

YARA KARINE DE LIMA SILVA

**PLANTAS DE COBERTURA E SEUS EFEITOS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO CULTIVADO COM MILHO E NA
FITOSSOCIOLOGIA DE PLANTAS DANINHAS**

Dissertação/ apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal), para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Alberto Carvalho Filho

Coorientadores:

Everaldo Antônio Lopes
Luís César Dias Drumond
Marcelo Rodrigues dos Reis

**RIO PARANAÍBA - MINAS GERAIS
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Universidade Federal
de Viçosa - Campus Rio Paranaíba**

T

S586p
2020

Silva, Yara Karine de Lima, 1995-

Plantas de cobertura e seus efeitos nos atributos físicos de
Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com milho e na
fitossociologia de plantas daninhas / Yara Karine de Lima Silva.
– Rio Paranaíba, MG, 2020.

55 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Alberto Carvalho Filho.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Fitossociologia. 2. Plantas daninhas. 3. Solo.

I. Universidade Federal de Viçosa. Instituto de Ciências
Agrárias. Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal).

II. Título.

632.5

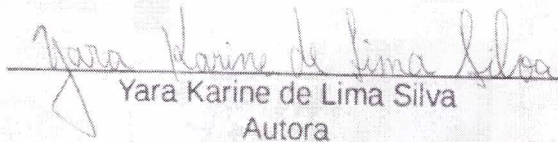
YARA KARINE DE LIMA SILVA

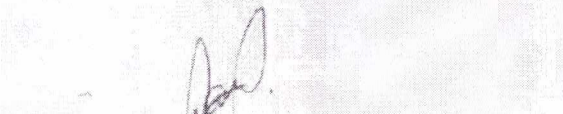
**PLANTAS DE COBERTURA E SEUS EFEITOS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS
DE LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO CULTIVADO COM MILHO E NA
FITOSSOCIOLOGIA DE PLANTAS DANINHAS**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação do Mestrado em
Agronomia (Produção Vegetal), para
obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

APROVADA: 01 de dezembro de 2020.

Assentimento:


Yara Karine de Lima Silva
Autora


Alberto Carvalho Filho
Orientador

Aos meus familiares.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“O segredo da força está na vontade.”

(Giuseppe Mazzini)

RESUMO

SILVA, Yara Karine de Lima, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa – *Campus* de Rio Paranaíba, dezembro de 2020. **Plantas de cobertura e seus efeitos nos atributos físicos de Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com milho e na fitossociologia de plantas daninhas.** Orientador: Alberto Carvalho Filho. Coorientadores: Everaldo Antônio Lopes, Luís César Dias Drumond e Marcelo Rodrigues dos Reis.

Técnicas de manejo do solo como o uso de culturas de cobertura têm sido eficientes em diferentes aspectos dentro do sistema de manejo. Esse trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos na física do solo, supressão de plantas daninhas e produtividade da cultura do milho por cinco tratamentos principais com sistemas de preparos periódicos primários do solo na parcela: P1 – grade aradora; P2 – arado de discos; P3 – enxada rotativa; P4 – plantio direto; P4 – escarificador e quatro plantas de cobertura na subparcela: T1 – braquiária (*Urochloa ruziziensis*); T2 – nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), T3 – crotalária (*Crotalaria juncea*), T4 – milheto (*Pennisetum glaucum*) e um tratamento com T5 – escarificação mecânica sem cobertura do solo. Nas camadas de 0,10 a 0,20 e de 0,20 a 0,30m onde se constatou compactação do solo as plantas de cobertura reduziram em média 37,2% e 47,2% da RMSP, respectivamente. De modo geral o nabo forrageiro foi a espécie que mais se destacou na melhoria da densidade do solo. O nabo mostrou ser a espécie com maior potencial de supressão para essas condições experimentais, apresentando menor índice de frequência, densidade e abundância de plantas daninhas. A maior densidade e abundância de plantas daninhas foram observadas na área escarificada e sem plantas de cobertura (controle). Os maiores teores foliares de macronutrientes em foram obtidos com cultivo de nabo forrageiro e crotalária, sobretudo de S, P, Ca e N. Quanto aos micronutrientes a planta daninha *Galinsoga parviflora* apresentou maiores teores principalmente Mn, Fe e B. A cultura do milho não apresentou diferença no coeficiente de variação da semeadura nem na sua produtividade de silagem e grãos em relação aos preparos e às culturas de cobertura.

Palavras-chave: Supressão de plantas daninhas. Espécies de cobertura. Física do solo.

ABSTRACT

SILVA, Yara Karine de Lima, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa – Rio Paranaíba *Campus*, December, 2020. **Cover plants and their effects on the physical attributes of red-yellow latosol cultivated with corn and on the phytosociology of weeds.** Advisor: Alberto Carvalho Filho. Co-advisors: Everaldo Antônio Lopes, Luís César Dias Drumond and Marcelo Rodrigues dos Reis.

Soil management techniques such as the use of cover crops have been efficient in different aspects within the management system. This work aimed to evaluate the effects on soil physics, weed suppression and corn crop productivity by five main treatments with primary periodic soil preparation systems in the plot: P1 - plow harrow; P2 - disc plow; P3 - rotary hoe; P4 - no-till; P4 - scarifier and four cover plants in the subplot: T1 - brachiaria (*Urochloa ruziziensis*); T2 - forage turnip (*Raphanus sativus*), T3 - crotalaria (*Crotalaria juncea*), T4 - millet (*Pennisetum glaucum*) and a treatment with T5 - mechanical scarification without soil cover. In the layers from 0.10 to 0.20 and from 0.20 to 0.30 m, where soil compaction was found, the cover plants reduced on average 37.2% and 47.2% of the RMSP, respectively. In general, forage turnip was the species that stood out the most in improving soil density. The turnip proved to be the species with the greatest suppression potential for these experimental conditions, with the lowest frequency, density and abundance of weeds. The highest density and abundance of weeds were observed in the scarified area and without cover plants (control). The highest leaf contents of macronutrients in were obtained with cultivation of forage turnip and crotalaria, especially of S, P, Ca and N. As for the micronutrients, the weed *Galinsoga parviflora* presented higher contents mainly Mn, Fe and B. showed a difference in the coefficient of variation of the sowing or in its productivity of silage and grains in relation to the preparations and cover crops.

Keywords: Suppression of weeds. Cover species. Soil physics.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	9
1.1. REFERÊNCIAS.....	11
2. CAPÍTULO I: PLANTAS DE COBERTURA E SEUS EFEITOS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO CULTIVADO COM MILHO.....	12
2.1. Introdução	13
2.2. Material e métodos.....	15
2.3. Resultados e Discussão.....	20
2.4. Conclusões	31
2.5. REFERÊNCIAS.....	31
3. CAPÍTULO II: PLANTAS DE COBERTURA NA SUPRESSÃO DE PLANTAS DANINHAS E PRODUTIVIDADE DO MILHO	37
3.1. Introdução	38
3.2. Material e métodos.....	41
3.3. Resultados e Discussão.....	45
3.4. Conclusões	51
3.5. REFERÊNCIAS.....	51
4. CONCLUSÃO GERAL.....	55

1. INTRODUÇÃO GERAL

A modernização das práticas no campo com a utilização da mecanização tem trazido avanços na agricultura, tornando-a mais competitiva e altamente intensiva, lançando mão de técnicas alternativas menos danosas ao meio ambiente, mais econômicas e eficientes.

O Cerrado é segundo maior bioma brasileiro com cerca de 2 milhões de km² e ocupa 24% do total da área do país (BUSTAMANTE et al., 2004). Os solos do Cerrado se caracterizam naturalmente como bem drenados, profundos, ácidos, com fertilidade baixa e alta saturação por alumínio, sendo em sua maioria classificados como Latossolos (FELFILI e SILVA JUNIOR, 2005). Entretanto, este bioma atualmente representa elevado potencial e importância produtiva com a ocorrência da expansão das práticas de manejo agrícola (WENDLING et al., 2014).

O conhecimento dos danos provocados pelos diferentes sistemas de manejo é essencial para melhorar a qualidade física e química do solo, isso porque o revolvimento excessivo ou o uso de práticas pouco conservacionistas podem provocar aumento da densidade, diminuição da macroporosidade e porosidade total dentre outros danos (MELO et al., 2016). Técnicas de manejo do solo que visem minimizar os impactos ao meio ambiente e aumentar a produtividade das culturas garantem a sustentabilidade da exploração agrícola. Dentre tais práticas, os sistemas de cultivo que utilizam o sistema de plantio direto (SPD) concomitante ao uso de plantas de cobertura têm sido eficientes ao propiciarem a proteção da superfície do solo e aumento do conteúdo de matéria orgânica que tem efeitos sobre a estruturação do solo, além de contribuir para a manutenção da sua umidade (NARESH et al., 2017). Entretanto, devido às condições climáticas da região do Cerrado, aliado à baixa produção de fitomassa na entressafra e sua rápida decomposição, há o baixo acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo em SPD, tornando a utilização de espécies de cobertura de decomposição mais prolongada uma eficiente estratégia (BRESSAN et al., 2013).

A produtividade das culturas é influenciada pelo manejo de plantas daninhas. Nesse sentido, as plantas de cobertura auxiliam no controle de plantas daninhas por supressão ou alelopatia, reduzindo a infestação e facilitando os cultivos de verão (CORREIA et al., 2013). Além disso, as plantas de cobertura podem ser usadas para manter fósforo disponível (P) dentro do sistema (WELCH et

al. 2016) e para mitigar mudanças climáticas pelo sequestro de carbono de 116 g CO₂/m²/ano para não-leguminosas e por 135 g CO₂/m²/ano para leguminosas (KAYE & QUEMADA, 2017).

Nesse sentido, o estudo dos benefícios no sistema planta-solo-manejo-ambiente se faz importante por buscar maior conservação do meio ambiente, do solo e do ambiente de cultivo, garantindo a produtividade das culturas. Diferentes espécies de plantas de cobertura foram utilizadas para a avaliação dos efeitos na física do solo e ciclagem de nutrientes, bem como a supressão de plantas daninhas e influência na produtividade de silagem e grãos da cultura do milho.

1.1. REFERÊNCIAS

- BRESSAN, C. R.; KUNZ, A.; SCHMIDELL, W.; SOARES, H. M. Toxicity of the colistin sulfate antibiotic used in animal farming to mixed cultures of nitrifying organisms. *Water Air Soil Poll*, 224p. 2013.
- BUSTAMANTE, M. M. C.; MARTINELLI, L. A.; SILVA, D. A.; CAMARGO, P. B.; KLINK, C. A.; DOMINGUES, T. F.; SANTOS, R.V. 15N natural abundance in woody plants and soils of central Brazilian Savannas (Cerrado). *Ecological Applications*, v.14, p.200-213, 2004.
- CORREIA, N. B.; LEITE, M. B.; FUZITA, W. E. Consórcio de milho com *Urochloa ruziziensis* e os efeitos na cultura da soja em rotação. *Bioscience Journal* 29, n. 1, p. 65-76, 2013.
- FELFILI, J. M.; SILVA JUNIOR, M. C. Diversidade alfa e beta no cerrado sensu strictu, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Bahia. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. p.141- 154, 2005.
- KAYE, J. P. & QUEMADA, M. Using cover crops to mitigate and adapt to climate change: A review. *Agronomy Sustainable*, 37: 4, dev. 2017. DOI 10.1007/s13593-016-0410-x
- MELO, G. B.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; GUARESCHI, R. F & SOARES, P. F. C. Estoques e frações da matéria orgânica do solo sob os sistemas plantio direto e convencional de repolho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 9, p. 1511-1519, 2016.
- NARESH, R. K.; GUPTA, R. K.; RATHORE, R. S.; DWIVEDIL, A.; SINGH, H. L.; KUMAR, V.; SHUKLA, A. K.; SINGH, V.; SINGH, S. P.; TYAGIL, S. et al. Crop residue management and soil health with changing climate in smallholders farming: a subtropical Indian perspective. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6(2):1591–1609, 2017.
- WELCH, R. Y.; BEHNKE, G. D.; DAVIS, A. S.; MASIUNAS, J.; VILLAMILA, M. B. Using cover crops in headlands of organic grain farms: Effects on soil properties, weeds and crop yields. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 216, p. 322–332, 2016.
- WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; SÁ MENDONÇA, E.; ALMEIDA, R. F.; ALVARENGA, R. C. Simulação de estoques de carbono e nitrogênio pelo modelo century em Latossolos, no Cerrado brasileiro. *Revista Ciência Agronômica*, v.45, n.2, p.238-248, 2014.

2. CAPÍTULO I: PLANTAS DE COBERTURA E SEUS EFEITOS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO CULTIVADO COM MILHO

Resumo

Por meio da interpretação de atributos do solo é possível caracterizar as modificações resultantes da adoção de diferentes manejos. O emprego de sistemas de produção sustentáveis e conservacionistas, como a utilização de plantas de cobertura, tem colaborado para a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Este estudo teve como objetivo analisar os efeitos de plantas de cobertura das espécies braquiária (*Urochloa ruziziensis*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), crotalária (*Crotalaria juncea*), milheto (*Pennisetum glaucum*) versus operação mecanizada com escarificador sem cobertura do solo sobre os atributos físicos do solo com histórico de cinco sistemas de preparos periódicos primários do solo, utilizados desde o ano de 2014: P1 – grade aradora; P2 – arado de discos; P3 – enxada rotativa; P4 – plantio direto; P4 – escarificador. Nas camadas de 0,10 a 0,20 e de 0,20 a 0,30m onde se constatou compactação do solo as plantas de cobertura reduziram em média 37,2% e 47,2% da RMSP, respectivamente. De modo geral o nabo forrageiro foi a espécie que mais se destacou na melhoria da densidade do solo.

Palavras-chave: física de solo, culturas de cobertura, preparo de solo, porosidade.

