sup>ns</sup>	0,0262*	1,5474 <sup>ns</sup>	0,4124 <sup>ns</sup>	0,0694*	0,6470 <sup>ns</sup>
Interação (M×E)	2,1705 <sup>ns</sup>	0,3421 <sup>ns</sup>	1,2972 <sup>ns</sup>	0,9428 <sup>ns</sup>	0,2861 <sup>ns</sup>	0,3121 <sup>ns</sup>
Interação (F×M×E)	0,8975 <sup>ns</sup>	0,5474 <sup>ns</sup>	0,7575 <sup>ns</sup>	2,8436*	1,5515 <sup>ns</sup>	0,3899 <sup>ns</sup>
CV (%)	28,09	18,67	16,62	2,76	2,35	2,96

\*\* (p<0,01); \* (p<0,05); e <sup>ns</sup> (não significativo). Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

forrageiras e épocas de amostragem (F x E) (Quadro 2). Conforme desdobramento apresentado no quadro 3, foram observadas diferenças para *B. ruziziensis*, *P. maximum* cv. Tanzânia e *P. maximum* cv. Áries entre as épocas de amostragens, com menor volume de microporos após a colheita da soja.

Lanzanova et al. (2007), avaliando alterações em algumas propriedades físicas do solo, evidenciaram, na camada de 0-0,05 m, que a ação do sistema

**Quadro 3. Valores médios do desdobramento de macro e microporosidade na camada de 0,10-0,20 m entre forrageiras e épocas de amostragem**

Forrageira	Macroporosidade		Microporosidade	
	Época, após a colheita			
	Do milho	Da soja	Do milho	Da soja
	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			
<i>B. brizantha</i>	0,059 B	0,071 A	0,333 A	0,328 A
<i>B. ruziziensis</i>	0,059 B	0,073 A	0,335 A	0,328 B
<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	0,060 B	0,073 A	0,332 A	0,326 B
<i>P. maximum</i> cv. Áries	0,061 B	0,073 A	0,333 A	0,327 B

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

**Quadro 4. Valores médios do desdobramento de microporosidade na camada de 0-0,10 m entre forrageiras, modalidades de semeadura e épocas de amostragem**

Forrageira	Modalidade de semeadura		
	Linha	Lanço	Lanço V4
	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>		
	Após a colheita do milho		
<i>B. brizantha</i>	0,332 AaI	0,327 AaI	0,329 AaI
<i>B. ruziziensis</i>	0,337 AaI	0,331 AaI	0,319 AbI
<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	0,328 AaI	0,334 AaI	0,332 AaI
<i>P. maximum</i> cv. Áries	0,343 AaI	0,326 AbI	0,330 AaI
	Após a colheita da soja		
<i>B. brizantha</i>	0,332 AaI	0,328 AaI	0,323 AaI
<i>B. ruziziensis</i>	0,325 AaI	0,331 AaI	0,327 Aa I
<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	0,333 AaI	0,322 AaI	0,322 AaI
<i>P. maximum</i> cv. Áries	0,322 AaII	0,328 AaI	0,333 AaI

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha para efeito das forrageiras, maiúscula na coluna para efeito das modalidades de semeadura e algarismo romano para efeito entre as épocas de amostragem, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

radicular da soja proporcionou valores de macroporosidade ligeiramente superiores aos verificados nas pastagens em rotação com o milho; entretanto, quando a cultura antecessora foi o milho, os valores de microporosidade foram incrementados. Segundo esses autores, tais alterações observadas, embora de baixa magnitude, foram provavelmente provenientes da ação diferenciada do sistema radicular das plantas pertencentes às famílias botânicas, não apenas pelo crescimento e pela ação das raízes dessas plantas serem diferenciados, mas também pela massa de raízes por volume de solo, ou seja, pela densidade radicular bem como pela distribuição espacial.

Na análise dos tratamentos de consórcio comparados ao milho exclusivo (testemunha), para macroporosidade foram obtidas diferenças significativas para as épocas de amostragem na camada de 0-0,10 m, evidenciando que após a colheita da soja houve aumento dos valores de macroporos (Quadro 5). Na camada de 0,10-0,20 m, ocorreram diferenças significativas para a interação entre tratamentos e épocas de amostragem (T x E) apresentadas no quadro 6, sendo os consórcios de *P. maximum* cv. Tanzânia, na modalidade a lanço simultâneo ao milho, e *P. maximum* cv. Áries, na linha de semeadura do milho, os tratamentos que resultaram em diferenças significativas em relação à época de amostragem, também com maiores valores de macroporos após a colheita da soja.

