



## Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto

Mariana Pina da Silva<sup>1</sup>, Orivaldo Arf<sup>2</sup>, Marco Eustáquio de Sá<sup>2</sup>, Fabiana Lima Abrantes<sup>2</sup>,  
Christian Luis Ferreira Berti<sup>3</sup>, Lilian Christian Domingues de Souza<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Goiás, Centro de Ciências Agrárias, Rodovia Go 330, km 241, Anel Viário, s/n, Universitário, CEP 75780-000, Ipameri-GO, Brasil. E-mail: mari\_agro@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Avenida Brasil, 56, Centro, CEP 15385-000, Ilha Solteira-SP, Brasil. Caixa Postal 31. E-mail: arf@agr.feis.unesp.br; marcosa@agr.feis.unesp.br; fabianaabrantes@hotmail.com

<sup>3</sup> Universidade de Rio Verde, Departamento de Agronomia, AC Rio Verde, Setor Central, CEP 75901-970, Rio Verde-GO, Brasil. E-mail: christianberti@univ.edu.br

<sup>4</sup> Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, ETEC Sebastiana Augusta de Moraes, Estrada Vicinal Sebastião Lourenço da Silva, km 11, Vila Planalto, CEP 16900-000, Andradina-SP, Brasil. Caixa Postal 34. E-mail: lilianagronomia90@hotmail.com

### RESUMO

O trabalho teve como objetivo avaliar a influência de plantas de cobertura nos atributos químicos e físicos do solo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas com 4 repetições. As parcelas foram constituídas por: milho, crotalária, guandu, mucuna-preta, milho + guandu, milho + crotalária e milho + mucuna e pousio. As subparcelas foram constituídas por ausência de adubação fosfatada e doses de  $P_2O_5$  (60, 90 e 120 kg ha<sup>-1</sup>) na forma de monoamônio fosfato (MAP). Nas subparcelas que não receberam adubação fosfatada foram analisados os atributos químicos e físicos do solo. As espécies utilizadas como cobertura ocasionaram alterações nas propriedades químicas e físicas do solo. O solo mantido com milho + mucuna preta apresentou os maiores valores de P e Ca, sobre milho maiores valores de MO, o guandu maiores valores de K, e aqueles sob o consórcio milho + guandu maiores concentrações de Mg. O solo mantido com milho apresentou menores valores de densidade e maiores valores de porosidade.

**Palavras-chave:** *Crotalaria juncea*; *Cajanus cajan*; *Mucuna aterrima*; *Pennisetum americanum*; teores de nutrientes

### Cover crops and chemical and physical quality of Oxisol under no-tillage

### ABSTRACT

The study aimed to evaluate the influence of species of cover crops on chemical and physical soil properties. The survey was conducted during the winter of 2010 and 2011 in Selvíria, Mato Grosso do Sul State, Brazil. The experimental design was a randomized block in a split plot with four replicates. The plots consisted of: millet, sun hemp, pea, velvet bean, millet + pigeon pea, millet and millet + crotalaria, and mucuna fallow. The subplots were represented by the absence of phosphate fertilizers and  $P_2O_5$  rates (60, 90 and 120 kg ha<sup>-1</sup>) in the form of monoammonium phosphate (MAP). The subplots that have not received phosphate fertilizer chemical and physical soil properties were analyzed. The species used as cover caused changes in the chemical and physical properties of the soil. The soil maintained with millet + black mucuna presented the highest values of P and Ca, on millet higher values of OM, pigeon higher values of K, and those under the consortium millet + pigeon had higher concentrations of Mg. The soil maintained with millet Presented lower values of density and higher values of porosity.

**Key words:** *Crotalaria juncea*; *Cajanus cajan*; *Mucuna aterrima*; *Pennisetum americanum*; nutrient content

## Introdução

Na busca por aumentar a eficiência produtiva e contribuir para uma agricultura de baixo carbono na produção agrícola, tem se adotado o sistema plantio direto (SPD). Um dos fatores imprescindíveis para o sucesso do SPD é a implantação da cultura principal sob os restos culturais de uma cultura de cobertura que tenha sido introduzida em cultivo sequencial ou rotacionado.

Nas regiões de cerrado, deve-se adotar um manejo que consiga proteger o solo, reter e armazenar a água das chuvas e que seja aplicável naturalmente. No SPD, a palhada da superfície protege o solo do impacto das gotas da chuva, e minimiza perdas de água por evapotranspiração, pois de acordo com Wutke et al. (1998), devido à pouca movimentação do solo e a grande quantidade de resíduos deixados em sua superfície o SPD diminui significativamente as perdas de solo por erosão.

No entanto, a espécie de cobertura vegetal a ser utilizada tem sido motivo de estudos. A fim de manter a palhada como cobertura até o desenvolvimento da cultura sucessora, no caso o feijão, em condições de alta temperatura e alta pluviosidade, esse é um dos fatores limitantes para a permanência da palhada, dependendo da espécie a ser utilizada. Por essa razão, resíduos de maior relação C/N (carbono/nitrogênio) como cobertura deverão ser mais utilizados em plantio direto, pois quanto maior essa relação, mais lenta é a decomposição dos resíduos (Calegari et al., 1993)

No cerrado brasileiro, a obtenção de resíduos vegetais para a cobertura do solo em áreas sob SPD tem sido difícil devido, principalmente à baixa produção de fitomassa na entressafra e à decomposição acelerada dos resíduos, condições em que o uso de espécies com decomposição mais lenta representa uma estratégia para aumentar a eficiência dessas coberturas na produção de resíduos sobre a superfície do solo (Bressan et al., 2013).

O efeito da cobertura vegetal sobre atributos químicos do solo está relacionado com a espécie de planta usada, a classe do solo, as condições climáticas e, sobremaneira, com o tipo de manejo dispensado à planta de cobertura (Andreola et al., 2000; Osterroht, 2002). No geral, os benefícios atribuídos às plantas de cobertura sobre os atributos do solo decorrem, sobremaneira, do aumento da porosidade do solo, redução do impacto da energia da gota de chuva sobre a superfície do solo, aumento do teor de matéria orgânica (Leite et al., 2003; Rao & Li, 2003) e das funções microbianas no solo (Steenwerth & Belina, 2008).

Segundo Osterroht (2002), entre os efeitos do uso de plantas de cobertura sobre a fertilidade do solo, estão a adição de matéria orgânica (MO), maior capacidade de troca de cátions (CTC) e a menor acidez; o aumento do fósforo (P) disponível; complexação orgânica do alumínio (Al) e manganês (Mn) que se encontram em níveis tóxicos no solo; adição de N ao sistema pela fixação biológica; disponibilização de micronutrientes e melhoria no desenvolvimento dos cultivos, aumentando a estabilidade nas produções, ao longo dos anos.