Abstract

Through the interpretation of soil attributes it is possible to characterize the changes resulting from the adoption of different managements. The use of sustainable and conservationist production systems, such as the use of cover crops, has contributed to the improvement of the physical, chemical and biological attributes of the soil. This study aimed to analyze the effects of cover plants of the brachiaria (*Urochloa ruziziensis*), forage turnip (*Raphanus sativus*), crotalaria (*Crotalaria juncea*), millet (*Pennisetum glaucum*) versus mechanized operation with scarifier without soil cover on the attributes soil physicists with a history of five primary periodic soil preparation systems, used since 2014: P1 - plowing harrow; P2 - disc plow; P3 - rotary hoe; P4 - no-till; P4 - scarifier. In the layers from 0.10 to 0.20 and from 0.20 to 0.30 m, where soil compaction was found, the cover plants reduced on average 37.2% and 47.2% of the RMSP, respectively. In general, forage turnip was the species that stood out the most in improving soil density.

Keywords: soil physics, cover crops, soil preparation, porosity.

2.1 INTRODUÇÃO

Os atributos do solo podem caracterizar as modificações resultantes da adoção de diferentes manejos. Os parâmetros mais utilizados na avaliação física do solo são a densidade e porosidade do solo (CARVALHO et al., 2014), densidade de partículas (BATISTA et al., 2017) e resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) (TAVARES et al., 2014).

Os impactos negativos na qualidade física do solo em decorrência da mecanização agrícola torna os solos tropicais compactados e, portanto um ambiente desfavorável ao desenvolvimento das culturas, além da degradação ao meio ambiente, principalmente quando há o uso excessivo de maquinários no preparo de solo. Embora não haja consenso em relação aos efeitos da compactação sobre o incremento da biomassa aérea das culturas (FENNER, 2008), ela está associada a muitos problemas ambientais e agronômicos (KELLER, 2012).

A mecanização agrícola gera maior capacidade operacional no campo e reduz a demanda de mão-de-obra, o que pode resultar na diminuição dos custos de produção. No entanto, o excesso de uso de máquinas no campo provoca prejuízos na porosidade e permeabilidade do perfil, reduzindo a infiltração e armazenamento de água e dificultando o crescimento e a absorção de nutrientes pelas culturas. Complementar com as informações do parágrafo de cima e fazer da última frase um gancho para o próximo parágrafo.

Para a constatação de compactação do solo é necessário que se tenha a caracterização da sua textura, de forma a considerar os valores críticos de densidade na faixa de $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ para solos com mais de 55% de argila, $1,55 \text{ g cm}^{-3}$ para solos com 55 a 20% de argila e de $1,65 \text{ g cm}^{-3}$ para solos com menos de 20% de argila (REINERT et al., 2001). Com relação à resistência mecânica do solo à penetração, os valores críticos variam entre 6 e 7 MPa para solos arenosos e 2,5 MPa para solos argilosos (SENE et al., 1985). A macroporosidade tem limite inferior de $0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ para que as raízes possam ter a oxigenação satisfatória ao seu crescimento (REINERT et al., 2001).

A adoção de sistemas de produção sustentáveis e conservacionistas como a utilização de plantas de cobertura tem colaborado para a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, principalmente em razão da cobertura do solo, que contribuem para a redução da compactação e erosão, minimizando as perdas

de água, solo e nutrientes, além de promover o acúmulo de material orgânico na superfície do solo e redução das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) (FAVARATO et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2015; COLOMBO et al., 2017). Cultivos de cobertura proporcionam fitomassa na superfície do solo e seus resíduos vegetais podem diminuir o impacto da chuva e aumentar a infiltração da água (GUEDES FILHO et al., 2013; AMBROSANO et al., 2014; BETTIOL, 2014). Além disso, cultivar plantas de cobertura na entressafra tem impacto positivo no aumento de produtividade das lavouras, além da manutenção da palhada e aumento da produtividade agrícola (DIAS et al., 2015).

A utilização de plantas de cobertura, devido à penetração do sistema radicular, proporciona a descompacta o solo sem que seja necessário o seu revolvimento (SEVERIANO et al., 2010; SANTOS et al., 2014). Segundo Cunha et al. (2011), culturas agregadoras e com sistema radicular agressivo podem minimizar os efeitos negativos da degradação dos solos por meio de melhorias na sua estrutura. As raízes das plantas de cobertura têm função primordial na melhoria e estruturação do solo. A construção do perfil do solo é importante, porém seus efeitos na produtividade agrícola ainda são pouco reconhecidos (EMBRAPA, 2017). Tim Chamen et al. (2014), em uma revisão bibliográfica sobre o custo benefício de tecnologias de mitigação da compactação, concluíram que as operações mecanizadas têm um custo econômico dispendioso para os agricultores, porém utilizando tecnologias de prevenção da compactação possuem melhores resultados.

O conhecimento das condições edáficas e qualidade do solo podem auxiliar na avaliação da qualidade do processo de recuperação e manejo adequado do solo. A maioria dos estudos contempla somente o desenvolvimento vegetal (LONGO et al., 2011); porém, as características físicas do solo devem ser tratadas com atenção porque podem ser as principais limitações em áreas em que a fertilidade já se encontra corrigida e podem ser monitoradas por vários parâmetros. Práticas conservacionistas são importantes para agricultura sustentável, de modo a eliminar ou reduzir o revolvimento do solo e usar plantas de cobertura que estimulam a atividade da microbiota do solo e aumenta o estoque de carbono orgânico (SILVA, 2020). As plantas de cobertura têm função de descompactação biológica do solo, rompendo a camada que está compactada de forma mais uniforme diferente do que acontece com a utilização de subsoladores (CAMARGO e ALLEONI, 1997; AITA e GIACOMONI, 2003). Além disso, o sistema radicular agressivo das plantas de

cobertura extrai os nutrientes e após a sua acumulação há a decomposição e liberação gradual no solo (FIORIN, 1999).

A partir disto, este estudo tem como objetivo analisar os efeitos de plantas de cobertura das espécies braquiária (*Urochloa ruziziensis*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), crotalária (*Crotalaria juncea*), milheto (*Pennisetum glaucum*) versus operação mecanizada com escarificador sobre os atributos físicos do solo com histórico de diferentes tipos de preparo do solo.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. Histórico da área e caracterização da área experimental

O trabalho foi desenvolvido na área experimental da Universidade Federal de Viçosa, *Campus* de Rio Paranaíba, com altitude de 1128 m, localizada na posição geográfica (19° 12' 43" S e 46° 07' 56" W). A área pertence à bacia do Rio São Francisco, região do Alto Paranaíba, município de Rio Paranaíba (MG).

O município apresenta clima temperado úmido, sendo classificado pela escala de Köppen (1948) como Cwb. Este clima se caracteriza por conter duas estações muito bem definidas, com verão moderadamente quente e chuvoso e com inverno seco e frio. A temperatura média anual é de 20,4 °C e a pluviosidade média anual de 1570 mm.

A área experimental tem o histórico contendo os diferentes tipos de preparo desde o ano de 2014 em que anteriormente era formada com pastagem (braquiária). A cada ano, após se realizar os preparos do solo, cultivou-se culturas na área: soja em 2014, milho para produção de grão em 2015 e milho para a produção de silagem em 2016 e 2017. Em 2018 cultivou-se feijão, com preparo primário convencional com grade pesada em toda a área. Durante o ano de 2019, até a instalação do experimento nas subparcelas (outubro de 2019) a área ficou em pousio com cobertura de plantas daninhas e braquiária.

Para a instalação das subparcelas o controle das plantas daninhas e braquiária, após o pousio, foi feito através de uma roçada e uma aplicação de glifosato (4 L/ha).

2.2.2. Instalação das subparcelas

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições. Nas parcelas continham os cinco tratamentos principais com sistemas de preparos periódicos primários do solo anteriormente adotados (histórico de preparo desde 2014) utilizando: P1 – grade aradora; P2 – arado de discos; P3 – enxada rotativa; P4 – plantio direto; P4 – escarificador. Nas subparcelas, instaladas em outubro de 2019, incluíram quatro plantas de cobertura braquiária (*Urochloa ruziziensis*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), crotalária (*Crotalaria juncea*), milho (*Pennisetum glaucum*) e um tratamento com operação mecanizada (controle), caracterizada por escarificador mecânico sem cobertura do solo. As parcelas tinham dimensões de 10 m de comprimento por 10 m de largura e foram divididas em subparcelas de 2m de largura e 10m de comprimento. Dentro das subparcelas, as camadas avaliadas de 0,0 m até a camada de 0,40 m para densidade e porosidade e até 0,60 m para resistência mecânica do solo à penetração, com avaliação de 0,10 a 0,10 m (RMSP).

Após o controle das plantas daninhas e braquiária com roçada e aplicação de glifosato, a semeadura das quatro espécies de cobertura foi realizada manualmente no início do período chuvoso do ano de 2019 após a abertura do sulco de plantio, com semeadora de plantio direto e adubação química de base. O espaçamento entre linhas foi de 0,50 m e a densidade de plantio foi de 20 sementes/m para o nabo forrageiro e para a braquiária, 30 sementes/m para a crotalária e 60 sementes/m para o milho. A adubação de base foi feita nos sulcos na dose de 215 kg/ha da fórmula 08-28-16. Aos 90 dias após o plantio, as plantas de cobertura foram roçadas com roçadora montada nos três pontos do trator para as avaliações dos atributos físicos do solo e, posteriormente, se realizar o plantio da cultura do milho.

2.2.3. Avaliação dos atributos físicos do solo

Densidade

Foi feita a amostragem indeformada do solo em cada unidade experimental antes do pousio e após o cultivo das plantas de cobertura. A amostragem foi

realizada com trado de Uhland, com anel volumétrico de 100 cm³. Nesse estudo, a densidade foi determinada em camadas de 0,10 m ao longo do perfil até a camada de 0,40 m pelo método do anel volumétrico (DONAGEMA, 2011).

Após a coleta das amostras os anéis volumétricos foram identificados, vedados com tecido poroso e fixados com borracha e tampa de plástico, colocados em caixas de isopor e levados ao laboratório para as análises. A densidade foi determinada após as avaliações da porosidade nas mesmas amostras indeformadas retiradas no experimento. As amostras após saturação e sucção em mesa de tensão para a determinação da macroporosidade, microporosidade e porosidade total foram colocadas na estufa de ventilação forçada a uma temperatura de 105°C até a obtenção de massa constante. Após essa secagem, as amostras foram pesadas em balança de precisão de 0,01g para obtenção da massa seca do solo e calculou-se a densidade (Equação 1), sendo os valores expressos em g.cm⁻³, descontando a massa do anel volumétrico, do tecido poroso e da borracha que o fixou.

Equação 1.

$$D_s = \frac{a}{b}$$

D_s = densidade do solo (g.cm⁻³)

a = massa da amostra seca a 105°C (g)

b = volume do anel volumétrico (cm³)

Porosidade

Para a avaliação da porosidade utilizou-se as mesmas amostras indeformadas coletadas para a determinação da densidade. A porosidade total foi determinada pelo cálculo da relação entre a densidade do solo seco em estufa e a densidade de partículas (Equação 2) determinada pelo método do balão volumétrico (DONAGEMA, 2011). A densidade de partículas consiste em determinar o volume de álcool necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico de 50 mL, contendo 20 g de solo. No cálculo da densidade de partículas tem-se que:

Equação 2.

$$D_p = \frac{a}{50 - b}$$

D_p = densidade de partículas (g.cm^{-3})
 a = massa da amostra seca a 105°C (g)
 b = volume de álcool gasto (cm^{-3})

Após a determinação da densidade de partículas e a densidade do solo seco, calcula-se a porosidade total (Equação 3):

Equação 3.

$$PT = \left(1 - \frac{D_s}{D_p}\right) 100$$

PT = porosidade total porcentagem ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$)
 D_s = densidade do solo (g.cm^{-3})
 D_p = densidade de partículas (g.cm^{-3})

A microporosidade é definida pelo volume de água que é retirada nos microporos das amostras indeformadas (Equação 4) que são submetidas à sucção de 6 kPa na mesa de tensão (DONAGEMA, 2011). A determinação da massa de água dos microporos é obtida por meio da pesagem da massa da amostra após o tempo de equilíbrio de 24h e é descontada da massa do solo seco. Com isso, tem-se a fórmula do cálculo da microporosidade:

Equação 4.

$$M_i = \frac{(a - b)}{c}$$

M_i = microporosidade ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$)
 a = massa do conjunto amostra-cilindro-tecido-borracha após equilíbrio a 6 kPa (g)
 b = massa do solo seco a 105°C (g)
 c =volume do anel volumétrico (cm^3)

A macroporosidade, por sua vez, é dada pela diferença da porosidade total e a microporosidade (Equação 5).

Equação 5.

$$Ma = (PT - Mi)$$

Ma= macroporosidade ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$)

PT= porosidade total ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$)

Mi= microporosidade ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$)

Resistência mecânica do solo à penetração

Para a determinação da RMSP antes e depois do cultivo das plantas de cobertura utilizou-se o penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf, ponta cônica tipo 2, com diâmetro de 12,83 mm e ângulo sólido de 30°, embolo padrão de 4 kg e altura para deslocamento vertical do embolo de 0,40 m (ASAE, 1999). Na determinação feita antes do cultivo das plantas de cobertura foram avaliados três perfis por unidade experimental, em camadas de 0,10 m até a profundidade de 0,60 m, para a determinação da RMSP e o valor médio em cada camada foi utilizado para representar cada parcela. Todas as avaliações de RMSP ocorreram em um mesmo dia e ao lado onde foram obtidas as amostras indeformadas de solo para avaliação da densidade e umidade do solo.

Os resultados obtidos com o penetrômetro de impacto, fornecidos em “cm impacto⁻¹”, foram transformados em kgf cm^{-2} , conforme a equação 1 (STOLF, 1991) e, posteriormente, multiplicados pelo fator 0,098 para transformação da resistência mecânica do solo à penetração em MPa (Equação 6).