Neste estudo, não foi verificada diferença entre os tratamentos, mesmo aquele em que o milho não foi cultivado em consórcio; provavelmente, pelo fato da área experimental estar sob plantio direto há 10 anos. É possível que nesse período tenha ocorrido uma reestruturação do solo pelo desenvolvimento do SPD em consequência do aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial (Spera et al., 2009); contudo, a utilização de espécies com diferenças morfológicas no sistema radicular, como gramíneas e leguminosas, evidenciaram resultados positivos independentemente da utilização de forrageiras em consórcio com milho.

Para microporosidade, na comparação entre os tratamentos estudados, foram observadas diferenças para a camada 0,10-0,20 m quanto às épocas de amostragem. Nesse caso, a microporosidade verificada na amostragem após a colheita da soja foi inferior àquela obtida na amostragem após a colheita do milho; no entanto, a diferença de 0,6 % pode ser pouco expressiva quando analisada sua influência no sistema. Pantano (2003) e Chioderoli (2010), na mesma região de estudo deste experimento, em consórcio de milho com espécies do gênero *Brachiaria*, não obtiveram diferença para este atributo físico do solo.

O resultado da análise de porosidade total está apresentado no quadro 7. Para esse atributo, na camada de 0-0,10 m houve diferenças significativas entre as forrageiras; *P. maximum* cv. Áries foi a forrageira que proporcionou maior porosidade total,

**Quadro 5. Valores médios de macro e microporosidade avaliados nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m em razão dos tratamentos e épocas de amostragem**

Fator de variação		Profundidade (m)					
		0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30
		Macroporosidade			Microporosidade		
		$m^3 m^{-3}$					
Tratamento							
<i>B. brizantha</i>	Linha	0,060	0,064	0,095	0,332	0,329	0,338
<i>B. brizantha</i>	Lanço	0,069	0,064	0,095	0,327	0,333	0,340
<i>B. brizantha</i>	Lanço V4	0,080	0,061	0,076	0,326	0,329	0,341
<i>B. ruziziensis</i>	Linha	0,057	0,069	0,084	0,331	0,327	0,333
<i>B. ruziziensis</i>	Lanço	0,059	0,057	0,089	0,331	0,334	0,337
<i>B. ruziziensis</i>	Lanço V4	0,065	0,073	0,089	0,323	0,334	0,339
<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	Linha	0,061	0,067	0,086	0,330	0,328	0,380
<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	Lanço	0,063	0,064	0,081	0,328	0,332	0,342
<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	Lanço V4	0,071	0,070	0,087	0,327	0,327	0,335
<i>P. maximum</i> cv. Áries	Linha	0,076	0,073	0,086	0,332	0,332	0,339
<i>P. maximum</i> cv. Áries	Lanço	0,078	0,063	0,079	0,327	0,327	0,335
<i>P. maximum</i> cv. Áries	Lanço V4	0,060	0,065	0,092	0,331	0,331	0,333
Milho sem consorciação		0,063	0,068	0,089	0,326	0,324	0,340
Época							
Após a colheita do milho		0,062 b	0,060	0,086	0,330	0,333 a	0,337
Após a colheita da soja		0,071 a	0,073	0,088	0,327	0,327 b	0,337
		Valor F					
Tratamento (T)		1,4619 <sup>ns</sup>	1,1320 <sup>ns</sup>	1,3003 <sup>ns</sup>	0,7693 <sup>ns</sup>	1,2245 <sup>ns</sup>	0,9233 <sup>ns</sup>
Época (E)		5,8937*	27,7615**	0,2471 <sup>ns</sup>	3,7963 <sup>ns</sup>	14,6826**	0,1186 <sup>ns</sup>
Interação (T x E)		1,2661 <sup>ns</sup>	0,3396*	1,0468 <sup>ns</sup>	1,6777 <sup>ns</sup>	0,8268 <sup>ns</sup>	0,3937 <sup>ns</sup>
CV (%)		27,32	18,82	16,13	2,79	2,38	3,04