É fundamental a utilização de espécies produtoras de palhada que mobilizem os nutrientes na camada agricultável, restando-os na sua fitomassa e os devolvendo ao solo durante a decomposição (Denardin & Kochhann, 1993). Neste contexto

objetivou-se, com este trabalho, avaliar o efeito das plantas de cobertura sobre os atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso em região do cerrado sob sistema plantio direto.

## Material e Métodos

O experimento foi realizado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira-UNESP, localizada no Município de Selvíria, MS, durante as safras de inverno de 2010 e 2011. O local apresenta, como coordenadas geográficas, 51° 22' W e 20° 22' S e altitude aproximada de 335 m. O clima é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Segundo Centurion (1982), a temperatura média anual é de, aproximadamente, 25°C, precipitação média total anual de 1.330 mm e a média anual de umidade relativa do ar de 66%.

O solo do local é considerado como Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso (Embrapa, 2006). Antes da instalação do experimento, foram coletadas na profundidade de 0-0,20 m, 20 amostras simples de solo para formar uma amostra representativa da área experimental cujas características químicas foram: MO, 16 g dm<sup>-3</sup>; pH (CaCl<sub>2</sub>) 5,0; P resina 16 mg dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>, e Al<sup>3+</sup> de 1,7; 25; 14; 30 e 1 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente, e saturação por bases de 58%.

A área experimental foi cultivada há 10 anos no sistema plantio direto (SPD), sendo a cultura antecessora ao feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) o milho (*Zea mays*), nos dois anos de estudo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, com 4 repetições. As parcelas foram constituídas por espécies de plantas de cobertura em cultivo solteiro ou consorciadas: milheto (*Pennisetum americanum* L.), crotalária (*Crotalaria juncea* L.), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), mucuna-preta (*Mucuna aterrima* (Piper & Tracy) Merr.), milheto+guandu, milheto+crotalária e milheto+mucuna, cultivados no período de verão (fevereiro-março) de 2010 e de 2011, e pousio (vegetação espontânea), em que as parcelas apresentavam dimensões de 14 × 7 m.

As subparcelas foram constituídas por ausência de adubação fosfatada e doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (60, 90 e 120 kg ha<sup>-1</sup>), aplicadas na forma de monoamônio fosfato (MAP) contendo 9% de N e 48% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Cada subparcela foi constituída de 7 linhas espaçadas 0,45 m entre si com 5 metros de comprimento. A área útil de avaliação foi constituída pelas linhas centrais (5 linhas), desprezando-se 0,5 m nas extremidades.

As semeaduras das plantas de cobertura foram realizadas em 22/02/2010 e 17/03/2011. O espaçamento entrelinhas foi de 0,45 m e a densidade de semeadura utilizada foi a seguinte: 15 sementes por metro para mucuna-preta; 50 sementes por metro para crotalária; 22 sementes por metro para guandu e 58 sementes por metro para milheto para uma germinação de 70%.

Nos cultivos consorciados em linhas alternadas (milheto/guandu; milheto/crotalaria e milheto/mucuna-preta), a densidade de semeadura foi a mesma utilizada no cultivo solteiro para ambas as coberturas vegetais, apesar de cada planta de cobertura ter exigência específica em nutrientes. Todas as espécies foram semeadas sem adubação de semeadura. Em 05/05/2010 e

25/05/2011, respectivamente para cultivos de 2010 e 2011, a vegetação foi dessecada mediante a aplicação de herbicida glyphosate (1560 g ha<sup>-1</sup> do i.a); os restos culturais foram manejados com triturador mecânico em 07/05/2010 e 27/05/2011.

As irrigações das plantas de cobertura e da cultura do feijoeiro foram realizadas por um sistema fixo de irrigação convencional por aspersão, com vazão dos aspersores de 3,3 mm h<sup>-1</sup>. A sementeira do feijoeiro foi realizada mecanicamente em 12/05/2010 e 31/05/2011 em SPD, utilizando-se a cultivar Pérola com 15 sementes por metro linear e espaçamento entrelinhas de 0,45 m; para o tratamento de sementes utilizaram-se os fungicidas Carboxim + Thiram (50 + 50 g i.a./100 kg de sementes).

O fornecimento das doses de P foi realizado na profundidade de 5 cm nos sulcos de sementeira antes da sementeira do feijoeiro. Visto que o fertilizante utilizado como fonte de P contém 9% de N, foi realizada a correção no fornecimento de N utilizando-se, como fonte, a ureia (44% de N), de maneira que todos os tratamentos recebessem na sementeira a mesma quantidade de N (26 kg ha<sup>-1</sup> de N).

A adubação básica no sulco de sementeira foi de 175 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 20-0-20 (N-P-K). A emergência ocorreu em 19/05/2010 e 07/06/2011 e aos 30 dias após a emergência das plântulas, realizou-se a adubação de cobertura aplicando-se 50 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia, conforme recomendação de Ambrosano et al. (1997).

Para o controle de plantas daninhas foi utilizado Fluazifop-p-butil + Fomesafem, enquanto para o controle das pragas foi realizada a aplicação de Deltametrina+Triazofós em 2010 e 2011, Endosulfan e Metomil em 2010; com vista ao controle das doenças utilizou-se o fungicida Mancozeb em 2010 e 2011, além de Procimidona em 2011.

Os grãos foram colhidos em 19/08/2010 e 12/09/2011. Após a colheita do feijoeiro, nas subparcelas que não

receberam adubação fosfatada, foram determinadas para as camadas de 0 - 0,5 m, 0,6 - 0,10 m, 0,11 - 0,15 e 0,16 - 0,30 m, os seguintes atributos físicos: densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo (Embrapa, 1997). Para os atributos químicos do solo foi realizada coleta de amostras de solo em duas etapas (por ocasião do manejo mecânico das plantas de cobertura e após a colheita do feijoeiro) para caracterização química da área experimental.

Para realizar a primeira coleta (por ocasião da ceifa das plantas de cobertura) as amostras foram retiradas em todas as parcelas na profundidade de 0 - 0,20 m, segundo a metodologia proposta por Oliveira et al. (2007). A análise dos atributos químicos do solo foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Raij et al. (2001).

Para a segunda coleta foram coletadas amostras de solo após a colheita do feijoeiro nas profundidades de 0-0,20 m, 0,21-0,40 m e 0,41-0,60 m nas subparcelas que não receberam adubação fosfatada de acordo com a metodologia proposta por Oliveira et al. (2007). As amostras foram coletadas com auxílio de trado de caneca, acondicionadas em sacos plásticos e identificadas. As amostras foram secas ao ar e passadas em peneiras com malha de 2 mm de abertura, a fim de avaliar o pH do solo, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, matéria orgânica e H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup> conforme procedimento descrito em Raij et al. (2001).

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste F, em cada ano agrícola. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade com uso do programa Sisvar (Ferreira, 2011).