Equação 6.

$$IC = \left(\frac{Mg+mg}{A} \right) + \left[\left(\frac{M}{M+m} \right) x \left(\frac{Mg \times h}{A+P} \right) \right] \quad (1)$$

IC= índice de cone (kgf.cm^{-2})

Mg= massa do peso do êmbolo (kgf)

m_g = massa do penetrômetro sem o êmbolo (kgf)
 A = área da base do cone (cm^2)
 M = massa do êmbolo (kg)
 m = massa do penetrômetro sem o êmbolo (kg)
 h = altura de queda do êmbolo (cm)
 P = penetração unitária ocasionada por um impacto (cm)

Ao final do estabelecimento das plantas de cobertura, foi feita novamente a verificação da RMSP com a mesma metodologia anteriormente ao longo do perfil em camadas de 0,10 m até a profundidade de 0,60 m. A avaliação foi feita com o mesmo penetrômetro de impacto utilizado para a caracterização anterior à instalação do experimento. Foram avaliados quatro perfis por cada subparcela contendo as plantas de cobertura sobre os diferentes preparos de solo, totalizando 400 pontos amostrais. Todos os pontos foram amostrados no mesmo dia e em pleno período chuvoso em que a umidade do solo se encontrava totalmente homogênea ao longo do perfil, sem que houvesse a possibilidade de qualquer variação da RMSP fosse em razão desta levando a interpretações errôneas deste atributo físico do solo.

2.2.4. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos aos testes de Levene, Jarque-Bera (JARQUE & BERA, 1980) e ESD Generalizado (ROSNER, 1983) para avaliação das condições de homogeneidade das variâncias, normalidade dos resíduos e presença de outliers, respectivamente. Foi realizada a análise de variância dos dados, e as médias comparadas pelo teste Student Newman - Keuls (SNK) a 5 % de probabilidade quando houve diferenças significativas encontradas pelo teste F. Os testes estatísticos foram realizados através do software SPEED Stat (CARVALHO e MENDES, 2017).

2.3. Resultados e Discussão

Antes do cultivo das plantas de cobertura verificou-se que a densidade obteve-se valores de 1,02 a 1,05 g cm^{-3} na camada de 0,10 a 0,20 m e de 1,21 e 1,25 g cm^{-3} na camada de 0,20 a 0,30 m. Os valores de RMSP na camada de 0,20 a 0,30 m estão acima do valor crítico de 2,5 MPa (DAVIES & ZHANG, 1991;

TARDIEU, 1994), estando na faixa de 2,46 a 3,37 MPa. Também para os preparos com enxada rotativa e plantio direto houve constatação de compactação na camada de 0,10 a 0,20 m, obtendo 2,63 e 2,92 MPa, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. Densidade do solo (Ds), Resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) e Umidade do solo (U%), determinadas antes da instalação das plantas de cobertura, em diferentes sistemas de preparo primário do solo. Dados de densidade, RMSP e umidade após operações mecanizadas de AD (arado de discos), GA (grade aradora), ES (escarificador), ER (enxada rotativa) e no PD (plantio direto).

Profundidade (m)	Sistemas de preparo					CV (%)
	GA	ES	AD	PD	ER	
Ds (g cm ⁻³)						
0,00 - 0,10	1,10 bA	1,09 cA	1,05 cA	1,08 bA	1,02 bA	4,17
0,10 - 0,20	1,23 aA	1,25 aA	1,24 aA	1,22 aA	1,21 aA	4,11
0,20 - 0,30	1,22 aA	1,22 abA	1,25 aA	1,22 aA	1,21 aA	3,51
0,30 - 0,40	1,20 aA	1,22 abA	1,22 aA	1,20 aA	1,17 aA	2,69
0,40 - 0,50	1,15 abA	1,18 abA	1,18 abA	1,17 abA	1,14 aA	2,86
0,50 - 0,60	1,16 abA	1,17 bcA	1,12 bcA	1,16 abA	1,15 aA	3,38
m	RMSP (MPa)					
0,00 - 0,10	0,83 cA	1,06 bA	0,72 cA	1,28 cA	0,83 bA	20,42
0,10 - 0,20	2,07 abA	2,24 abA	2,24 abA	2,92 abA	2,63 aA	19,63
0,20 - 0,30	2,47 aB	2,46 aB	2,63 aAB	3,37 aA	2,86 aAB	14,4
0,30 - 0,40	2,41 aA	2,41 aA	2,01 bA	2,92 abA	2,69 aA	19,07
0,40 - 0,50	1,96 abA	1,84 abA	1,96 bA	2,13 bcA	2,13 aA	14,95
0,50 - 0,60	1,73 bA	1,73 abA	1,73 bA	2,07 bcA	2,01 aA	18,92
M	U %					
0,00 - 0,10	32,82 aA	31,95 aA	31,72 aA	29,83 aA	30,91 aA	12,64
0,10 - 0,20	31,11 aA	30,88 aA	31,69 aA	31,24 aA	30,96 aA	7,51
0,20 - 0,30	31,48 aA	30,69 aA	31,33 aA	31,53 aA	30,76 aA	7,73
0,30 - 0,40	31,42 aA	31,68 aA	31,77 aA	31,98 aA	31,84 aA	7,44
0,40 - 0,50	33,62 aA	32,60 aA	33,22 aA	33,23 aA	33,02 aA	5,46
0,50 - 0,60	34,02 aA	33,75 aA	34,65 aA	33,48 aA	33,80 aA	4,95

Letras maiúsculas na linha e minúscula na coluna não diferem entre si por SNK à 5%.

Tais resultados estão relacionados à capacidade de penetração dos equipamentos de preparo de solo, onde a enxada rotativa penetra somente até 0,10 m de profundidade e os demais equipamentos conseguem penetrar abaixo desta profundidade, formando uma camada compactada na profundidade de 0,20 m. No sistema de plantio direto a constatação da compactação na camada de 0,10 a 0,20 m é devido à influência das passadas dos rodados do trator ao longo do tempo sem haver o preparo de solo.

A resistência mecânica do solo à penetração mostrou-se mais sensível que a densidade do solo na avaliação de uma possível compactação. Nota-se que a camada superior apresentou baixo valor da DS e de RMSP, possivelmente pela ação da matéria orgânica. Ainda, de modo geral, esses valores foram semelhantes aos encontrados na camada abaixo de 0,40 m, o que pode ser justificado pelo menor efeito dos órgãos ativos dos equipamentos agrícolas utilizados nas maiores profundidades. Esses resultados também foram observados por Gamero & Benez (1990). Essa conclusão pode ser tomada pela homogeneidade de umidade em que não apresentaram diferença significativa entre as camadas avaliadas, não interferindo na penetração da haste do penetrômetro em todo o perfil até a última camada.

Observou-se que as plantas de cobertura descompactaram o solo, reduzindo consideravelmente todos os valores de RMSP (Tabela 2).

Tabela 2. Resistência mecânica do solo à penetração em Mpa após ao plantio das plantas.

Parcela	GA	ES	AD	PD	ER	*mm	CV%
Subparcela	0,00 a 0,10 m						25,14%
Milheto	1,07 Aa	1,41 Aab	1,58 Aa	1,32 Aa	1,32 Aa		
Braquiária	1,32 Aa	1,32 Aab	1,49 Aa	1,41 Aa	1,49 Aa		
Crotalaria	1,49 Aa	1,24 Ab	1,49 Aa	1,41 Aa	1,41 Aa		
Nabo forrageiro	1,15 Aa	1,66 Aab	1,49 Aa	1,41 Aa	1,41 Aa		
Escarificador mm	1,49 Aa	1,75 Aa	1,41 Aa	1,58 Aa	1,26 Aa		
0,10 a 0,20 m							12,42%
Braquiária	1,66 Aa	1,75 Aab	1,75 Ab	1,83 Aa	1,83 Aa		
Nabo forrageiro	1,91 ABa	1,99 Aa	1,66 Bb	1,75 ABa	1,83 ABa		
Crotalaria	1,83 Aa	1,49 Bb	1,83 Aab	1,83 Aa	1,66 Ba		
Milheto	1,66 Ba	1,66 Bb	2,04 Aa	1,91 ABa	1,66 Ba		
Escarificador mm	1,66 Aa	1,75 Aab	1,66 Ab	1,75 Aa	1,83 Aa		
0,20 a 0,30 m							17,86%
Braquiária	2,00	1,75	2,08	1,91	2,00	1,95 a	
Nabo forrageiro	1,91	2,00	1,83	1,75	2,25	1,95 a	
Crotalaria	1,75	2,00	2,08	1,75	2,00	1,91 a	
Milheto	2,00	2,08	2,08	1,66	1,91	1,95 a	
Escarificador mm	1,91	2,00	1,91	1,66	2,20	1,94 a	
0,30 a 0,40 m							19,67%
Braquiária	1,66 Aa	1,66 Aa	1,58 Aa	1,58 Aab	2,00 Aa		
Nabo forrageiro	1,75 Aa	1,75 Aa	1,58 Aa	1,49 Aab	1,75 Aa		
Crotalaria	1,49 Aa	1,75 Aa	1,83 Aa	1,41 Ab	1,83 Aa		
Milheto	1,75 Aa	1,49 Aa	1,66 Aa	1,66 Aab	1,58 Aa		
Escarificador mm	1,58 Aa	1,91 Aa	1,58 Aa	1,91 Aa	1,66 Aa		
0,40 a 0,50 m							24,88%
Braquiária	1,58	1,49	1,15	1,24	1,49	1,39 a	
Nabo forrageiro	1,15	1,49	1,24	1,24	1,41	1,31 a	
Crotalaria	1,24	1,32	1,24	1,07	1,58	1,29 a	
Milheto	1,49	1,41	1,49	1,41	1,32	1,42 a	
Escarificador mm	1,32	1,24	1,32	1,24	1,26	1,28 a	
0,50 a 0,60 m							9,97%
Braquiária	0,99	0,99	0,99	0,99	1,07	1,00 a	
Nabo forrageiro	0,99	0,99	0,99	1,07	1,07	1,00 a	
Crotalaria	0,99	0,99	0,99	1,28	1,07	1,02 a	
Milheto	0,99	0,99	0,99	0,99	1,07	1,00 a	
Escarificador mm	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99 a	

*mm= médias marginais quando não há interação entre os tratamentos. AD (arado de discos), GA (grade aradora), ES (escarificador), ER (enxada rotativa) e no PD (plantio direto). Médias seguidas por uma mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de SNK a 5%.

Na camada de 0,10 a 0,20 m, onde antes foram observados valores de 2,92 MPa para PD e 2,63 MPa para ER, mas após o cultivo de plantas de cobertura constou-se valores entre 1,66 a 1,91 MPa para esses tratamentos, verificando uma redução média de 37,2%. Na camada de 0,20 a 0,30 m, os valores anteriores de RMSP estavam entre 3,37 e 2,86 MPa. Entretanto, após o cultivo das plantas de cobertura a RMSP esteve na faixa de 1,66 a 1,91 MPa para PD e 2,25 e 1,91 MPa para ER. Isso significa uma redução média de 47,2% no PD e 27,3% na ER.

Não houve diferença significativa entre os tratamentos nas camadas de 0,40 a 0,50 m e 0,50 a 0,60 m.

Não há um consenso exato quanto ao nível crítico de RMSP (BETIOLI JÚNIOR et al., 2012) devido a dependência da umidade para sua avaliação, época de amostragem, período do dia de coleta (PEIXOTO et al., 2019), tipo de solo, práticas de manejo e tipo de penetrômetro utilizado (ALESSO et al., 2017). Entretanto, a maioria dos resultados na literatura indica impedimento do crescimento das raízes a partir de 2,5 MPa.

Na camada de 0,00 a 0,10 m, embora não houvesse diferença estatística entre as plantas de cobertura dentro de cada preparo de solo, no preparo com GA o nabo forrageiro reduziu 45,45% na densidade de 1,10 para 1,05 g cm⁻³ (Tabela 3).

Tabela 3. Densidade (Ds), microporosidade (micro), macroporosidade (macro) e porosidade total (PT) do solo na profundidade de 0,00 a 0,10 m, determinados após a instalação das plantas de cobertura, em diferentes sistemas de preparo primário do solo.

Parcela Subparcela	GA	AD	ER	PD	ES	*mm	CV %
	¹ Ds (g/cm ³)						5,72%
Braquiária	1,05 Aa	1,07 Aa	1,07 Aa	1,07 Aa	1,01 Aa		
Nabo forrageiro	1,02 Ba	1,10 Aa	1,05 ABa	1,07 ABa	1,07 ABa		
Crotalária	1,10 Aa	1,05 Aa	1,08 Aa	1,08 Aa	1,04 Aa		
Milheto	1,09 Aa	1,04 Aa	1,06 Aa	1,06 Aa	1,08 Aa		
Escarificador	1,08 Aa	1,08 Aa	1,05 Aa	1,05 Aa	1,06 Aa		
mm							
	² micro (cm ³ /cm ³)						18,08%
Braquiária	0,46	0,50	0,48	0,51	0,46	0,48 a	
Nabo forrageiro	0,46	0,47	0,46	0,46	0,45	0,46 a	
Crotalária	0,48	0,43	0,45	0,44	0,42	0,44 a	
Milheto	0,48	0,46	0,45	0,47	0,47	0,46 a	
Escarificador	0,48	0,47	0,46	0,47	0,47	0,47 a	
mm	0,47 A	0,46 A	0,46 A	0,47 A	0,45 A		
	³ macro (cm ³ /cm ³)						4,76%
Braquiária	0,16 Aa	0,11 Aa	0,12 Aa	0,09 Aa	0,21 Aa		
Nabo forrageiro	0,20 Aa	0,10 Aa	0,17 Aa	0,14 Aa	0,15 Aa		
Crotalária	0,10 Aa	0,19 ABa	0,15 ABa	0,11 ABa	0,22 ABa		
Milheto	0,10 Aa	0,18 Aa	0,19 Aa	0,15 Aa	0,12 Aa		
Escarificador	0,12 Aa	0,13 Aa	0,20Aa	0,15 Aa	0,14 Aa		
mm							
	⁴ PT (cm ³ /cm ³)						2,65%
Braquiária	0,62 Aa	0,61 Aa	0,60 Aa	0,60 Aa	0,67 Aa		
Nabo forrageiro	0,66 Aa	0,57 Ba	0,63 ABa	0,60 ABa	0,60 ABa		
Crotalária	0,57 Aa	0,62 Aa	0,60 Aa	0,55 Aa	0,64 Aa		
Milheto	0,57 Aa	0,64 Aa	0,64 Aa	0,62 Aa	0,59 Aa		
Escarificador	0,60 Aa	0,60 Aa	0,66 Aa	0,62 Aa	0,61 Aa		
mm							

*mm= médias marginais quando não há interação entre os tratamentos.