\*\* (p<0,01); \* (p<0,05); e <sup>ns</sup> (não significativo). Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

**Quadro 6. Valores médios do desdobramento de macroporosidade na camada de 0,10-0,20 m entre os tratamentos e épocas de amostragem**

Tratamento		Época	
		Após a colheita do milho	Após a colheita da soja
		$m^3 m^{-3}$	
<i>B. brizantha</i>	Linha	0,066 A	0,075 A
<i>B. brizantha</i>	Lanço	0,058 A	0,070 A
<i>B. brizantha</i>	Lanço V4	0,053 A	0,069 A
<i>B. ruziziensis</i>	Linha	0,061 A	0,076 A
<i>B. ruziziensis</i>	Lanço	0,051 A	0,064 A
<i>B. ruziziensis</i>	Lanço V4	0,066 A	0,079 A
<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	Linha	0,061 A	0,074 A
<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	Lanço	0,053 B	0,074 A
<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	Lanço V4	0,067 A	0,072 A
<i>P. maximum</i> cv. Áries	Linha	0,063 B	0,084 A
<i>P. maximum</i> cv. Áries	Lanço	0,058 A	0,067 A
<i>P. maximum</i> cv. Áries	Lanço V4	0,063 A	0,068 A
Milho sem consorciação		0,060 A	0,076 A

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

**Quadro 7. Valores médios de porosidade total e densidade do solo avaliados nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m em razão das forrageiras e modalidades de semeadura em duas épocas de amostragem**

Fator de variação	Profundidade (m)					
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30
	Porosidade total			Densidade do solo		
	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			kg m <sup>-3</sup>		
Forrageira						
B. brizantha	0,398 ab	0,396	0,429	1,56	1,57	1,46
B. ruziziensis	0,388 b	0,398	0,423	1,57	1,56	1,48
P. maximum cv. Tanzânia	0,393 ab	0,396	0,420	1,56	1,57	1,49
P. maximum cv. Áries	0,401 a	0,397	0,421	1,55	1,57	1,48
Modalidade						
Linha	0,395	0,399	0,423	1,47	1,56	1,48 a
Lanço	0,395	0,394	0,424	1,56	1,58	1,48 a
Lanço V4	0,396	0,398	0,423	1,55	1,57	1,48 a
Época						
Após a colheita do milho	0,392	0,393	0,422	1,58 a	1,59 a	1,50 a
Após a colheita da soja	0,398	0,400	0,424	1,53 b	1,55 b	1,46 b
				Valor F		
Forrageira (F)	3,2754*	0,1742 <sup>ns</sup>	1,5866 <sup>ns</sup>	0,7822 <sup>ns</sup>	0,2432 <sup>ns</sup>	0,8995 <sup>ns</sup>
Modalidade (M)	0,0427 <sup>ns</sup>	1,8770 <sup>ns</sup>	0,1422 <sup>ns</sup>	0,7823 <sup>ns</sup>	1,4864 <sup>ns</sup>	0,0113*
Época (E)	3,4420 <sup>ns</sup>	7,7814**	0,3094 <sup>ns</sup>	14,9509**	15,6348**	10,3989**
Interação (F x M)	1,7234 <sup>ns</sup>	2,2614*	2,2108 <sup>ns</sup>	0,9783 <sup>ns</sup>	1,4035 <sup>ns</sup>	1,5249 <sup>ns</sup>
Interação (F x E)	1,4195 <sup>ns</sup>	0,0416 <sup>ns</sup>	1,9288 <sup>ns</sup>	1,5893 <sup>ns</sup>	0,1825 <sup>ns</sup>	1,3801 <sup>ns</sup>
Interação (M x E)	1,5616 <sup>ns</sup>	1,1002 <sup>ns</sup>	1,6595 <sup>ns</sup>	1,6859 <sup>ns</sup>	0,0998 <sup>ns</sup>	2,0054 <sup>ns</sup>
Interação (F x M x E)	1,3004 <sup>ns</sup>	0,1568 <sup>ns</sup>	0,6624 <sup>ns</sup>	0,7203 <sup>ns</sup>	0,8211 <sup>ns</sup>	0,3202 <sup>ns</sup>
CV (%)	3,80	2,89	3,42	4,10	3,11	3,90