## Resultados e Discussão

Na Tabela 1 são apresentados os resultados dos atributos físicos do solo em diferentes plantas de cobertura, nas camadas de 0,0-0,05 m, 0,06-0,10, 0,11-0,20 e 0,21-0,30 m.

**Tabela 1.** Densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade nas camadas de 0,0-0,05 m, 0,06-0,10, 0,11-0,20 e 0,21-0,30 m. Selvíria/MS, 2010 e 2011

| Tratamentos                        | Ds <sup>1</sup>    |                      | Pt <sup>2</sup>                |                     | Macro <sup>3</sup> |                     | Micro <sup>4</sup> |                     |
|------------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
|                                    | 2010               | 2011                 | 2010                           | 2011                | 2010               | 2011                | 2010               | 2011                |
|                                    | Mg m <sup>-3</sup> |                      | m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> |                     |                    |                     |                    |                     |
| Coberturas vegetais                |                    |                      |                                |                     |                    |                     |                    |                     |
| Milheto                            | 1,39               | 1,46                 | 46,9                           | 45,1                | 13,1               | 14,2                | 33,8               | 30,8                |
| <i>Crotalaria juncea</i>           | 1,43               | 1,47                 | 46,2                           | 44,7                | 12,0               | 12,8                | 34,2               | 31,9                |
| Guandu                             | 1,48               | 1,47                 | 43,6                           | 44,5                | 9,4                | 13,1                | 34,1               | 31,4                |
| Mucuna preta                       | 1,42               | 1,46                 | 45,9                           | 45,1                | 12,2               | 13,6                | 33,7               | 31,5                |
| Pousio                             | 1,39               | 1,45                 | 46,1                           | 45,1                | 12,6               | 14,1                | 33,6               | 31,0                |
| Milheto + Guandu                   | 1,44               | 1,44                 | 44,8                           | 44,8                | 10,8               | 13,6                | 34,0               | 31,2                |
| Milheto + <i>Crotalaria juncea</i> | 1,39               | 1,46                 | 46,5                           | 44,5                | 12,7               | 12,1                | 33,8               | 32,4                |
| Milheto + Mucuna preta             | 1,40               | 1,46                 | 46,9                           | 44,6                | 12,2               | 13,7                | 34,7               | 30,9                |
| DMS                                | 0,06               | 0,11                 | 2,37                           | 4,2                 | 2,23               | 5,31                | 1,72               | 1,96                |
| Profundidade (m)                   |                    |                      |                                |                     |                    |                     |                    |                     |
| 0,0 - 0,05                         | 1,38               | 1,41 c               | 47,0                           | 45,7                | 14,6               | 14,7                | 32,4 c             | 30,9                |
| 0,06 - 0,10                        | 1,40               | 1,44 bc              | 45,4                           | 43,5                | 11,2               | 11,9                | 33,7 b             | 31,5                |
| 0,11 - 0,20                        | 1,44               | 1,48 ab              | 44,5                           | 44,7                | 10,8               | 13,5                | 34,2 b             | 31,2                |
| 0,21 - 0,30                        | 1,45               | 1,50 a               | 46,5                           | 45,3                | 10,9               | 13,4                | 35,6 a             | 31,9                |
| DMS                                | 0,03               | 0,06                 | 1,4                            | 2,5                 | 1,32               | 3,2                 | 1,02               | 1,2                 |
| CV (%)                             | 3,87               | 5,77                 | 4,71                           | 7,25                | 17,11              | 30,92               | 4,62               | 4,88                |
| Valores de F                       |                    |                      |                                |                     |                    |                     |                    |                     |
| C. vegetais (a)                    | 4,94**             | 0,170 <sup>ns</sup>  | 4,41**                         | 0,082 <sup>ns</sup> | 5,47**             | 0,360 <sup>ns</sup> | 0,90 <sup>ns</sup> | 1,540 <sup>ns</sup> |
| Profundidade (b)                   | 10,57**            | 6,647**              | 8,82**                         | 2,054 <sup>ns</sup> | 25,61**            | 1,803 <sup>ns</sup> | 22,17**            | 1,761 <sup>ns</sup> |
| a*b                                | 2,982**            | 0,7783 <sup>ns</sup> | 2,55**                         | 0,504 <sup>ns</sup> | 4,25**             | 0,543 <sup>ns</sup> | 0,94 <sup>ns</sup> | 0,876 <sup>ns</sup> |

\*\* p < 0,01e <sup>ns</sup> não significativo, médias seguidas de letras diferentes nas colunas em cada fator diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de significância de 5%. <sup>1</sup> Densidade do solo. <sup>2</sup> Porosidade Total. <sup>3</sup> Macroporosidade. <sup>4</sup> Microporosidade.

No ano de 2010, houve interação significativa das coberturas vegetais  $\times$  profundidade de amostragem para densidade do solo, macroporosidade e porosidade total, cujos desdobramentos encontram-se nas Tabelas 2, 3 e 4.

De modo geral, a menor densidade do solo foi na camada de 0 a 0,05 m e as maiores densidades ocorreram nas camadas de 0,21-0,30 m (Tabela 2). Menor densidade na camada superficial também foi observada por Genro Junior et al. (2004), em Latossolo Vermelho distroférico típico muito argiloso. As menores densidades observadas na camada mais superficial podem estar relacionadas à maior densidade de raízes das culturas utilizadas, e ao maior teor de MO. Além desses efeitos, a semeadura das espécies mobiliza a camada mais superficial do solo, com espaçamento entre os mecanismos sulcadores variável para cada espécie.

**Tabela 2.** Desdobramento da interação significativa entre coberturas vegetais  $\times$  profundidade de amostragem para densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ). Selvíria/MS, 2010.

| Coberturas vegetais                | Profundidade (m) |             |             |             |
|------------------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                    | 0,0 - 0,05       | 0,06 - 0,10 | 0,11 - 0,20 | 0,21 - 0,30 |
| Milheto                            | 1,30 bB          | 1,44 A      | 1,45 abA    | 1,38 bAB    |
| <i>Crotalaria juncea</i>           | 1,39 abB         | 1,41 B      | 1,38 abB    | 1,55 aA     |
| Guandu                             | 1,47 a           | 1,46        | 1,46 a      | 1,52 ab     |
| Mucuna preta                       | 1,39 ab          | 1,43        | 1,40 ab     | 1,47 ab     |
| Pousio                             | 1,32 bB          | 1,44 A      | 1,39 abAB   | 1,42 bA     |
| Milheto + Guandu                   | 1,39 abB         | 1,50 A      | 1,43 abAB   | 1,45 abAB   |
| Milheto + <i>Crotalaria juncea</i> | 1,34 b           | 1,43        | 1,38 ab     | 1,42 b      |
| Milheto + Mucuna preta             | 1,44 abA         | 1,39 AB     | 1,34 bB     | 1,45 abA    |
| DMS(coluna)                        |                  | 0,12        |             |             |
| DMS (linha)                        |                  | 0,10        |             |             |

Médias seguidas de mesma letra minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de significância de 5%.