AD (arado de discos), GA (grade aradora), ES (escarificador), ER (enxada rotativa) e no PD (plantio direto). Médias seguidas por uma mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade de erro.

Na camada mais superficial do solo, não houve interação entre os tratamentos para microporosidade, porém tais valores se encontram dentro do ideal considerando os valores críticos, conforme apontam (MICHELON et al., 2009). Em relação à porosidade total não houve diferença entre as plantas de cobertura, entretanto o tratamento com GA e nabo forrageiro obteve a maior PT, chegando em 0,66 cm³/cm³. A cobertura do solo conserva a sua estrutura e a remoção desta

cobertura resulta no aumento da densidade (JAT et al., 2017). Silva (2003) estudando a cultura do trigo em um Latossolo Vermelho distrófico com 50% de argila encontrou uma redução na produtividade de 18% onde a densidade foi $1,62 \text{ g cm}^{-3}$. Para estas condições experimentais e para o mesmo tipo de solo a maior densidade constou-se em $1,10 \text{ g cm}^{-3}$.

Segundo Fonseca et al. (2007), a densidade não sofre influência da umidade do solo e o valor crítico é de $1,40 \text{ g cm}^{-3}$, em que valores acima deste impõe restrição ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Reinert et al. (2001) apontou que para um solo com 55 a 20% o valor crítico é de $1,55 \text{ g cm}^{-3}$. Além disso, uma alta densidade também influencia negativamente a infiltração do solo e o transporte de água e gases (FONSECA et al., 2007). Já com relação à macroporosidade, considerando que valores menores que o valor crítico de $0,10 \text{ dm dm}^{-1}$ (REINERT et al., 2001; VOMOCIL & FLOCKER, 1966) implica na falta de oxigenação das raízes, os resultados estão dentro do ideal. Para o experimento em questão a macroporosidade esteve na faixa de $0,10$ a $0,22 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, estando ideal para a oxigenação das plantas.

As plantas de cobertura também reduziram a densidade do solo na camada de $0,10$ a $0,20\text{m}$ (Tabela 4).

Tabela 4. Densidade (Ds), microporosidade (micro), macroporosidade (macro) e porosidade total (PT) do solo na profundidade de 0,10 a 0,20 m, determinada após a instalação das plantas de cobertura, em diferentes sistemas de preparo primário do solo.

Parcela Subparcela	GA	AD	ER	PD	ES	*mm	CV %
	Ds (g/cm ³)						3,87%
Braquiária	1,05 Aa	1,06 Ab	1,08 Aa	1,12 Aa	1,10 Ab		
Nabo forrageiro	1,07 Ba	1,12 Aa	1,13 Aa	1,12 Aa	1,18 Aa		
Crotalária	1,10 Aa	1,16 Aa	1,14 Aa	1,12 Aa	1,13 Aab		
Milheto	1,07 Ba	1,11 ABab	1,14 Aa	1,12 Aa	1,13 Aab		
Escarificador	1,07 Aa	1,13 Aa	1,13 Aa	1,12 Aa	1,12 Ab		
mm							
	micro (cm ³ /cm ³)						4,13%
Braquiária	0,41	0,45	0,44	0,47	0,40	0,43 a	
Nabo forrageiro	0,37	0,46	0,45	0,44	0,45	0,43 a	
Crotalária	0,40	0,43	0,46	0,46	0,46	0,44 a	
Milheto	0,44	0,41	0,48	0,43	0,45	0,44 a	
Escarificador	0,43	0,44	0,48	0,50	0,46	0,48 a	
mm	0,41 A	0,44 A	0,46 A	0,48 A	0,44 A		
	macro (cm ³ /cm ³)						2,82%
Braquiária	0,13 Aa	0,06 Aa	0,08 Aa	0,09 Aa	0,06 Ba		
Nabo forrageiro	0,19 Aa	0,13 Ba	0,09 Ba	0,11 Ba	0,12 Ba		
Crotalária	0,18 Aa	0,11 Ba	0,10 Ba	0,13 ABa	0,11 Ba		
Milheto	0,17 Aa	0,11 ABa	0,11 ABa	0,09 Ba	0,17 Aa		
Escarificador	0,07 Ab	0,10 Aa	0,10 Aa	0,07 Aa	0,18 Aa		
mm							
	PT (cm ³ /cm ³)						1,91%
Braquiária	0,54 Aa	0,51 Aa	0,52 Aa	0,56 Aa	0,46 Aa		
Nabo forrageiro	0,56 Aa	0,59 Bb	0,54 Ba	0,55 Ba	0,57 Bb		
Crotalária	0,58 Aa	0,54 Ab	0,56 Aa	0,59 Aa	0,57 Aab		
Milheto	0,61 Aa	0,52 ABab	0,59 Ba	0,52 Ba	0,62 Bab		
Escarificador	0,50 Aa	0,54 Ab	0,58 Aa	0,57 Aa	0,64 Aa		
mm							

*mm= médias marginais quando não há interação entre os tratamentos.

AD (arado de discos), GA (grade aradora), ES (escarificador), ER (enxada rotativa) e no PD (plantio direto).

Médias seguidas por uma mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade de erro.

Na camada de 0,10 a 0,20 m observaram-se valores entre 1,05 e 1,18 g cm⁻³ com a condução das plantas de cobertura e de 1,21 e 1,25 g cm⁻³ anterior à instalação do experimento com estas plantas. Isso indica que uma redução média de 9,75%. Não houve diferença na microporosidade do solo quanto a todos os tratamentos. A macroporosidade foi maior com o preparo com grade aradora e menor com escarificador.

Na camada de 0,20 a 0,30 m houve interação entre os tratamentos em todos os atributos avaliados (Tabela 5).

Tabela 5. Densidade (Ds), microporosidade (micro), macroporosidade (macro) e porosidade total (PT) do solo na profundidade de 0,20 a 0,30 m, determinada após a instalação das plantas de cobertura, em diferentes sistemas de preparo primário do solo.

Parcela Subparcela	GA	AD	ER	PD	ES	*mm	CV %
	Ds (g/cm ³)						4,06%
Braquiária	1,04 Ba	1,07 Bb	1,14 Aa	1,12 Aa	1,13 Aab		
Nabo forrageiro	1,05 Ca	1,13 ABa	1,13 ABa	1,08 Ba	1,15 Aab		
Crotalária	1,04 Ba	1,11 Aab	1,10 Aa	1,11 Aa	1,11 Aab		
Milheto	1,00 Ca	1,09 Bab	1,13 ABa	1,09 Ba	1,17 Aa		
Escarificador	1,05 Ba	1,14 Aa	1,13 Aa	1,10 Aa	1,11 Ab		
mm							
	micro (cm ³ /cm ³)						5,87%
Braquiária	0,42 Aa	0,40 Aa	0,42 Aa	0,48 Aa	0,43 Aa		
Nabo forrageiro	0,41 Aa	0,41 Aa	0,42 Aa	0,42 Aa	0,45 Aa		
Crotalária	0,40 Aa	0,40 Aa	0,43 Aa	0,47 Aa	0,48 Aa		
Milheto	0,46 Aa	0,42 Aa	0,44 Aa	0,45 Aa	0,42 Aa		
Escarificador	0,42 Aa	0,41 Aa	0,44 Aa	0,32 Bb	0,41 Aa		
mm							
	macro (cm ³ /cm ³)						5,56%
Braquiária	0,19 Aa	0,24 Aa	0,19 Aa	0,08 Bb	0,06 Ba		
Nabo forrageiro	0,24 Aa	0,24 Aa	0,18 Aa	0,15 Aa	0,13 Bab		
Crotalária	0,23 Aa	0,24 Aa	0,14 Ba	0,11 Bab	0,08 Ba		
Milheto	0,16 Aa	0,24 Aa	0,08 Ba	0,07 Bab	0,14 Bab		
Escarificador	0,21 Aa	0,24 Aa	0,13 Ba	0,23 Aa	0,18 Aa		
mm							
	PT (cm ³ /cm ³)						1,98%
Braquiária	0,61 Aa	0,64 Aa	0,61 Ba	0,56 Ba	0,49 Bab		
Nabo forrageiro	0,65 Aa	0,65 Aa	0,60 Bca	0,57 Ba	0,58 Aab		
Crotalária	0,63 Aa	0,64 Aa	0,57 Ba	0,58 Ba	0,56 Bab		
Milheto	0,62 Aa	0,66 Aa	0,57 Ba	0,52 Ba	0,56 Bb		
Escarificador	0,63 Aa	0,65 Aa	0,57 Ba	0,55 Ba	0,56 Ba		
mm							

*mm= médias marginais quando não há interação entre os tratamentos.

AD (arado de discos), GA (grade aradora), ES (escarificador), ER (enxada rotativa) e no PD (plantio direto). Médias seguidas por uma mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade de erro.

A grade aradora obteve os melhores valores de densidade em dois tipos de cobertura do solo. Na cobertura com milheto a densidade foi de 1 g cm⁻³ e no nabo forrageiro foi de 1,05 g cm⁻³. Para este preparo o milheto reduziu 18% e o nabo

forrageiro 14% em relação à condição anterior aos seus cultivos. A influência positiva das gramíneas na estruturação do solo tem sido demonstrada em muitos estudos (RASHID et al., 2016; NARESH et al 2017). O milheto possui raízes vigorosas e abundantes, propiciando bom efeito nesse aspecto (PASSOT et al., 2016). A menor microporosidade foi constatada no PD e escarificador sem cobertura de solo.

A compactação normalmente é mais facilmente observada na camada entre 0,20 a 0,30 m, em função da ação dos órgãos ativos dos equipamentos serem regulados para atuarem até a profundidade de 0,20 m durante o preparo convencional, ao longo de vários anos de cultivo, resultando no chamado “pé de grade”, “pé de arado”, ou “soleira”. O aumento da microporosidade em concomitância da redução da macroporosidade é característico de provável compactação (FONSECA et al., 2007). Como não houve constatação desse comportamento, não houve compactação. Além disso, observando os valores anteriores à instalação do experimento as plantas de cobertura promoveram diminuição da densidade do solo, mostrando ser boa alternativa para a melhoria desse atributo.

Na camada de 0,30 a 0,40 m também houve reduções significativas na densidade do solo com a utilização das plantas de cobertura principalmente nos preparos com grade aradora e escarificador (Tabela 6).

Tabela 6. Densidade (Ds), microporosidade (micro), macroporosidade (macro) e porosidade total (PT) do solo na profundidade de 0,30 a 0,40 m, determinada após a instalação das plantas de cobertura, em diferentes sistemas de preparo primário do solo.

Parcela Subparcela	GA	AD	ER	PD	ES	*mm	CV %
	Ds (g/cm ³)						5,08%
Braquiária	1,05 Aa	1,06 Ab	1,08 Aa	1,12 Aa	1,10 Ab		
Nabo forrageiro	1,07 Ba	1,12 Aa	1,13 Aa	1,12 Aa	1,18 Aa		
Crotalária	1,10 Aa	1,16 Aa	1,14 Aa	1,12 Aa	1,13 Aab		
Milheto	1,07 Ba	1,11 ABab	1,14 Aa	1,12 Aa	1,13 Aab		
Escarificador	1,07 Aa	1,13 Aa	1,13 Aa	1,12 Aa	1,12 Ab		
mm							
	micro (cm ³ /cm ³)						18,21%
Braquiária	0,41	0,42	0,42	0,43	0,41	0,42 a	
Nabo forrageiro	0,45	0,44	0,43	0,43	0,41	0,43 a	
Crotalária	0,40	0,44	0,42	0,43	0,41	0,42 a	
Milheto	0,46	0,43	0,44	0,42	0,43	0,44 a	
Escarificador	0,42	0,48	0,44	0,43	0,43	0,44 a	
mm	0,43 A	0,44 A	0,43 A	0,43 A	0,42 A		
	macro (cm ³ /cm ³)						3,86%
Braquiária	0,23 Aab	0,22 Aa	0,18 Aa	0,17 Aa	0,18 Aa		
Nabo forrageiro	0,18 Ab	0,11 Bb	0,10 Bb	0,16 Aa	0,14 Aa		
Crotalária	0,28 Aa	0,12 Bb	0,15 Ba	0,16 Aa	0,10 Ba		
Milheto	0,23 Aab	0,10 Bb	0,15 Ba	0,13 Ba	0,16 ABa		
Escarificador	0,23 Aab	0,10 Bb	0,15 Bb	0,13 Ba	0,16 ABa		
mm							
	PT (cm ³ /cm ³)						2,41%
Braquiária	0,64 Aa	0,64 ab	0,60 Aa	0,60 Aa	0,59 Aab		
Nabo forrageiro	0,63 Aa	0,55 Bb	0,53 Ba	0,59 ABa	0,55 Bab		
Nabo forrageiro	0,68 Aa	0,56 Bb	0,57 Ba	0,59 Ba	0,51 Cb		
Milheto	0,69 Aa	0,53 BCb	0,59 Ba	0,55 Ba	0,59 Bab		
Escarificador	0,65 Aa	0,58 Bab	0,59 Ba	0,56 Ba	0,59 Bab		
mm							

*mm= médias marginais quando não há interação entre os tratamentos.

AD (arado de discos), GA (grade aradora), ES (escarificador), ER (enxada rotativa) e no PD (plantio direto). Médias seguidas por uma mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade de erro.

Os autores de Gal et al. (2007) e D'Haene et al. (2008) constataram que os efeitos de manejo do solo e da sua cobertura se limita a profundidade de 20 cm. Entretanto os resultados deste trabalho mostraram redução de 3,3% do nabo forrageiro no preparo com escarificador e 12,5% da braquiária no preparo com grade aradora na camada abaixo da profundidade de 0,20m.

Intervenções mecânicas, como subsolagens ou escarificações, nem sempre são eficientes para mitigar a compactação do solo, pois normalmente têm efeito

temporário, o que demanda repetições frequentes (TIM CHAMEN et al., 2014). Entretanto, as plantas de cobertura apresentam boa alternativa para descompactar o solo obtendo bons resultados nos atributos físicos do solo (SEVERIANO et al., 2010; JIMENEZ et al., 2008). As plantas de cobertura possuem vantagens em relação aos sistemas mecanizados de manejo por promoverem a desagregação das estruturas do solo (ROSA, 2013), enquanto que as plantas de cobertura favorecem a produção de exsudados radiculares que são agentes de agregação das partículas do solo e também melhora a porosidade em detrimento do crescimento de suas raízes.

2.4 CONCLUSÕES

Em geral as plantas de cobertura braquiária, nabo forrageiro, crotalária e milho proporcionaram melhorias nos atributos físicos do solo com relação às condições anteriores a sua implantação. Constou-se uma diminuição na RMSP em todos os tratamentos após o cultivo das plantas de cobertura dentro dos diferentes preparos de solo. De modo geral o nabo forrageiro foi a espécie que mais se destacou nos resultados positivos de melhoria para os atributos físicos do solo.

2.5. REFERÊNCIAS

- AITA, C.; GIACOMONI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 4, p.601-612, 2003.
- ALESSO, C.A., MASOLA, M.J., CARRIZO, M.E., IMHOFF, S.C., 2017. Estimating sample size of soil cone index profiles by bootstrapping. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 41,2017. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160464>.
- AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; GUIRADO, N.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. C. O.; & AMBROSANO, G. M. B. Adubação verde na agricultura orgânica. IN: Lima Filho, Oscar F. de.; Ambrosano, Edmilson J.; Rossi, Fabrício; Carlos, João A. D (Ed). *Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil. Fundamentos e Prática*. Brasília, DF: Embrapa, v.1, 507 p, 2014.
- ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Soil cone penetrometer. In: ASAE Standards 1999: standards engineering practices data. 46th ed. St. Joseph, 1999. p.834-835 (ASAE S313.1).

BATISTA, P. H. D.; DE ALMEIDA, G. L. P.; TAVARES, U. E.; NASCIMENTO, V. N & SARMENTO, R. M. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob colheita mecanizada de capim-buffel no agreste Pernambucano. *Engenharia na Agricultura*, v. 25, n. 4, p. 307-317, 2017. Disponível em: <

<https://www.seer.ufv.br/seer/index.php/reveng/article/view/771>>. doi:

<https://doi.org/10.13083/reveng.v25i4.771>

BETIOLI JÚNIOR, E.; MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; FERREIRA, C. J. B.; SILVA, ÁLVARO, P.; GIAROLA, N. F. B. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um Latossolo Vermelho após 30 anos sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v. 36, n. 3, p. 971-982, 2012.

BETTIOL, A.C.T. Efeitos de plantas de cobertura em atributos químicos do solo. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014. Dissertação (Mestrado).

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba: Esalq, 1997. 132 p.

CARVALHO, A.M.X.; MENDES, F.Q. SPEED Stat: a minimalist and intuitive spreadsheet program for classical experimental statistics. *Anais da 62ª Reunião anual da região brasileira da sociedade internacional de biometria*, 2017.

CARVALHO, M.A.; RUIZ, H.A.; COSTA, L.M.; PASSOS, R.R.; ARAUJO, C.A.S. Composição granulométrica, densidade e porosidade de agregados de Latossolo Vermelho sob duas coberturas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.10, p.1010-1016, 2014. Disponível em: <

<http://www.agriambi.com.br/revista/v18n10/v18n10a04.pdf>>. doi:

<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n10p1010-1016>.

COLOMBO, G. A.; LOPES, M. B. S.; DOTTO, M. C.; CAMPESTRINI, R.; DE OLIVEIRA LIMA, S. Atributos físicos de um latossolo vermelho-amarelo distrófico sob diferentes sistemas de manejo no cerrado tocantinense. *Campo Digital*, v. 12, n. 1, 2017. Disponível

em:<<http://revista.grupointegrado.br/revista/index.php/campodigital/article/view/2068>>.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho: I – atributos físicos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 2, p. 589-602, 2011. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n2/v35n2a28.pdf>>.

D'HAENE, K., VERMANG, J., CORNELIS, W.M., LEROY, B.L.M., SCHIETTECATTE, W., DE NEVE, S., GABRIELS, D., HOFMAN, G. Reduced tillage effects on physical properties of silt loam soils growing root crops. *Soil & Tillage Research* 99, 279–290, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.03.003>.

DAVIES, W.J.; ZHANG, J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, Palo Alto, v.42, p.55-76, 1991.

DIAS, M. J.; ALVES, S.F.; FIALHO, E. R.; GOMES, D. O. Probabilidade de ocorrência dos atributos químicos em um latossolo sob plantio direto. *Revista Caatinga*, v. 28, n. 4, 2015. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/2371/237142689020/>>.

DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B.; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Artigo - Plantas de cobertura. 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/28512796/artigo---plantas-de-cobertura-o-que-e-isto>>. Acesso em: 20 de julho de 2020.

FAVARATO, L. F.; SOUZA, J. L.; GALVÃO, J. C. C.; DE SOUZA, C. M.; GUARÇONI, R. C. Atributos químicos do solo sobre diferentes plantas de cobertura no sistema plantio direto orgânico. *Brazilian Journal of Sustainable Agriculture*, v. 5, n. 2, 2015. Disponível em: <<http://www.rbas.com.br/index.php/rbas/article/view/312>>. Doi: <http://dx.doi.org/10.21206/rbas.v5i2.312>.

FENNER, P.T. Compactação do solo. In: MACHADO, C.C. (Ed.). *Colheita Florestal*. 2ª Ed. Viçosa: UFV, p. 388-409, 2008.

FIORIN, J. E. Plantas recuperadoras da fertilidade do solo. In: *Curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo em plantio direto*. Resumos... Passo Fundo: Aldeia Norte, 1999. p. 39-55.

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho Distrófico de Cerrado sob duas rotações de cultura. *Revista Agropecuária Tropical*, v. 37, n. 1, p. 22-30, 2007.

GAL, A., VYN, T.J., MICHELI, E., KLADIVKO, E.J., MCFEE, W.W. Soil carbon and nitrogen accumulation with long-term no-till versus moldboard plowing overestimated with tilled-zone sampling depths. *Soil & Tillage Research* 96, 42–51, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.02.007>.

GAMERO, C.A.; BENEZ, S.H. Avaliação da condição do solo após a operação de preparo. In: SILVEIRA, G.M. *IV Ciclo de estudos sobre mecanização agrícola*. Jundiaí: Fundação Cargill, p.12-21. 1990

GUEDES FILHO, O.; SILVA, A. P.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A. Structural properties of the soil seedbed submitted to mechanical and biological chiseling under no-tillage. *Geoderma*, v.204-205, p.94- 101, 2013.

JARQUE, C.M; BERA, A.K. Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. *Economics Letters*, v. 6, p.255-259, 1980.

JAT H.S., DATTA A., SHARMA P.C., KUMAR V., YADAV A.K., CHOUDHARY M., CHOUDHARY V., GATHALA M.K., SHARMA D.K., JAT M.L., YADUVANSHI N.P.S., SINGH G., MCDONALD A. Assessing soil properties and nutrient availability under conservation agriculture practices in a reclaimed sodic soil in cereal-based systems of North-West India, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2017.

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G, ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 2, p. 116-121, 2008.

KELLER, T. 41º Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola e 10º Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola. Londrina, 2012.

LONGO, R.M.; RIBEIRO, A.Í.; MELO, W.J. Recuperação de solos degradados na exploração mineral de cassiterita: biomassa microbiana e atividade da desidrogenase. *Bragantia* [online]. 2011, 70:132-138.DOI: <http://dx.doi.org/S0006-87052011000100019>.

MICHELON, CLEUDSON J., CARLESSO, REIMAR, PETRY, MIRTA T., MELO, GIANE L., SPOHR, RENATO B., & ANDRADE, JULIANO G. de. (2009). Qualidade física dos solos irrigados de algumas regiões do Brasil Central. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13(1), 39-45. <https://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000100006>

NARESH RK, GUPTA RK, RATHORE RS, DWIVEDIL A, SINGH HL, KUMAR V, SHUKLA AK, SINGH V, SINGH SP, TYAGIL S, et al. 2017. Crop residue management and soil health with changing climate in smallholders farming: a subtropical Indian perspective. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6(2):1591–1609.

OLIVEIRA, D.M.S.; LIMA, R.P.; VERBURG, E.E.J. Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquido suíno. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.3, p.280–285, 2015. Disponível em:< <http://www.agriambi.com.br/revista/v19n03/v19n03a13.pdf>>. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p280-285>.

PASSOT S, GNACKO F, MOUKOUANGA D, LUCAS M, GUYOMARC'H S, ORTEGA BM, ATKINSON JA, BELKO MN, BENNETT MJ, GANTET P, et al. Characterization of pearl millet root architecture and anatomy reveals three types of lateral roots. *Frontiers in Plant Science*7:829, 2016.

PEIXOTO, D. S.; SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C.; MOREIRA, S. G.; SILVA, F.; CURI, N. A soil compaction diagnosis method for occasional tillage recommendation under continuous no tillage system in Brazil. *Soil & Tillage Research* 194, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104307>

RASHID MI, MUJAWAR LH, SHAHZAD T, ALMEELBI T, ISMAIL IMI, OVES M. 2016. Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils. *Microbiological Research* 183(3):26–41.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Propriedades físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; ROSA, G. M.; CERETTA, C. A.(ed.). Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul. Santa Maria: UFSM, 2001, 165p.

ROSA, H. A. Potencial estruturante de espécies de cobertura em um Latossolo Argiloso e seus reflexos no rendimento de grãos e de óleo do crame. 2013. 28 p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.

ROSNER, B. Percentage points for a generalized ESD many-outlier procedure. *Technometrics*, vol. 25, n. 2, 1983, pp. 165-172.

SANTOS, F.S., et al. A utilização de plantas de cobertura na recuperação de solos compactados. *Acta Iguazu*, v.3, n.3, p. 82-91, 2014.

SENE, M.; VEPRASKAS, M.J.; NADERMAN, G.C. & DENTON, H.P. Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. *Soil Science Society of America Journal*, 49:422-427, 1985.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; COSTA, K. A. P.; CASTRO, M. B.; MAGALHÃES, E. N. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 1, p. 39-45, 2010.

SILVA, V. G. DA. Fluxos de óxido nitroso, N mineral e frações de carbono no solo cultivado com milho em sucessão a plantas de cobertura. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2020, 123 p. Tese de Doutorado.

SILVA, V. R. Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação. Santa Maria: UFSM, 2003. 171p. Tese Doutorado

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um neossolo quartzarênico e um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 40, n. 11, p. 1135-1139, 2005.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.15, n.2, p.229-35, 1991.

TARDIEU, F. Growth and functioning of roots and of root systems subjected to soil compaction: Towards a system with multiple signaling. *Soil and Tillage Research*, v.30, n.2/4, p.217-243, 1994.

TAVARES, U.E.; MONTENEGRO, A.A.A.; ROLIM, M.M.; SILVA, J.S.S.; VICENTE, T.F.S.; ANDRADE, C.W.L. Variabilidade espacial da resistência à penetração e da umidade do solo em Neossolo Flúvico. *Water Resources and Irrigation Management*, v.3, n.2, p.79-89, 2014. DOI: 10.19149/2316-6886/wrim.v3n2p79-89

TIM CHAMEN, W. C.; MOXEY, A. P.; TOWERS, W.; BALANA, B.; HALLETT, P. D. Mitigating arable soil compaction: A review and analysis of available cost and benefit data. *Soil & Tillage Research*, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2014.09.011>

VOMOCIL, J.A.; FLOCKER, W.J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil, air and water. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, v.4, p.242-246, 1966.

3. CAPÍTULO II: PLANTAS DE COBERTURA NA SUPRESSÃO DE PLANTAS DANINHAS E PRODUTIVIDADE DO MILHO

Resumo

Práticas que minimizem as aplicações de herbicidas têm sido buscadas pelos produtores a fim de evitar o risco da sua fitotoxicidade e melhorar o controle de plantas daninhas. Plantas de cobertura estão sendo utilizadas para supressão e diminuição do banco de sementes da comunidade de plantas daninhas no solo. Este estudo objetivou avaliar a fitossociologia de plantas daninhas, os teores foliares de nutrientes da parte aérea das plantas e produtividade da cultura do milho em uma área com cinco sistemas primários de preparo de solo na parcela: P1 – grade aradora; P2 – arado de discos; P3 – enxada rotativa; P4 – plantio direto; P4 – escarificador e quatro plantas de cobertura na subparcela: T1 – braquiária (*Urochloa ruziziensis*); T2 – nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), T3 – crotalária (*Crotalaria juncea*), T4 – milheto (*Pennisetum glaucum*) e um tratamento com T5 – escarificação mecânica sem cobertura do solo. As espécies de plantas de cobertura nabo forrageiro, milheto, braquiária e crotalária propiciaram supressão da comunidade de plantas daninhas, quando comparadas com a subparcela em que se empregou o escarificador sem cobertura do solo. A frequência, a densidade e a abundância de plantas daninhas foram menores após o cultivo de nabo forrageiro. Em área escarificada e sem plantas de cobertura houve maior densidade e abundância de plantas daninhas. Nabo forrageiro e crotalária tiveram maiores teores foliares de macronutrientes. A planta daninha *Galinsoga parviflora* apresentou maiores teores de micronutrientes, principalmente de Mn, Fe e B. A cultura do milho não apresentou diferença no coeficiente de variação da semeadura e na sua produtividade.

Palavras-chave: análise fitossociológica, supressão, controle de plantas daninhas, cobertura do solo.

Abstract

Practices that minimize herbicide applications have been pursued by producers in order to avoid the risk of their phytotoxicity and improve weed control. Cover crops are being used to suppress and decrease the seed bank of the weed community in the soil. This study aimed to evaluate the weed phytosociology, the leaf nutrient content of the aerial part of the plants and the productivity of the corn crop in an area with five primary soil preparation systems in the plot: P1 - plow harrow; P2 - disc plow; P3 - rotary hoe; P4 - no-till; P4 - scarifier and four cover plants in the subplot: T1 - brachiaria (*Urochloa ruziziensis*); T2 - forage turnip (*Raphanus sativus*), T3 - crotalaria (*Crotalaria juncea*), T4 - millet (*Pennisetum glaucum*) and a treatment

with T5 - mechanical scarification without soil cover. The species of forage turnip, millet, brachiaria and crotalaria cover plants provided suppression of the weed community, when compared with the subplot in which the scarifier without ground cover was used. The frequency, density and abundance of weeds were lower after the cultivation of forage turnip. In a scarified area and without cover plants, there was a greater density and abundance of weeds. Forage turnip and crotalaria had higher leaf content of macronutrients. The weed *Galinsoga parviflora* showed higher levels of micronutrients, mainly of Mn, Fe and B. The corn culture showed no difference in the coefficient of variation of the sowing and in its productivity.

Keywords: phytosociological analysis, suppression, weed control, soil cover.

3.1 INTRODUÇÃO

Sistemas sustentáveis de se produzir e conservar o ambiente ao mesmo tempo tem contribuído para a melhoria de vários aspectos no ambiente produtivo das culturas, melhorando a utilização de recursos e a produtividade agrícola (DIAS et al., 2015).

A cobertura do solo é um requisito indispensável para atender os pressupostos de um sistema conservacionista de produção agrícola. A prática de proteger o solo com plantas de cobertura ou adubos verdes é vantajosa não somente durante o verão, mas também na entressafra, especialmente na região do Cerrado, onde as áreas agricultáveis ficam sujeitas à alta radiação solar, à erosão eólica e à infestação por plantas daninhas no período de pousio (EMBRAPA, 2013).

As plantas daninhas ocorrem em abundância em todos os sistemas de cultivo agrícola (HAIDER et al., 2019). Elas competem com as culturas principais por espaço, água e nutrientes (TIECHER et al., 2017; MALONE et al., 2017; CONIBERTI et al., 2018). Plantas daninhas reduzem o rendimento e a produtividade das culturas (FISK et al., 2001; JABRAN et al., 2015). A aplicação de herbicidas é comum para o controle da infestação de plantas daninhas é comum; entretanto, estes produtos tem causado fitotoxicidade pelo seu efeito residual no solo e redução de rendimento de culturas subsequentes (BRAINARD et al., 2011). Além do efeito residual dessas aplicações, há o desenvolvimento da resistência da população das plantas daninhas

(NORSWORTHY et al., 2012), o que tem sido motivo de preocupação no cenário atual de alto número de aplicações e altas doses.

O uso de plantas de cobertura pode reduzir a germinação, biomassa e o banco de sementes de plantas daninhas no solo, o que pode reduzir a demanda por herbicidas e manter a cobertura do solo durante o pousio (FISK et al, 2001; ANDERSON, 2003; HARAMOTO & GALLANDT, 2005; LAMEGO et al., 2015; MESBAH et al., 2019). O grau de supressão de plantas daninhas pode variar de acordo com as espécies das plantas de cobertura, a estação do ano que influencia o crescimento e quantidade de biomassa deixada após a sucessão, o tipo de cultivo (convencional ou plantio direto) e o tempo de implantação do cultivo de cobertura na área (ISIK et al., 2009;. BLANCO-CANQUI et al, 2015).

Muitas espécies vegetais podem ser usadas como culturas de cobertura. A escolha da espécie mais adequada a ser adotada pelo produtor dependerá da adaptação da planta às condições de clima vigentes na área de cultivo, do ciclo da cultura, do desenvolvimento do sistema radicular e da produção de massa seca (FONSECA et al., 2007; NEGRINI, 2007; SILVA, 2017).

Algumas plantas de cobertura possuem capacidade de reciclar nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas que serão cultivadas em sucessão. Dentre a família das Poaceae, o milheto (*Raphanus sativus*) e a braquiária (*Urochloa* spp.) são as espécies que mais produzem matéria seca, além de sua característica rústica e rápido desenvolvimento. A crotalária (*Crotalaria* spp.), uma espécie da família das Fabaceae, é mais utilizada como adubo verde devido ao seu desenvolvimento inicial lento, rápida decomposição de sua palhada, e custos de aquisição mais altos. O nabo forrageiro é muito usado como cultura de cobertura por sua precocidade e alta capacidade de cobrir a superfície do solo capacidade ação descompactadora do solo. Esta espécie pode ser utilizada em sistemas de cultivos conservacionistas em rotação com o milho (CORRÊA e SHARMA, 2004; CRUSCIOL et al., 2005; MARTINS e ROSA JUNIOR, 2005), além de ser fonte de N (DENARDIN et al., 2006). O uso destas espécies de plantas de cobertura interfere na fitossociologia de plantas daninhas e auxilia no seu controle.

A fitossociologia é um grupo de métodos de avaliações ecológicas com o objetivo é de avaliar como o manejo de determinada área pode influenciar a composição e distribuição de espécies de plantas (GOMES et al., 2010; GUGLIERI-CARPORAL et al., 2010; CONCENÇÃO et al., 2013). A partir de dados

fitossociológicos, por exemplo, é possível inferir sobre a ação de plantas de cobertura na supressão de plantas daninhas (FERREIRA et al., 2019).

Assim, o objetivo neste estudo foi avaliar o efeito das plantas de cobertura braquiária (*Urochloa ruziziensis*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), crotalária (*Crotalaria juncea*), milheto (*Pennisetum glaucum*) na supressão de plantas daninhas e na produção de milho, cultivado em sucessão.

3.2 Material e métodos

Histórico da área experimental

O trabalho foi desenvolvido na área experimental da Universidade Federal de Viçosa, *Campus* de Rio Paranaíba, com altitude de 1128 m, localizada na posição geográfica (19° 12' 43" S e 46° 07' 56" W). A área pertence à bacia do Rio São Francisco, região do Alto Paranaíba, município de Rio Paranaíba (MG).

O município apresenta clima temperado úmido, sendo classificado pela escala de Köppen (1948) como Cwb. Este clima se caracteriza por conter duas estações muito bem definidas, com verão moderadamente quente e chuvoso e com inverno seco e frio. A temperatura média anual é de 20,4 °C e a pluviosidade média anual de 1570 mm.

A área experimental tem o histórico contendo os diferentes tipos de preparo desde o ano de 2014 em que anteriormente era formada com pastagem (braquiária). A cada ano, após se realizar os preparos do solo, cultivou-se culturas na área: soja em 2014, milho para produção de grão em 2015 e milho para a produção de silagem em 2016 e 2017. Em 2018 cultivou-se feijão, com preparo primário convencional com grade pesada em toda a área. Durante o ano de 2019, até a instalação do experimento nas subparcelas (outubro de 2019) a área ficou em pousio com cobertura de plantas daninhas e braquiária.

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições, em que nas parcelas com 100 m² continham os cinco tratamentos com sistemas de preparos anteriormente adotados (histórico de preparo periódico desde 2014): P1 – grade aradora; P2 – arado de discos; P3 – enxada rotativa; P4 – plantio direto; P5 – escarificador. Estas parcelas foram subdivididas em cinco subparcelas de 20 m² onde foram plantadas quatro espécies de plantas de cobertura no período das chuvas no ano de 2019: T1 – braquiária (*Urochloa ruziziensis*); T2 – nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), T3 – crotalária (*Crotalaria juncea*), T4 – milheto (*Pennisetum glaucum*) e mais um tratamento com operação mecanizada T5 - escarificador mecânico.

O controle de plantas daninhas antes do plantio das culturas de cobertura foi feito por meio de capina mecânica, seguida de aplicação de glifosato (4 L/ha). Após este controle, a semeadura das quatro espécies de cobertura foi realizada manualmente no início do período chuvoso do ano de 2019 após a abertura do sulco de plantio, com semeadora de plantio direto e adubação química de base. O espaçamento entre linhas foi de 0,50 m e a densidade de plantio foi de 20 sementes/m para o nabo forrageiro e para a braquiária, 30 sementes/m para a crotalária e 60 sementes/m para o milheto. A adubação de base foi feita nos sulcos na dose de 215 kg/ha da fórmula 08-28-16. As subparcelas com escarificador foram instaladas no dia do plantio das plantas de cobertura somente com este preparo de solo sem o plantio de nenhuma espécie.

Construção do estudo fitossociológico

Aos 45 dias após a semeadura (DAS) das plantas de cobertura, correspondente a metade do ciclo vegetativo das plantas de cobertura, avaliou-se a composição das espécies de plantas daninhas presentes na área. O estudo fitossociológico foi realizado através da contagem do número de plantas daninhas por espécie no lançamento de um gabarito metálico de 0,25 m² em cada subparcela.

Para o estudo da fitossociologia das plantas daninhas foram determinadas:

Frequência (Fre): é expressa em termos de percentagem de amostras em que os indivíduos de uma espécie foram detectados em relação ao número total de amostras efetuadas.

$$Fre = \frac{\text{nº de parcelas que contém espécie}}{\text{nº total de parcelas}}$$

Frequência relativa (FER): foi determinada dividindo-se a frequência de uma espécie pela frequência de todas as espécies encontradas nas amostragens.

$$FER = \frac{\text{frequência da espécie} \times 100}{\text{frequência total de todas as espécies}}$$

Densidade (Den): refere-se ao número de espécie por unidade de área, expressa em plantas por m².

$$Den = \frac{\text{nº total de indivíduos por espécie}}{\text{área total coletada}}$$

Densidade relativa (DER): foi determinada dividindo-se o número de indivíduos de uma determinada espécie encontrada nas amostragens pelo número total de indivíduos das espécies amostradas dentro da comunidade estudada.

$$DER = \frac{\text{densidade da espécie} \times 100}{\text{densidade total de todas as espécies}}$$

Abundância (Abu): informa sobre as espécies que ocorrem concentradas em determinados pontos.

$$Abu = \frac{\text{nº total de indivíduo por espécie}}{\text{nº total de parcelas com a espécie}}$$

Abundância relativa (ABR): é calculado em relação ao número total de indivíduos de todas as espécies existentes na área amostrada.

$$ABR = \frac{\text{abundância da espécie} \times 100}{\text{abundância total de todas as espécies}}$$

Índice do valor de importância (IVI): é calculado pela somatória da densidade relativa mais a frequência relativa mais a dominância relativa de cada população.

$$IVI = DER + FER + ABR$$

Por fim, foi realizada a estatística descritiva das principais plantas daninhas de acordo com seus respectivos índices do valor de importância (IVI) nas subparcelas onde estavam contidas as plantas de cobertura e do tratamento com operação mecanizada, realizada com o escarificador mecânico.

Avaliação dos teores foliares

Foram coletadas amostras foliares das plantas de cobertura e plantas daninhas aleatoriamente e concomitantemente à avaliação fitossociológica. Na cultura do milho, plantada em sucessão às plantas de cobertura, também foram coletadas aleatoriamente as folhas para compor o estudo do teor foliar de micro e macronutrientes. Os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), enxofre (S), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn), boro (B) e ferro (Fe) foram determinados na matéria seca da parte aérea das plantas de acordo com Malavolta et al. (1997).

As plantas de cobertura foram cortadas e levadas ao solo em cada amostragem com o gabarito metálico e colocadas em sacos de papel para posterior determinação de massa fresca e seca. A pesagem da matéria fresca (MF) foi realizada em laboratório de física de solos da UFV/CRP, logo após o corte, com o uso de balança

de precisão. O material vegetal foi seco em câmara de circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas e moído em moinho tipo Willey equipado com peneira de 1,0 mm de abertura. Os valores de gramas por parcela (0,25 m²) foram convertidos para toneladas por hectare.

A avaliação da porcentagem de cobertura superficial do solo foi feita com trena métrica colocada nas duas diagonais sobre cada parcela experimental após a roçada e dessecação das plantas de cobertura. As avaliações foram feitas em 100 pontos em cada diagonal, equidistantes em 0,1 m entre si. O percentual de cobertura foi avaliado considerando-se a coincidência de cada marca sobre os resíduos vegetais, conforme o método de Laflen et al. (1981).

Produtividade da cultura do milho

O plantio do milho foi realizado mecanicamente com semeadora de plantio direto no dia 19 de fevereiro de 2020, após a condução das plantas de cobertura. A densidade de plantio foi de 70.000 plantas/ha, utilizando a cultivar EX 3S98B PRO3. Antes do plantio realizou-se roçada mecânica das plantas de cobertura e duas aplicações com glifosato. A roçada foi realizada no dia 13 de janeiro, a primeira aplicação de herbicida (glifosato 4 L/ha) foi realizado no dia 27 de janeiro e a segunda aplicação de glifosato (4 L/ha) foi feita uma semana antes do plantio do milho no dia 12 de fevereiro.

Na adubação de plantio utilizou-se o formulado NPK 8.28.16 na dose de 400 Kg/ha. A adubação de cobertura foi aplicada quando o milho se encontrava em V4/V5 na sua fase fenológica em que se utilizou 300 Kg/ha de Ureia.

No dia 30 de março foi feito uma aplicação para controle de plantas daninhas com glifosato (4L/ha) e atrazina (2L/ha). Foi feito o acompanhamento em campo de pragas e doenças, não sendo necessária a aplicação de nenhum defensivo.

A qualidade de semeadura do milho foi avaliada através da porcentagem do coeficiente de variação (CV%) da distância entre plântulas emergidas após a semeadura. As medições foram feitas em 10 m das duas fileiras centrais de cada subparcela.

A avaliação da produtividade de silagem do milho foi realizada no dia 21 de maio, colhendo 10 m das duas linhas centrais de cada subparcela. A avaliação da

produtividade de grãos seguiu o mesmo padrão de avaliação da silagem, onde no final do ciclo da cultura os grãos foram colhidos com 13% de umidade.

3.3 Resultados e discussão

Fitossociologia e teores foliares

A cobertura do solo pelas plantas de cobertura em todas as subparcelas constou mais de 80% da superfície; entretanto, não houve diferença significativa entre as espécies.

Não houve diferença na fitossociologia das plantas daninhas com relação aos preparos de solo, entretanto houve diferenças quanto à cobertura do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Efeitos dos sistemas de preparo primário e da cobertura do solo nos estudos fitossociológicos das plantas daninhas em relação aos índices de frequência (Freq), densidade (Den) e abundância (Abu).

Parcela	GA	AD	ER	PD	ES	*mm	CV %
Subparcela	Freq						15,18%
Milheto	1,51	1,70	1,52	1,55	1,54	1,56 a	
Braquiária	1,47	1,80	1,44	1,47	1,50	1,54 a	
Crotalária	1,61	1,55	1,54	1,60	1,43	1,55 a	
Nabo forrageiro	1,41	1,24	1,27	0,71	1,16	1,16 b	
Escarificador	1,59	1,55	1,57	1,55	1,53	1,56 a	
mm	1,52 A	1,57 A	1,47 A	1,38 A	1,43 A		
Den							23,66%
Milheto	4,41	4,30	4,88	4,30	4,40	4,46 c	
Braquiária	3,96	3,16	4,69	4,32	3,48	3,92 c	
Crotalária	6,23	4,59	5,43	4,69	5,69	5,33 b	
Nabo forrageiro	2,51	2,87	3,35	1,64	3,02	2,68 d	
Escarificador	5,67	6,03	4,76	7,04	7,42	6,18 a	
mm	4,56 A	4,19 A	4,62 A	4,40 A	4,80 A		
Abu							29%
Milheto	48,13	48,13	55,75	54,50	49,63	51,23 c	
Braquiária	40,13	17,38	53,63	49,63	24,13	36,98 d	
Crotalária	76,50	53, 13	67,38	59,25	70,25	65,30 b	
Nabo forrageiro	15,50	18,13	32,50	9,63	26,38	20,43 e	
Escarificador	76,88	73,88	59,00	90,25	92,88	78,58 a	
mm	51,43 A	42,13 A	53,65 A	52,65 A	52,65 A		

*mm= médias marginais quando não há interação entre os tratamentos.

Médias seguidas por uma mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de SNK a 5%. AD (arado de discos), GA (grade aradora), ES (escarificador), ER (enxada rotativa) e no PD (plantio direto).

O nabo forrageiro obteve os menores índices de frequência, densidade e abundância de plantas daninhas, o que significa que esta espécie foi a melhor na supressão das plantas daninhas. O nabo forrageiro apresenta vários efeitos qualitativos e quantitativos na comunidade de plantas daninhas devido ao seu crescimento inicial rápido e maior cobertura do solo, podendo atingir 70% de cobertura do solo aos 60 dias do seu plantio (CALEGARI, 1990). Tais características possibilitam que esta planta produza biomassa e cubra o solo suficientemente para evitar o aparecimento e crescimento das plantas daninhas.

As subparcelas escarificadas e sem plantas de cobertura tiveram maior abundância de plantas daninhas em comparação com as quatro espécies de planta de cobertura. Isso indica a importância da cobertura do solo com plantas de cobertura para evitar e competir com as plantas daninhas por recursos importantes para o seu crescimento. O principal fator de competição é a luz (OKAFOR & DeDATTA, 1976; HARPER, 1977; RANSON & OELKE, 1982).

As espécies *Sida rhombifolia*, *Nicandra physalodes* e *Digitaria horizontalis* foram as plantas daninhas com maiores índices de valor de importância em todas as subparcelas contendo os preparos de solo e as plantas de cobertura (Figura 1).

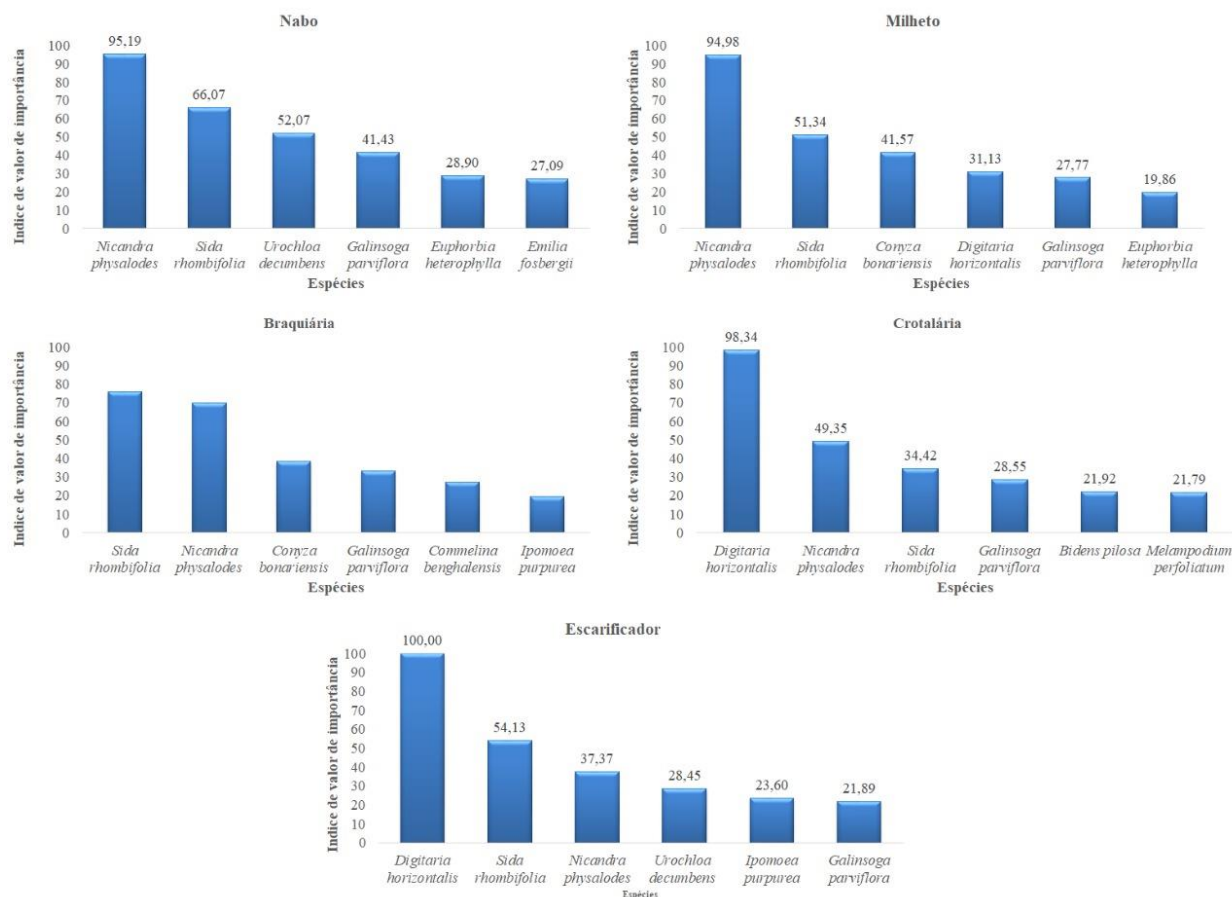


Figura 1. Índice do valor de importância (IVI%) da fitossociologia das plantas daninhas suprimidas pelo milheto, braquiária, crotalária, nabo forrageiro e preparo do solo com escarificador.

A crotalária obteve os maiores valores de N e Ca e o nabo forrageiro obteve os maiores valores de P e S (Tabela 2).

Tabela 2. Teores foliares de macronutrientes na parte aérea das plantas de cobertura, das quatro principais plantas daninhas e da cultura do milho.

Nutriente Planta	N	K	Ca	Mg	P	S
	g/Kg					
Milho	24,21 b	12,80 f	5,43 h	3,56 e	2,03 c	0,89 f
Braquiária	16,60 e	21,34 b	6,32 g	5,04 c	2,08 c	1,28 d
Crotalária	27,88 a	13,74 e	20,71 a	3,38 e	2,09 c	1,29 d
Milheto	22,33 c	19,04 c	12,16 d	4,58 d	2,09 c	1,40 c
Nabo forrageiro	19,18 d	16,34 d	11,15 e	2,54 f	2,84 a	3,29 a
<i>D. horizontalis</i>	14,13 f	20,58 b	8,37 f	9,48 a	2,12 c	1,21 e
<i>G. parviflora</i>	24,98 b	25,27 a	14,67 c	4,96 c	1,98 c	1,19 e
<i>N. physalodes</i>	13,83 f	9,58 g	16,29 b	4,35 d	1,09 d	0,59 g
<i>S. rhombifolia</i>	22,08 c	18,43 c	14,39 c	5,81 b	2,27 b	1,48 b

Médias seguidas por uma mesma letra coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott à 5%.

De seis macronutrientes avaliados, quatro deles foram espécies de cobertura mais eficientes na absorção, obtendo maiores teores foliares. Isso mostra que as plantas de cobertura são capazes de ciclar mais nutrientes para a cultura subsequente, além da supressão de plantas daninhas. Apenas para os nutrientes K e Mg a *G. parviflora* e *D. horizontali*, respectivamente, obtiveram os maiores teores.

O nabo forrageiro é uma espécie que além de todos os benefícios na física do solo tem alta capacidade de ciclagem de nutrientes, principalmente o nitrogênio, fósforo e potássio (CALEGARI, 2001; AITA e GIACOMONI, 2003; GIACOMONI et al., 2003). Entretanto, a diferença de produção de biomassa interfere na capacidade de absorção de nutrientes e ciclagem, as quais também são interferidas manejo fitotécnico, edáfico e o próprio clima (KLIEMANN et al., 2003; AMADO et al., 2002).

A planta daninha *G. parviflora* foi a espécie que apresentou maiores teores de Fe, Mn e B (Tabela 3).

Tabela 3. Teores foliares de micronutrientes da parte aérea das plantas de cobertura, das quatro principais plantas daninhas e da cultura do milho.

Nutrientes Plantas	Zn	Fe	Cu	Mn	B
	mg/Kg				
Milho	17,29 f	14,43 c	6,92 d	2,73 f	1,05 g
Braquiária	30,63 b	10,75 g	8,89 c	3,62 b	0,90 h
Crotalária	23,89 d	12,10 f	13,94 b	3,20 c	1,55 b
Milheto	24,92 d	12,43 e	15,95 a	3,03 d	1,14 f
Nabo forrageiro	21,52 e	9,49 h	3,91 f	2,86 e	1,22 e
<i>D. horizontalis</i>	29,26 b	14,05 d	7,06 d	3,62 b	1,48 c
<i>G. parviflora</i>	26,76 c	18,41 a	6,94 d	4,13 a	1,80 a
<i>N. physalodes</i>	32,59 a	6,81 i	6,91 d	2,28 g	1,32 d
<i>S. rhombifolia</i>	30,55 b	17,42 b	5,91 e	3,19 c	1,48 c

Médias seguidas por uma mesma letra coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott à 5%.

Nota-se que para micronutrientes as plantas daninhas são mais eficientes na sua absorção. Somente para o micronutriente Cu a planta de cobertura milheto obteve maior teor foliar. Além disso, observou-se que para o micronutriente Zn a cultura do milho apresentou sintoma de deficiência visual no campo e também o menor teor foliar.

A produção de matéria fresca e seca da parte aérea das plantas daninhas não diferenciou entre as plantas de cobertura (Tabela 4).

Tabela 4. Matéria fresca (MF) e matéria seca (MS) da parte aérea das plantas de cobertura após operações mecanizadas de AD (arado de discos), GA (grade aradora), ES (escarificador), ER (enxada rotativa) e no PD (plantio direto).

Parcela	GA	AD	ER	PD	ES	*mm
Subparcela	¹ MF (t/ha)					
Milheto	1,23	1,68	1,39	1,67	1,11	1,42 a
Braquiária	0,98	1,29	1,38	1,28	1,57	1,30 a
Crotalária	1,41	1,31	1,86	1,07	1,12	1,35 a
Nabo forrageiro	1,25	0,95	1,20	1,05	1,46	1,18 a
Escarificador	1,42	1,92	1,44	1,61	1,16	1,51 a
mm	1,26 D	1,43 B	1,45 A	1,34 C	1,28 D	
² MS (t/ha)						
Milheto	0,22	0,83	1,92	0,50	0,21	0,21 a
Braquiária	0,26	0,92	1,25	0,28	0,16	0,16 a
Crotalária	0,50	0,78	1,60	0,50	0,20	0,20 a
Nabo forrageiro	0,24	0,94	1,78	0,44	0,22	0,22 a
Escarificador	0,38	0,78	1,88	0,29	0,25	0,25 a
mm	0,32 C	0,85 B	1,69 A	0,40 C	0,21 D	

¹MF= matéria fresca; CV= 15%.

²MS= matéria seca; CV%= 17,3%.

Médias seguidas por uma mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si

pelo teste de SNK a 5%. *mm= médias marginais quando não há interação entre os tratamentos.

AD (arado de discos), GA (grade aradora), ES (escarificador), ER (enxada rotativa) e no PD (plantio direto).

O crescimento de plantas daninhas foi igual estatisticamente quanto à produção de matéria fresca e seca para todas as plantas de cobertura, entretanto comparando entre os diferentes sistemas de preparo primário do solo, observa-se que o preparo com enxada rotativa resultou em maior massa fresca e seca. Esse resultado pode ser explicado devido a maior mobilização do solo na camada mais superficial e consequentemente maior exposição do banco de sementes das plantas daninhas para a germinação.

Cultura do milho

O coeficiente de variação (CV%) da distância entre plântulas emergidas após a semeadura do milho foi igual para todos os tratamentos (Tabela 5).

Tabela 5. Coeficiente de variação (CV%) da distância entre plântulas emergidas após a semeadura do milho.

Parcela	GA	ES	AD	PD	ER	*mm
Subparcela	¹ CV semeadura					
Escarif	23,38	21,49	21,51	35,51	37,97	46,07 a
Nabo forrageiro	26,65	28,03	35,75	35,58	33,61	49,90 a
Crotalária	37,17	52,88	30,21	40,43	32,78	48,40 a
Braquiária	29,45	37,98	33,12	37,01	35,18	50,08 a
Milheto	40,52	35,45	22,95	30,84	37,07	49,08 a
mm	31,43 A	31,09 A	28,71 A	35,87 A	35,32 A	

¹CV= coeficiente de variação da semeadura.

Médias seguidas por uma mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de SNK a 5%. *mm= médias marginais quando não há interação entre os tratamentos. AD (arado de discos), GA (grade aradora), ES (escarificador), ER (enxada rotativa) e no PD (plantio direto).

Esse resultado pode ser explicado devido à homogeneidade da palhada em toda a área experimental. A alta umidade do solo no momento do plantio do milho fez com que a semeadora não conseguisse cortar a palhada, prejudicando assim a distribuição das sementes. A sugestão é que se tenha de 5 a 10% de CV da semeadura. Schimandei et al. (2006) apontaram uma variação média de 33% no estande do milho na região de Campos Gerais, Paraná e que esse valor é alto e também recorrente em outras pesquisas.

Não houve interferência do preparo do solo e das espécies de cobertura na produtividade do milho (Tabela 6).

Tabela 6. Produtividade da cultura do milho cultivado em sucessão às plantas de cobertura.

Parcela	GA	ES	AD	PD	ER	*mm
Subparcela	¹ Silagem (t/ha)					
Escarif	46,67	46,44	46,50	48,03	42,71	46,07 a
Nabo forrageiro	51,28	44,42	59,34	49,43	45,05	49,90 a
Crotalária	45,27	52,88	53,22	43,93	46,73	48,40 a
Braquiária	44,80	52,16	43,84	51,13	58,47	50,08 a
Milheto	50,38	44,68	51,02	49,14	50,18	49,08 a
mm	47,68 A	48,11 A	50,79 A	48,33 A	48,63 A	
² Grão (t/ha)						
Escarif	11,67	11,61	11,63	12,01	10,68	11,52 a
Nabo forrageiro	12,82	11,10	14,84	12,36	11,26	12,48 a
Crotalária	11,32	13,22	13,31	10,98	11,68	12,10 a
Braquiária	11,20	13,04	10,96	12,78	14,62	12,52 a
Milheto	12,59	11,17	12,75	12,29	12,54	12,27 a
mm	11,92 A	12,03 A	12,70 A	12,08 A	12,16 A	

¹Silagem= CV 14,88%. ²Grão= CV 15%. Médias seguidas por uma mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de SNK a 5%. *mm= médias marginais quando não há interação entre os tratamentos. AD (arado de discos), GA (grade aradora), ES (escarificador), ER (enxada rotativa) e no PD (plantio direto).

Embora não houvesse diferença na produtividade do milho, no primeiro cultivo após as plantas de cobertura, estudos na região do Cerrado têm demonstrado o efeito benéfico destas antecedendo as culturas comerciais (CARDOSO et al., 2014). Tal fato pode ser atribuído à contínua liberação de nutrientes na superfície do solo após a decomposição dos seus resíduos vegetais (PACHECO et al., 2011; CARVALHO et al., 2015).

Os resultados encontrados por Jug et. al (2019) mostraram que o índice de colheita do milho significativamente maior em tratamentos de preparo conservacionista do solo se comparam ao convencional. Quase 34% do rendimento da cultura diminui devido a infestação de plantas daninhas no campo (JABRAN et al., 2015; WSSA, 2018). Silva et al. (2014) e Moda et al. (2014) também não encontraram diferenças na produtividade do milho em sistema de sucessão com plantas daninhas.

3.4. CONCLUSÕES

As espécies de plantas de cobertura nabo forrageiro, milheto, braquiária e crotalária propiciaram supressão da comunidade de plantas daninhas, quando comparadas com a subparcela em que se empregou o escarificador sem cobertura do solo. Neste preparo houve maior densidade e abundância de plantas daninhas. O nabo mostrou ser a espécie com maior potencial de supressão para essas condições experimentais, apresentando menor índice de frequência, densidade e abundância de plantas daninhas.

3.5 REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMONI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n. 4, p.601-612, 2003.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de coberturas do solo, sob sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, n. 1, p. 241-248, 2002.

ANDERSON, R. An ecological approach to strengthen weed management in the semiarid Great Plains. *Advances in Agronomy*, 80:33–62, 2003. DOI:10.1016/S0065-2113(03)80002-0

BLANCO-CANQUI, H., SHAVER, T.M. LINDQUIST, J.L. SHAPIRO, C.A. ELMORE, R.W. FRANCIS, C.A. and HERGERT. G.W. Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. *Agronomy Journal*, 107:2449–2474, 2015. DOI:10.2134/agronj15.0086

BRAINARD, D.C; BELLINDER, R. R. and KUMAR, V. Grass–legume mixtures and soil fertility affect cover crop performance and weed seed production. *Weed Technology*, 25:473–479, 2011. DOI:10.1614/ WT-D-10-00134.1

CALEGARI, A. Plantas para adubação verde de inverno no sudoeste do Paraná. Londrina: Iapar, 1990. 37p. (Boletim Técnico, 35).

CALEGARI, A. Sustentabilidade sim. In: ENCONTRO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 5. 2001, Dourados. Anais... Dourados: UFMS/Embrapa Agropecuária Oeste, p.23- 28, 2001.

CONCENÇO, G., TOMAZI, M., CORREIA, I.V.T., SANTOS, S.A., GALON, L. Phytosociological surveys: tools for weedscience? *Planta Daninha*, 31(2), 469-482, 2013.

CONIBERTI, V.; FERRARI, E.; DISEGNA, M.G.; PETILLO AND A.N. LAKSO, A. N. Undertrellis cover crop and planting density to achieve vine balance in a humid climate. *Scientia Horticulturae*, 227:65–74, 2018.

CORRÊA, J. C.; SHARMA, R. D. Produtividade do algodoeiro herbáceo em plantio direto no Cerrado com rotação de culturas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.1, p. 41- 46, jan. 2004.

CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCONI, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, n.2, p.161-168, fev. 2005.

DIAS, M. J.; ALVES, S.F.; FIALHO, E. R.; GOMES, D. O. Probabilidade de ocorrência dos atributos químicos em um Latossolo sob plantio direto. *Revista Caatinga*, v. 28, n. 4, 2015.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Avaliação do Desempenho agrônômico de plantas de cobertura usadas na proteção do solo no período de pousio. *Pesquisa agropecuária Brasileira*. 2013.

FERREIRA, E. A.; PAIVA, M. C. G.; PEREIRA, G. A. M.; OLIVEIRA, M. C.; SILVA, E. B. Fitossociologia de plantas daninhas na cultura do milho submetida à aplicação de doses de nitrogênio. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 6, n. 2, p. 100-107, abr./jun. 2019. ISSN 2358-6303.

FISK, J. W. O. B.; HESTERMAN, A.; SHRESTHA, J. J.; KELLS, R. R.; HARWOOD, J. M.; SQUIRE, AND C.C. SHEAFFER. Weed suppression by annual legume cover

crops in no-tillage corn. *Agronomy Journal*, 93:319– 325, 2001.
DOI:10.2134/agronj2001.932319x

FISK, J.W., O.B. HESTERMAN, A. SHRESTHA, J.J. KELLS, R.R. HARWOOD, J.M. SQUIRE, AND C.C. SHEAFFER.. Weed suppression by annual legume cover crops in no-tillage corn. *Agronomy Journal* 93:319– 325, 2001.
doi:10.2134/agronj2001.932319x

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho Distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 37, n. 1, p. 22-30, 2007.

GIACOMONI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.2, p.325-334, 2003.

GOMES, G.L.G.C., IBRAHIM, F.N., MACEDO, G.L., NOBREGA, L.P., ALVES, E., 2010. Cadastramento fitossociológico de plantas daninhas na bananicultura. *Planta Daninha*, 28(1), 61-68.

GUGLIERI-CAPORAL, A., CAPORAL, F.J.M., POTT, A. Phytosociology of sown pasture weeds under two levels of degradation in Brazilian savanna areas, Mato Grosso do Sul State, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 40(3), 312-321, 2010.

HAIDER, F.U., S. A. CHEEMA AND M. FAROOQ. Impacts of cover crops in improving agro-ecosystem including weed suppression – a review. *Pakistan Journal of Weed Science Research*, 25 (1):47-62, 2019.

HARPER, J.L. The regulation of numbers and mass in plant populations. In: LEWONTIN, R.C. (Ed.) *Population biology and evolution*. Syracuse: Syracuse University Press, 1968. p. 139-158.

ISIK, D.; KAYA, E.; NGOUAJIO, M. AND MENNAN, H. Weed suppression in organic pepper (*Capsicum annuum* L.) with winter cover crops. *Crop Protection*, 28:356–363, 2009. DOI:10.1016/j.cropro.2008.12.002

JABRAN, K.; MAHAJAN, G.; SARDANA, V. and CHAUHAN, B. S. Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Journal of Crop Production*, 72: 57-65, 2015.

JUG, D.; ĐURĐEVIĆ, B.; BIRKÁS, M.; BROZOVIĆ, B.; LIPIEC, J.; VUKADINOVIĆ, V.; JUG, I. Effect of conservation tillage on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Soil & Tillage Research* 194, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104327>

KLIEMANN, H. J.; MAGALHÃES, R. T.; OLIVEIRA, I. P.; MORAES, M. F. Relações da produção de massa verde de *Brachiaria brizantha* com os índices de

disponibilidade de nutrientes em solos sob o sistema barreira de manejo. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 33, n. 1, p. 49-56, 2003.

LAFLEN, J. M.; AMEMIYA, M.; HINTZ, E. A. Measuring crop residue cover. Journal of Soil and Water Conservation, v.36, n.6, p.341-3, 1981.

LAMEGO, F. P.; CARATTI, F. C.; REINEHR, M.; GALLON, M.; SANTI, A. L.; BASSO, C. J. Potencial de supressão de plantas daninhas por plantas de cobertura de verão. Comunicata Scientiae 6(1): 97-105, 2015.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira de Potassa e do Fósforo, 1997. 319 p.

MALONE, R.W., JAYNES, D.B. KASPAR, T.C. THORP, K.R. KLADIVKO, E. MA, L. JAMES, D.E. SINGER, J. MORIN, X.K. and SEARCHINGER, T. Cover crops in the upper Midwestern United States:79 simulated effect on nitrate leaching with artificial drainage. Journal of Soil and Water Conservation, 69, 292–305, 2014.

MARTINS, R. M. G.; ROSA JUNIOR, E. J. Culturas antecessoras influenciando a cultura de milho e os atributos do solo no sistema de plantio direto. Acta Science Agronomy, v.27, n.2, p.225-232, abr./jun. 2005.

MESBAH, A.; NILAHYANE, A.; GHIMIRE, B.; BECK, L.; GHIMIRE, R. Efficacy of Cover Crops on Weed Suppression, Wheat Yield, and Water Conservation in Winter Wheat–Sorghum–Fallow. Crop Science, vol. 59:1745–1752, 2019. DOI: 10.2135/cropsci2018.12.0753

NEGRINI, A. C. A. Desempenho de alface (*Lactuca sativa* L.) consorciada com diferentes adubos verdes. 113 p. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007. Dissertação (Mestrado em Agronomia)

NORSWORTHY, J.K.; WARD, S.M.; SHAW, D.R.; LLEWELLYN, R.S.; NICHOLS, R.L.; WEBSTER, T.M. et al. Reducing the risks of herbicide resistance: Best management practices and recommendations. Weed Science, 60:31–62, 2012 DOI:10.1614/WS-D-11-00155.1

OKAFOR, L.I., DeDATTA, S.K. Competition between upland rice and purple nutsedge for nitrogen, moisture and light. Weed Science, v. 24, n. 1, p. 43-40, 1976.

RANSON, J.K., OELKE, E.A. Common water plantain (*Alisma triviale*) interference with wild rice (*Zizania palustris*). Weed Science, v. 30, n. 1, p. 10-14, 1982.

SILVA, A. N. Desempenho agrônômico de plantas com duplo propósito (cobertura e grãos) submetidas a regimes hídricos variáveis e sua influência nos atributos do solo e no milho em sucessão. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2017, 103 p. Dissertação de Mestrado.

SCHIMANDEIRO, A.; WEIRICH NETO, P. H.; GIMENEZ, L. M.; COLET, M. J.; GARBUIO, P. W. Distribuição longitudinal de plantas de milho na região dos Campos Gerais, Paraná. *Ciência Rural*, v.36, n.3 p.977-980, 2006.

TIECHER, T.; CALEGARI, A.; CANER, L. and RHEINHEIMER, D. DOS S. Soil fertility and nutrient budget after 23- years of different soil tillage systems and winter cover crops in a subtropical Oxisol. *Geoderma*, 308:78–85, 2017.

4. CONCLUSÃO GERAL

As plantas de cobertura braquiária, nabo forrageiro, crotalária e milheto melhoraram os atributos físicos do solo. Os resultados mais positivos de melhoria na física do solo foram com o nabo forrageiro.

Quanto a supressão de plantas daninhas e nabo forrageiro foi o tratamento que mais se destacou apresentando menor índice de frequência, densidade e abundância de estas.