\*\* (p<0,01); \* (p<0,05); e <sup>ns</sup> (não significativo). Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05)

enquanto *B. ruziziensis*, a menor. Para a camada de 0,10-0,20 m, as épocas de amostragem e a interação entre forrageiras e modalidades de semeadura (F x M) foram significativas. Houve incremento na porosidade total da primeira para segunda amostragem e para a interação F x M, em relação às forrageiras; *B. ruziziensis* e *P. maximum* cv. Áries quando semeadas a lanço simultâneo ao milho apresentaram menor porosidade total. A primeira espécie proporcionou o maior valor na modalidade em que a forrageira foi semeada a lanço na adubação de cobertura, estádio V4, e a segunda teve o mesmo comportamento quando semeada na linha do milho (Quadro 8).

Em relação à densidade do solo (Ds), nas três profundidades avaliadas, houve diferenças significativas apenas para as épocas de amostragem, os demais fatores e as interações não foram significativos. A Ds apresentou redução em seus valores na segunda época, apresentando coerência com o aumento de macroporos e da porosidade total. Essa redução nos valores da Ds, provavelmente, ocorreu por causa do solo ser explorado por gramíneas e leguminosas que possuem sistemas radiculares de diferentes comprimentos e calibres que, após a

**Quadro 8. Valores médios do desdobramento de porosidade total na camada de 0,10-0,20 m entre forrageiras e modalidades de semeadura**

Forrageira	Modalidade		
	Linha	Lanço	Lanço V4
	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>		
<i>B. brizantha</i>	0,400 aA	0,398 aA	0,390 bA
<i>B. ruziziensis</i>	0,396 aAB	0,391 aB	0,406 aA
<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	0,396 aA	0,395 aA	0,397 abA
<i>P. maximum</i> cv. Áries	0,405 aA	0,309 aB	0,397 abAB

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

decomposição da massa radicular, contribuem para formação de uma arquitetura de poros permanentes, conferindo ao solo maior macroporosidade e, conseqüentemente, menor densidade. Esse comportamento também foi relatado por Narimatsu (2008), que obteve melhoria nesses atributos quando utilizou rotação de pastagem com soja. No quadro 9,

**Quadro 9. Valores médios de porosidade total e densidade do solo avaliados nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m em razão dos tratamentos e das épocas de amostragem**

Fator de variação		Profundidade (m)					
		0,0-0,10			0,10-0,20		
		Porosidade total			Densidade do solo		
m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			kg m <sup>-3</sup>				
Tratamento							
<i>B. brizantha</i>	Linha	0,391	0,400	0,433	1,58	1,55	1,44
<i>B. brizantha</i>	Lanço	0,396	0,398	0,435	1,56	1,57	1,45
<i>B. brizantha</i>	Lanço V4	0,405	0,390	0,418	1,52	1,58	1,50
<i>B. ruziziensis</i>	Linha	0,388	0,396	0,417	1,57	1,55	1,49
<i>B. ruziziensis</i>	Lanço	0,390	0,391	0,425	1,59	1,58	1,48
<i>B. ruziziensis</i>	Lanço V4	0,388	0,406	0,428	1,56	1,55	1,47
<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	Linha	0,392	0,396	0,416	1,58	1,59	1,5
<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	Lanço	0,391	0,396	0,423	1,55	1,57	1,48
<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	Lanço V4	0,398	0,397	0,422	1,54	1,56	1,48
<i>P. maximum</i> cv. Áries	Linha	0,408	0,405	0,424	1,53	1,54	1,49
<i>P. maximum</i> cv. Áries	Lanço	0,405	0,392	0,413	1,54	1,58	1,51
<i>P. maximum</i> cv. Áries	Lanço V4	0,391	0,397	0,425	1,57	1,59	1,46
Milho sem consorciação		0,389	0,392	0,429	1,58	1,59	1,48
Época							
Após a colheita do milho		0,392	0,393	0,423	1,58 a	1,59 a	1,50 a
Após a colheita da soja		0,397	0,400	0,425	1,54 b	1,55 b	1,46 b
		Valor F					
Tratamento (T)		1,4619 <sup>ns</sup>	1,1320 <sup>ns</sup>	1,3003 <sup>ns</sup>	0,7693 <sup>ns</sup>	1,2245 <sup>ns</sup>	0,9233 <sup>ns</sup>
Época (E)		5,8937*	27,7615**	0,2471 <sup>ns</sup>	3,7963 <sup>ns</sup>	14,6826**	0,1186 <sup>ns</sup>
Interação (T x E)		1,2661 <sup>ns</sup>	0,3396*	1,0468 <sup>ns</sup>	1,6777 <sup>ns</sup>	0,8268 <sup>ns</sup>	0,3937 <sup>ns</sup>
CV (%)		27,32	18,82	16,13	2,79	2,38	3,04