**Tabela 3.** Desdobramento da interação significativa entre coberturas vegetais  $\times$  profundidade de amostragem para macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ). Selvíria/MS, 2010.

| Coberturas vegetais                | Profundidade (m) |             |             |             |
|------------------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                    | 0,0 - 0,05       | 0,06 - 0,10 | 0,11 - 0,20 | 0,21 - 0,30 |
| Milheto                            | 18,3 aA          | 10,8 B      | 8,7 bB      | 14,7 aA     |
| <i>Crotalaria juncea</i>           | 14,1 abA         | 11,6 AB     | 14,2 aA     | 8,2 cB      |
| Guandu                             | 11,0 b           | 10,5        | 8,8 b       | 8,4 c       |
| Mucuna preta                       | 15,0 abA         | 11,9 AB     | 11,8 ab AB  | 10,1 bcB    |
| Pousio                             | 16,3 aA          | 10,7 B      | 10,5 abB    | 12,8 abAB   |
| Milheto + Guandu                   | 15,1 abA         | 8,2 B       | 9,5 bB      | 10,4 abcB   |
| Milheto + <i>Crotalaria juncea</i> | 17,2 aA          | 10,6 B      | 11,1 abB    | 11,9 abcB   |
| Milheto + Mucuna preta             | 12,3 b           | 12,1        | 12,8 ab     | 11,4 abc    |
| DMS(coluna)                        |                  | 4,5         |             |             |
| DMS (linha)                        |                  | 3,76        |             |             |

Médias seguidas de mesma letra minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de significância de 5%.

**Tabela 4.** Desdobramento da interação significativa entre coberturas vegetais  $\times$  profundidade de amostragem para porosidade total ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ). Selvíria/MS, 2010.

| Coberturas vegetais                | Profundidade (m) |             |             |             |
|------------------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                    | 0,0 - 0,05       | 0,06 - 0,10 | 0,11 - 0,20 | 0,21 - 0,30 |
| Milheto                            | 50,3 aA          | 44,3 B      | 44,9 abB    | 48,2 aAB    |
| <i>Crotalaria juncea</i>           | 45,9 abAB        | 45,9 AB     | 49,6 aA     | 43,3 bB     |
| Guandu                             | 44,7 b           | 43,9        | 43,9 b      | 41,9 b      |
| Mucuna preta                       | 46,7 ab          | 45,7        | 46,9 ab     | 44,2 ab     |
| Pousio                             | 47,5 ab          | 43,8        | 45,8 ab     | 47,3 ab     |
| Milheto + Guandu                   | 47,2 abA         | 42,2 B      | 45,7 ab AB  | 44,2 abAB   |
| Milheto + <i>Crotalaria juncea</i> | 49,4 aA          | 44,1 B      | 47,3 ab A   | 45,2 abB    |
| Milheto + Mucuna preta             | 47,2 ab          | 46,2        | 48,1 ab     | 46,1 ab     |
| DMS(coluna)                        |                  | 4,7         |             |             |
| DMS (linha)                        |                  | 3,99        |             |             |

Médias seguidas de mesma letra minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de significância de 5%.

Observa-se que na camada de 0,0-0,05 m, o tratamento com milheto, embora não apresentando diferenças estatísticas significativas em relação aos outros tratamentos, apresenta menor valor de  $D_s$ , demonstrando ser mais promissora na melhoria desse atributo do solo (Tabela 2). Os maiores valores de macroporosidade também foram apresentados pelo solo com resíduos de milheto (Tabela 3). Isso sugere que a ação do sistema radicular, ao se decompor, atua na formação de bioporos, como descrito por Eltz et al. (1989). Além disso, o sistema radicular das gramíneas é mais denso e melhor distribuído o que favorece a ligação entre partículas minerais do solo e agregados, formando novos agregados e auxiliando na sua estabilização (Silva & Mielniczuck, 1997). Nesse estudo, o acréscimo de MO pelo contínuo aporte de resíduos nos tratamentos com plantas de cobertura no inverno promoveu aumentos nos valores de macroporosidade.

Rosolem et al. (2002) verificaram que o milheto e o sorgo apresentaram maior potencial para serem usados como plantas de cobertura em solos compactados do que *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis* e girassol (*Helianthus annuus*), por apresentarem maior densidade de comprimento radicular em todos os níveis de compactação testados.

A densidade média do solo pode ser considerada elevada, já que os valores estão na faixa considerada crítica para solos argilosos indicadas por Veihmeyer & Hendrickson (1946) e Jones (1983). A densidade do solo crítica é dependente, principalmente, da classe textural. Argenton et al. (2005) constataram que, em Latossolo Vermelho argiloso, a deficiência de aeração inicia-se com densidade do solo próxima de  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$ , e Klein (2006), para mesma classe de solo, baseado no intervalo hídrico ótimo, observou que a densidade limitante foi de  $1,33 \text{ Mg m}^{-3}$ . Reichert et al. (2003), propuseram densidade do solo crítica para algumas classes texturais:  $1,30$  a  $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$  para solos argilosos,  $1,40$  a  $1,50 \text{ Mg m}^{-3}$  para os franco-argilosos e de  $1,70$  a  $1,80 \text{ Mg m}^{-3}$  para os franco-arenosos.

O aumento da densidade do solo nas camadas de 0,10 a 0,30 m ocorreu às expensas da porosidade total e dos macroporos (Tabela 2, 3 e 4). Na primeira camada (Tabela 3), não há restrição, mas abaixo de 0,10 m a macroporosidade beira perto do limite crítico de aeração considerado impeditivo para o crescimento de raízes (Xu et al., 1992), com menos de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  nos solos sobre palhada de milheto e guandu (Tabela 3). Em solos com baixa porosidade de aeração, as trocas gasosas diminuem e aumenta a concentração de gás carbônico, principalmente nas zonas compactadas, com prejuízo ao crescimento radicular (Olness et al., 1998). A relação ideal de macroporos em relação à porosidade total é de 0,33, e indica a relação entre capacidade de aeração e retenção de água no solo.

Em relação à microporosidade obtida em 2010 (Tabela 1), observou-se efeito da profundidade de amostragem, sendo que na camada de 0,21 - 0,30 m ocorreram os maiores valores. Isso já era previsto, devido à maior densidade do solo nas camadas mais profundas, já que a microporosidade apresenta correlação positiva com a densidade do solo. Argenton et al. (2005) também encontraram correlação inversamente proporcional da densidade do solo com a macroporosidade e a porosidade total e correlação positiva com a microporosidade. No geral, a microporosidade aumenta, enquanto a macroporosidade

diminuiu com a profundidade. Esses resultados corroboram Argenton et al. (2005).

No segundo ano de cultivo, observou-se efeito da profundidade de amostragem somente para a densidade do solo. Sendo que na camada de 0,0 a 0,05 m obteve o menor valor. Possivelmente, a menor densidade encontrada, nas camadas subsuperficiais, e explicada pela maior quantidade de MO, menor teor de argila e ausência do tráfego de máquinas agrícolas, concordando com resultados de Lemos Filho et al. (2008). Alves (2001) e Almeida (2001) mostraram diferenças significativas na densidade do solo quando utilizados diversos adubos verdes, mostrando há necessidade de médio e longo prazo para que haja determinadas diferenças significativas nas propriedades físicas do solo em estudo.

O mesmo não foi obtido por Cardoso et al. (2013) em experimento instalado realizado em Lavras (MG) sobre um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, na qual observou que a densidade do solo, volume total de poros, microporosidade e macroporosidade, não são alterados após o cultivo das plantas de cobertura crotalária, feijão-de-porco e milho.

Uma hipótese do estudo foi que haveria redução da densidade do solo e aumento da macroporosidade pelo uso de plantas de cobertura no perfil do solo, no entanto, foi constatado apenas na camada mais superficial no primeiro ano de estudo (2010). Cabe destacar, que a avaliação da densidade foi realizada após 2 anos de cultivo com plantas de cobertura, período que pode ser considerado curto para recuperar a qualidade física deste solo, como observado por Genro Junior et al. (2004).

Na Tabela 5 constam os resultados dos atributos químicos do solo cultivado com diferentes plantas de cobertura, nas camadas de 0,0 - 0,20 m.

Em relação aos valores de pH, H+Al, SB, CTC e V, não houve efeito em relação as plantas de cobertura, ressalta-se que o valor de pH foi mantido em nível de acidez alto, variando entre 4,8 e 4,9 (solo ácido) e o valor da saturação de bases em nível médio de 51-70 %, independente das plantas de cobertura analisadas. Já para os atributos: P, MO, K, Ca e Mg, os resultados da análise de variância evidenciaram que ocorreu efeito das coberturas.

As maiores concentrações de P disponível do solo foram constatadas no solo coberto com milho + mucuna preta

(Tabela 5). O uso das culturas de cobertura contribui para o aumento desse elemento no solo, pois comparando com o solo sob vegetação espontânea, observou-se aumento médio de 56 e 33% nos teores de P, para o solo sob mucuna preta e o consórcio milho + mucuna, respectivamente.

Apesar disso, de maneira geral, os solos cultivados sobre as plantas de cobertura, permaneceram com teor baixo de P. Somente o solo cultivado sobre mucuna – preta, milho + *Crotalaria juncea*, e milho + mucuna permaneceram dentro do teor considerado indicado como médio de P (16 - 40 mg dm<sup>-3</sup>) segundo Rajj et al. (1997).

Para MO, os maiores teores foram determinados no solo com milho, diferindo das outras coberturas. O aumento da MO do solo entre outros fatores está associado aos níveis de resíduos vegetais depositados ao solo. A esse respeito, como pode ser observado no pousio, foi responsável pela menor produção de palha, o que refletiu diretamente nos teores de MO do solo. Bressan et al. (2013) em Latossolo Amarelo Distrófico também verificaram que os teores de nutrientes e níveis de MO foram mais elevados nas áreas sob cobertura de milho e braquiária, principalmente nas profundidades de 0-0,10 e 0,11-0,20 m.

Os solos cultivados sobre guandu apresentaram as maiores concentrações de K<sup>+</sup> trocável (Tabela 5). Esses resultados mostram efeito positivo das leguminosas com aumento do teor do elemento. Lourenço et al. (1993), estudando o comportamento da mucuna preta, kudzu tropical, guandu e leucena relataram que essas espécies tendem a extrair o K do solo em maiores quantidades, comparado com os outros nutrientes. Solos cultivados sobre palhada de milho, guandu, pousio, milho + crotalaria, apresentaram valores médios de potássio. Já sobre palhada de crotalaria, mucuna, milho + guandu, milho + mucuna- preta apresentaram valores baixos de K<sup>+</sup>.

Com relação aos teores de Ca<sup>2+</sup> trocável (Tabela 5), observou-se que o solo cultivado sobre milho + mucuna preta obteve valores superiores comparados aos demais tratamentos. Apesar disso, independente da planta de cobertura utilizada os valores de Ca foram considerados altos. Esses resultados são contraditórios aos de Lourenço et al. (1993), ao relatarem que a incorporação de restos vegetais de leguminosas, como guandu, Kudzu tropical, mucuna preta e leucena não contribuem para elevar o teor de Ca no solo.

**Tabela 5.** Valores médios de pH, matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H + Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%), em função da planta de cobertura, antes da instalação da cultura do feijoeiro no município de Selvíria /MS, nas profundidades de 0,0-0,20 m, no segundo ano de cultivo (2011).

| Tratamentos         | P<br>mg dm <sup>-3</sup> | MO<br>g dm <sup>-3</sup> | pH<br>CaCl <sub>2</sub> | mmolc dm <sup>-3</sup> |                  |                  |                                  | SB    | CTC  | V<br>% |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|------------------|------------------|----------------------------------|-------|------|--------|
|                     |                          |                          |                         | K <sup>+</sup>         | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup> |       |      |        |
| Coberturas vegetais |                          |                          |                         |                        |                  |                  |                                  |       |      |        |
| Milho               | 15,6 c                   | 26,9 a                   | 4,8                     | 2,0 b                  | 19 c             | 11,0 bc          | 23                               | 32    | 54   | 56     |
| <i>C. juncea</i>    | 12,9 d                   | 15,8 b                   | 4,8                     | 1,0 c                  | 18 c             | 9,6 bc           | 26                               | 28    | 55   | 52     |
| Guandu              | 13,3 d                   | 15,4 b                   | 4,9                     | 2,8 a                  | 19 c             | 11,3 b           | 25                               | 33    | 58   | 57     |
| Mucuna              | 18,0 b                   | 16,9 b                   | 4,9                     | 1,0 c                  | 18 c             | 9,6 bc           | 25                               | 29    | 53   | 54     |
| Pousio              | 13,5 d                   | 8,3 d                    | 4,8                     | 1,6 b                  | 15 d             | 11,7 b           | 24                               | 29    | 52   | 55     |
| M + G <sup>1</sup>  | 12,0 d                   | 15,1 b                   | 4,9                     | 1,1 c                  | 25 b             | 14,6 a           | 22                               | 35    | 57   | 60     |
| M + C <sup>2</sup>  | 16,6 bc                  | 16,6 b                   | 4,9                     | 1,8 b                  | 19 c             | 9,0 c            | 23                               | 30    | 54   | 56     |
| M + M <sup>3</sup>  | 21,1 a                   | 11,1 c                   | 4,9                     | 1,1 c                  | 27 a             | 11,0 bc          | 21                               | 38    | 60   | 64     |
| DMS                 | 2,0                      | 2,3                      | 0,5                     | 0,4                    | 1,7              | 2,3              | 6,7                              | 11    | 10,2 | 13,6   |
| CV (%)              | 4,39                     | 5,16                     | 3,52                    | 9,54                   | 3,02             | 7,12             | 9,80                             | 12,08 | 6,37 | 8,30   |

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de significância de 5%.

<sup>1</sup> Milho + Guandu. <sup>2</sup> Milho + *Crotalaria juncea*. <sup>3</sup> Milho + Mucuna-preta.

Para o Mg trocável do solo, entre os valores médios observou-se para o consórcio milheto + guandu valores significativamente superiores. De maneira geral, observa-se que todos os tratamentos, até mesmo a área mantida com vegetação espontânea, permaneceram com valores considerados altos do elemento no solo.

Nos atributos químicos do solo após o cultivo do feijoeiro não houve diferença entre as plantas de cobertura utilizada (Tabela 6). Provavelmente, a principal justificativa esteja no intervalo de apenas um ano entre as avaliações. Andrioli (2004), após cultivar crotalaria, braquiária + lablab e milheto no início das chuvas e milho na safra de verão (semeadura em dezembro) determinou, no terceiro ano de condução do experimento, diferença para os teores de Ca e Mg e valor SB, sendo maiores na sucessão crotalaria/milho na camada de 0 – 5 cm e menores na camada de 10 – 20 cm para a sucessão milheto/milho. O teor de K foi maior para a sucessão milheto/milho na camada de 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm.

Corroborando com tal informação Cunha et al. (2011) em um Latossolo Vermelho distrófico, de textura franco argilosa, após quatro anos de cultivo as plantas de cobertura não diferiram entre si quanto aos seus efeitos nos atributos químicos do solo, seja sob semeadura direta ou sob preparo convencional do solo.

Do resultado das análises de variância relativo às características químicas do solo em função dos tratamentos aplicados (Tabela 6), constatou-se efeito isolado da profundidade sobre as características matéria orgânica (MO), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) potássio (K), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por base (V) e acidez potencial (H + Al). Em relação à variação do teor de pH, não houve efeito para as profundidades.

Observa-se que apesar de não ter tido efeito para o pH, que o solo sobre palhada de milheto, crotalaria, guandu, mucuna, milheto + crotalaria, permaneceram com acidez alta, já o consórcio milheto + mucuna, milheto + guandu e área sobre pousio apresentaram acidez com teores médios. Segundo Kiehl

(1979), para valores abaixo de pH 5,0 haverá deficiência dos elementos P, Ca, Mg, Mo, B ou toxidez de Al, Mn, Zn e outros metais pesados, devido as suas maiores solubilidades. Para os solos do Estado de São Paulo o pH médio considerado é de 5,1-5,5, sendo estes valores de 4,8- 5,0, a acidez é considerada baixa (Raij et al., 1997).

Os valores de pH para os tratamentos foram semelhantes ao verificado por Guimarães (2000). Segundo o autor, estes valores se devem às exsudações ácidas pelas raízes das plantas, atuando diretamente no pH do solo.

Os teores de M.O. (Tabela 6) foram maiores na camada de 0 – 20 m de profundidade, diferindo das outras camadas, as quais não diferiram entre si. Evidenciando-se, ainda nesta seqüência, tendência de diminuição com o aumento da profundidade, influenciado pelo maior acúmulo do resíduo vegetal na camada superficial do solo. O acúmulo de M.O. na camada superficial decorre do acúmulo de resíduos vegetais sobre a superfície no SPD, devido a não incorporação de resíduos vegetais (Santos & Siqueira, 1996).

Entre os valores médios de P disponível do solo nas profundidades (Tabela 6), constatou-se que 0 – 0,20 cm (12,4 mg dm<sup>-3</sup>) foi significativamente superior a 0,21 – 0,40 cm (10,6 mg dm<sup>-3</sup>) e 0,41 – 0,60 cm (10,8 mg dm<sup>-3</sup>). O acúmulo do nutriente na camada superficial do solo é resultante de sua liberação em maior quantidade da decomposição dos resíduos vegetais e diminuição da sua fixação, em decorrência do menor contato desse elemento com os constituintes do solo (Sidiras & Pavan, 1985). Entretanto, tais valores observados são considerados baixos e com tendência de diminuição, à medida que se aprofundam, no perfil, resultados que refletem a limitada mobilidade desse elemento no solo (Muzilli, 1983). Isto se evidencia claramente no experimento, ao se observar estreita relação direta dos níveis desse nutriente em profundidades com os de MO.

Com relação aos teores Ca<sup>2+</sup> trocável (Tabela 6), o valor da profundidade de 0 – 0,20 m (18,2 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) foi significativamente superior ao de 0,21 – 0,40 m (14,1 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e de 0,41 – 0,60 m (11,3 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Embora a diferença os

**Tabela 6.** Atributos químicos do solo em função da planta de cobertura e profundidade de amostragem, após 2 anos de cultivo do feijoeiro no município de Selvíria /MS, nas profundidades de 0,0 -0,60 m, no segundo ano de cultivo (2011).

| Tratamentos                        | P resina<br>mg dm <sup>-3</sup> | M.O.<br>g dm <sup>-3</sup> | pH<br>CaCl <sub>2</sub> | K                     | Ca                   | Mg                  | H + Al               | SB                   | CTC                  | V                   |
|------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
|                                    |                                 |                            |                         |                       |                      |                     |                      |                      |                      |                     |
| Coberturas vegetais                |                                 |                            |                         |                       |                      |                     |                      |                      |                      |                     |
| Milheto                            | 11,6                            | 15,1                       | 4,9                     | 1,33                  | 12,4                 | 8,3                 | 21,8                 | 21,9                 | 43,7                 | 50,0                |
| <i>Crotalaria juncea</i>           | 12,6                            | 14,1                       | 4,9                     | 1,03                  | 14,0                 | 9,9                 | 20,4                 | 24,9                 | 45,3                 | 54,6                |
| Guandu                             | 10,8                            | 14,5                       | 5,0                     | 0,58                  | 12,9                 | 8,5                 | 19,4                 | 22                   | 41,4                 | 52,7                |
| Mucuna preta                       | 11,8                            | 14,3                       | 4,8                     | 0,72                  | 24,7                 | 9,1                 | 20,4                 | 24,5                 | 44,9                 | 54,6                |
| Pousio                             | 11,1                            | 13,7                       | 5,1                     | 0,65                  | 15,3                 | 10,9                | 18,5                 | 26,8                 | 45,4                 | 58,3                |
| Milheto + Guandu                   | 10,6                            | 16,0                       | 5,1                     | 0,59                  | 15,5                 | 9,7                 | 18,3                 | 25,7                 | 44,0                 | 57,0                |
| Milheto + <i>Crotalaria juncea</i> | 10,8                            | 16,0                       | 5,0                     | 0,54                  | 15,5                 | 9,1                 | 19,6                 | 24,9                 | 44,6                 | 55,1                |
| Milheto + Mucuna preta             | 10,8                            | 14,9                       | 5,1                     | 0,59                  | 15,9                 | 9,3                 | 20,5                 | 25,9                 | 46,4                 | 54,8                |
| DMS                                | 2,54                            | 3,7                        | 0,34                    | 0,7                   | 4,1                  | 2,76                | 3,47                 | 5,57                 | 6,66                 | 8,9                 |
| <b>Profundidade (m)</b>            |                                 |                            |                         |                       |                      |                     |                      |                      |                      |                     |
| 0 - 0,20                           | 12,4 a                          | 16,4 a                     | 5,0                     | 1,5 a                 | 18,2 a               | 11,8 a              | 18,2 b               | 31,5 a               | 49,7 a               | 63,3 a              |
| 0,20 - 0,40                        | 10,6 b                          | 14,2 b                     | 5,0                     | 0,5 b                 | 14,1 b               | 8,2 b               | 19,4 b               | 22,8 b               | 42,2 b               | 53,9 b              |
| 0,40 - 0,60                        | 10,8 b                          | 13,9 b                     | 4,5                     | 0,3 c                 | 11,3 c               | 8,1 b               | 22,0 a               | 19,6 c               | 41,6 b               | 47,2 c              |
| DMS                                | 1,2                             | 1,7                        | 0,2                     | 0,2                   | 1,9                  | 0,3                 | 1,62                 | 2,6                  | 3,1                  | 2,8                 |
| CV (%)                             | 15,10                           | 16,66                      | 4,52                    | 36,65                 | 18,88                | 16                  | 11,7                 | 15,1                 | 10,0                 | 7,33                |
| Valores de F                       |                                 |                            |                         |                       |                      |                     |                      |                      |                      |                     |
| Coberturas vegetais (A)            | 1,442 <sup>ns</sup>             | 1,036 <sup>ns</sup>        | 1,546 <sup>ns</sup>     | 7,117 <sup>ns</sup>   | 1,975 <sup>ns</sup>  | 2,60 <sup>ns</sup>  | 2,172 <sup>ns</sup>  | 2,050 <sup>ns</sup>  | 0,988 <sup>ns</sup>  | 3,633 <sup>ns</sup> |
| Profundidade (B)                   | 7,526 <sup>**</sup>             | 6,962 <sup>**</sup>        | 2,319 <sup>ns</sup>     | 126,988 <sup>**</sup> | 39,145 <sup>**</sup> | 47,39 <sup>**</sup> | 16,626 <sup>**</sup> | 64,868 <sup>**</sup> | 51,019 <sup>**</sup> | 53,4 <sup>**</sup>  |
| A *B                               | 2,038 <sup>ns</sup>             | 1,353 <sup>ns</sup>        | 0,431 <sup>ns</sup>     | 4,876 <sup>ns</sup>   | 1,445 <sup>ns</sup>  | 3,387 <sup>ns</sup> | 1,127 <sup>ns</sup>  | 1,919 <sup>ns</sup>  | 1,931 <sup>ns</sup>  | 1,506 <sup>ns</sup> |

valores de Ca estão em nível considerado alta para as culturas segundo Raij et al. (1997).

Os teores de  $K^+$  e  $Mg^{2+}$  trocável (Tabela 6) também foram maiores na camada de 0 – 0,20 m, diferindo dos teores das outras camadas. Para  $K^+$ , os referidos valores estão em nível considerado baixo para as culturas, e para  $Mg^{2+}$  considerado alto para as culturas segundo Raij et al. (1997).

Para as características SB, CTC e V na Tabela 6 constatou-se, em seus valores, que o da profundidade de 0 – 0,20 m foi significativamente superior ao das outras profundidades. Vê-se que tais resultados estão em consonância com os relatados para o  $Ca^{2+}$  do experimento, o que se deve ao fato, que o nível de  $Ca^{2+}$  trocável no solo influencia diretamente os valores de SB e CTC calculados, por fazer parte de suas determinações (Embrapa, 1997).

De modo geral, o teor de MO (Tabela 6) foi maior na camada de 0 – 0,20 m, diferindo das outras camadas, com menor teor na camada de 0,41 – 0,60 m. Este mesmo comportamento foi verificado para os valores de CTC e V % (Tabela 6). Para  $H^+Al^{3+}$  (Tabela 6) ocorreu o contrário, ou seja, aumento em profundidade. O valor de SB também foi maior na camada de 0 – 20 m e diferiu das demais profundidades amostradas. O acúmulo de MO na camada superficial decorre do acúmulo de resíduos vegetais sobre a superfície no SPD, devido a não incorporação de resíduos vegetais (Santos & Siqueira, 1996). A MO é uma das principais responsáveis pelo aumento da CTC do solo, o que explica a sua diminuição no perfil do solo. Com a diminuição de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  (Tabela 6) em profundidade, a SB diminuiu e, como houve aumento dos valores de  $H^+Al^{3+}$  em profundidade, ocorreu também diminuição do V%.

## Conclusões

As espécies utilizadas como cobertura ocasionaram alterações nas propriedades químicas e físicas do solo.

O solo mantido com milho + mucuna preta apresentou os maiores valores de P e Ca, sobre milho maiores valores de MO, o com guandu maiores valores de K, e aqueles sob o consórcio milho + guandu maiores concentrações de de Mg.

O solo mantido com milho apresentou menores valores de densidade e maiores valores de porosidade.

## Literatura Citada

- Almeida, V. P. Sucessão de culturas em preparo convencional e plantio direto em Latossolo Vermelho sob vegetação de cerrado. Ilha Solteira: Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2001. 71p. Dissertação Mestrado.
- Alves, M. C. Recuperação do subsolo de um Latossolo Vermelho usado para terrapleno e fundação da usina hidrelétrica de Ilha Solteira-SP. Ilha Solteira: Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2001. 83p. Tese Livre Docência.
- Ambrosano, E. J.; Tanaka, R. T.; Mascarenhas, H. A. A. Leguminosas e oleaginosas. In: Raij, B. van; Quaggio, J. A.; Cantarella, H. (Eds.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. p.187-203.
- Andreola, F.; Costa, L. M.; Mendonça, E. S.; Olszewski, N. Propriedades químicas de uma Terra Roxa Estruturada influenciadas pela cobertura vegetal de inverno e pela adubação orgânica e mineral. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.24, n. 3, p.609-620, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832000000300014>.
- Andrioli, I. Plantas de cobertura do solo em pré-safra a cultura do milho em plantio direto, na região de Jaboticabal-SP. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 2004. 78p. Tese Livre Docência.
- Argenton, J.; Albuquerque, J.A.; Bayer, C. & Wildner, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, n.3, p.425-435, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000300013>.
- Bressan, S. B.; Nóbrega, J. C. A.; Nóbrega, R. S. A.; Barbosa, R. S.; Sousa, L. B. Plantas de cobertura e qualidade química de Latossolo Amarelo sob plantio direto no cerrado maranhense. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, n.4, p.371-378, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000400003>.
- Calegari, A.; Mondardo, A.; Bulisani, E. A.; Costa, M. B. B.; Miyasaka, S.; Amado, T. J. C. Aspectos gerais da adubação verde. In: Costa, M. B. B. (Coord.). Adubação verde no sul do Brasil. 2.ed. Rio de Janeiro: Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa. 1993. p.1-56.
- Cardoso, D. P.; Silva, M. L. N.; Carvalho, J. G.; Freitas, D. A. F.; Avanzi, J. C. Espécies de plantas de cobertura no condicionamento químico e físico do solo. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 8, n. 3, p. 375-382, 2013. <https://doi.org/10.5039/agraria.v8i3a2421>.
- Centurion, J. F. Balanço hídrico da região de Ilha Solteira. Científica, v. 10, n.1, p. 57-61, 1982.
- Cunha, E. Q.; Stone, L. F.; Didonet, A. D.; Ferreira, E. P. B.; Moreira, J. A. A.; Leandro, W. M. Atributos químicos de solo sob produção orgânica influenciados pelo preparo e por plantas de cobertura. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, n.10, p.1021-1029, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011001000005>.
- Denardin, J. E.; Kochhann, R. A. Requisitos para a implantação e a manutenção do sistema plantio direto. In: CNPT-Embrapa; Fundacep-Fecotriga; Fundação ABC (Eds.). Plantio direto no Brasil. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1993. p.19-27.
- Eltz, F. L. P.; Peixoto, R. T. G.; Jaster, F. Efeito de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno Álico. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 13, n. 2, p. 259-267, 1989.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPQ, 1997. 212 p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa-Serviço de Produção de Informação, 2006. 306 p.
- Ferreira, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.

- Genro Junior, S. A.; Reinert, D. J.; Reichert, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n.3, p. 477-484, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000300009>.
- Guimarães, G. L. Efeito de culturas de inverno e do pousio na rotação das culturas da soja e do milho em sistema de plantio direto. Ilha Solteira: Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2000. 104p. Dissertação Mestrado.
- Jones, C. A. Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth. *Soil Science Society of America Journal*, v. 47, n. 6, p. 1208-1211, 1983. <https://doi.org/10.2136/sssaj1983.03615995004700060029x>.
- Kiehl, E. J. Manual de edafologia relação solo-planta. São Paulo: Ceres, 1979. 264 p.
- Klein, V.A. Densidade relativa - um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v.5, n.1, p.26-32, 2006. [http://rca.cav.udesc.br/rca\\_2006\\_1/klein.pdf](http://rca.cav.udesc.br/rca_2006_1/klein.pdf). 20 Jan. 2016.
- Leite, L. F. C.; Mendonça, E. S., Machado, P. L. O. A., Matos, E. S. Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow Podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic Forest Zone, Southeastern Brazil. *Australian Journal Soil Research*, v.41, n.4, p.717-730, 2003. <http://dx.doi.org/10.1071/SR02037>.
- Lemos Filho, L. C. A.; Oliveira, E. L.; Faria, M. A.; Bastos, L. A. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). *Revista Ciência Agronômica*, v. 39, n.2, p. 193-202, 2008. <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/47>. 5 Dez. 2015.
- Lourenço, A. J.; Matsui, E.; Delistoianoy, J.; Boin, C.; Bortoleto, O. Efeito de leguminosas tropicais na matéria orgânica do solo e na produtividade do sorgo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.17, n.3, p.263-268, 1993.
- Muzilli, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional sobre a fertilidade da camada arável do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 7, n.1, p. 95-102. 1983.
- Oliveira, F. H. T.; Arruda, J. A.; Silva, I. F.; Alves, J. C. Amostragem para avaliação da fertilidade do solo em função do instrumento de coleta das amostras e de tipos de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n.5, p. 973-983, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000500014>.
- Olness, A., Clapp, C.E., Liu, R., Palazzo, A.J., Biosolids and their effects on soil properties. In: Wallace, A.; Terry, R.E. (Eds.). *Handbook of soil conditioners*. New York, NY: Marcel Dekker, 1998. p.141- 165.
- Osterroht, M. von. O que é uma adubação verde: princípios e ações. *Agroecologia Hoje*, v.14, n.1, p.9-11, 2002.
- Raij, B. van; Andrade, J. C.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 285p.
- Raij, B. van; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1997. 287 p.
- Rao, R. B.; Li, Y. C. Nitrogen mineralization of cover crop residues in calcareous gravelly soils. *Communications in Soil Science Plant Analyses*, v.34, n.3-4, p.299-313, 2003. <https://doi.org/10.1081/CSS-120017822>.
- Reichert, J. M.; Reinert, D. J.; Braida, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Revista Ciência e Ambiente*, v. 27, p. 29-48, 2003. [https://www.researchgate.net/publication/274250019\\_Qualidade\\_dos\\_solos\\_e\\_sustentabilidade\\_de\\_sistemas\\_agricolas](https://www.researchgate.net/publication/274250019_Qualidade_dos_solos_e_sustentabilidade_de_sistemas_agricolas). 02 Dez. 2015.
- Rosolem, C. A.; Foloni, J. S. S.; Tiritan, C. S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. *Soil and Tillage Research*, v. 65, n.1, p. 109-115, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987\(01\)00286-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00286-0).
- Santos, H. P.; Siqueira, O. J. W. Plantio direto e rotação de culturas para cevada: efeitos sobre a fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 20, n.1, p. 163-169, 1996.
- Sidiras, N.; Pavan, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 9, n.2, p. 249-254, 1985.
- Silva, I. F.; Mielniczuk, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 21, n.1, p. 113-117, 1997.
- Steenwerth, K.; Belina, K. M. Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem. *Applied Soil Ecology*, v.40, n.2, p.359-369, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.06.006>.
- Veihmeyer, F. J.; Hendrickson, A. H. Soil density as a factor in determining the permanent wilting percentage. *Soil Science*, v. 62, n.6, p. 451-456, 1946. <https://doi.org/10.1097/00010694-194612000-00003>.
- Wutke, E. B.; Fancelli, A. L.; Pereira, J. C. V. A.; Abrosano, G. M. B. Rendimento do feijoeiro irrigado em rotação com culturas graníferas e adubos verdes. *Bragantia*, v. 57, n.2, p. 325-338, 1998. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051998000200014>.
- Xu, X.; Nieber, J. L.; Gupta, S. C. Compaction effect on the gas diffusion coefficient in soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 56, n.6, p. 1743-1750, 1992. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600060014x>.