\*\* (p<0,01); \* (p<0,05); e <sup>ns</sup> (não significativo). Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

consta a comparação entre os consórcios e o milho sem consorciação. Os valores de Ds, em todos os tratamentos, apresentaram diferenças significativas somente para as épocas de amostragens, com redução da Ds após a colheita da soja nas três profundidades avaliadas.

Conforme Carneiro et al. (2009), em solos argilosos, valores de Ds em torno de 1,27 kg dm<sup>-3</sup> tornam-se impeditivos ao crescimento radicular, porém a Ds possui estreita relação entre as suas frações texturais e valores críticos para os atributos físicos do solo. Embora a média de Ds obtida seja de 1,54 kg m<sup>-3</sup>, a área experimental em estudo apresenta um histórico de altas produtividades (Pantano, 2003; Narimatsu, 2008; Chioderoli, 2010; Mendonça, 2012).

## CONCLUSÕES

1. A sucessão milho e soja resultou em melhoria nos atributos físicos do solo, independentemente do uso de forrageiras consorciadas com milho.

2. A sucessão de culturas promoveu melhoria nos atributos físicos do solo, nas três profundidades avaliadas, 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, com aumento da macroporosidade e porosidade total e redução da densidade do solo.

3. A sucessão milho e soja, em região de Cerrado, pode ser indicada em sistema plantio direto para melhoria dos atributos físicos do solo.

## AGRADECIMENTO

À Fundação Agrisus, pela concessão da bolsa de mestrado e pelo apoio financeiro ao projeto.

## LITERATURA CITADA

BORTOLINI, C.G. Rotação de culturas no sistema plantio direto. In: ENCONTRO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 8., Tangará da Serra, 2005. Anais... Tangará da Serra, Gráfica e Editora Sanches, 2005. p.115-118.

- CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S. & AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:147-157, 2009.
- CHIODEROLI, C.A. Consorciação de braquiárias com milho outonal em sistema plantio direto como cultura antecessora da soja de verão na integração agricultura-pecuária. Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 2010. 84p. (Dissertação de Mestrado)
- CHIODEROLI, C.A.; MELLO, L.M.M.; GRIGOLLI, P.J.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, J.O.R. & CESARIN, A.L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 16:37-43, 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Documentos, 1)
- LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T.; ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C. & REINERT, D.J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1131-1140, 2007.
- MARCHÃO, R.L. Integração lavoura-pecuária num Latossolo do Cerrado: Impacto na física, matéria orgânica e macrofauna. Goiânia, Universidade Federal de Goiás, 2007. 153p. (Tese de Doutorado)
- MENDONÇA, V.Z. Consorciação de milho com forrageiras: Produção de silagem e palha para plantio direto de soja. Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2012. 71p. (Dissertação de Mestrado)
- NARIMATSU, K.C.P. Plantio direto de soja e milho no sistema de integração agricultura-pecuária: Condicionamento do solo e rotação de culturas. Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2008. 181p. (Tese de Doutorado)
- PANTANO, A.C. Semeadura de braquiária em consorciação com milho em diferentes espaçamentos na integração agricultura-pecuária em plantio direto. Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2003. 60p. (Dissertação de Mestrado)
- SANTOS, H.P.; SPERA, S.T.; TOMM, G.O.; KOCHANN, R.A. & ÁVILA, A. Efeito de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas na fertilidade do solo, após vinte anos. *Bragantia*, 67:441-454, 2008.
- SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:191-199, 2000.
- SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S. & TOMM, G.O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:129-136, 2009.
- STONE, L.F. & GUIMARÃES, C.M. Influência de sistemas de rotação de culturas nos atributos físicos do solo. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 15p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento)