

JOÃO PAULO ASCARI

**INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E TÁTICAS DE MANEJO PARA UMA
AGRICULTURA SUSTENTÁVEL**

TANGARÁ DA SERRA – MT, BRASIL

2017

JOÃO PAULO ASCARI

**INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E TÁTICAS DE MANEJO PARA UMA
AGRICULTURA SUSTENTÁVEL**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós graduação Stricto Sensu em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: D. Sc. Dejânia Vieira de Araújo
Co-orientador: D. Sc. Leopoldo Sussumu Matsumoto

TANGARÁ DA SERRA – MT, BRASIL

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte

A811i Ascari, João Paulo.
Indicadores De Qualidade Do Solo E Táticas De Manejo Para Uma
Agricultura Sustentável. -- Tangará da Serra – MT / João Paulo Ascari.
2017.
93 f.

Orientador: Dr(a). Dejânia Vieira de Araújo.
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ambientes e Sistemas
de Produção Agrícola. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT
– Campus de Tangará da Serra/MT, 2017.

1. Adubação biológica. 2. Plantas de cobertura do solo. 3. *Glycine max*.
4. *Zea mays* e Produtividade de grãos. I. Título.

CDU 57(817.2)

Bibliotecária: Suzette Matos Bólito – CRB1/1945.

JOÃO PAULO ASCARI

“INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E TÁTICAS DE MANEJO PARA
UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL”

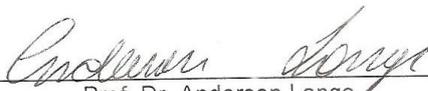
Dissertação apresentada à
Universidade do Estado de Mato
Grosso, como parte das exigências
do Programa de Pós-graduação
Stricto Sensu em Ambiente e
Sistemas de Produção Agrícola para
obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 12 de julho de 2017.

Banca Examinadora



Profa. Dra. Dejânia Vieira de Araújo
Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT
Orientador



Prof. Dr. Anderson Lange
Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT
Membro externo



Prof. Dr. Rivanildo Dallacort
Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT
Membro interno

TANGARÁ DA SERRA/MT- BRASIL

2017

DEDICATÓRIA

Dedico o sucesso na finalização desta pesquisa e obtenção do título de Mestre em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola a minha família - Valdir, Gilvania, Daianny, Anthony e Inês, pela ajuda, auxílio e apoio nos momentos de dificuldades encontrados durante essa trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a DEUS, por ter me concedido o dom da vida, por ter colocado em minha vida uma família que amo muito, pelas oportunidades que surgiram em meu caminho nesta passagem aqui na terra.

A minha mãe (Gilvania), meu pai (Valdir), minha irmã (Daianny) e sobrinho (Anthony), que são as melhores bênçãos concedidas por Deus a mim, por toda ajuda, apoio, orientação e conselhos sobre a vida. A vocês eu só tenho a agradecer.

Obrigado a Inês, que esteve presente nas horas difíceis e de festas, nas trabalhosas horas de serviço, ligadas diretamente na condução e realização desta pesquisa, e por todo apoio.

A professora Dejânia, obrigado pela oportunidade de ser seu orientado. Em um período de cinco anos de convivência com a equipe do Laboratório de Fitopatologia, aprendi muito, ensinamentos estes que certamente serão úteis na vida pessoal e profissional.

A Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Campus de Tangará da Serra – MT, ao Programa de Pós Graduação Ambiente e Sistema de Produção Agrícola – PPGASP pela oportunidade de realização do mestrado, e CAPES pela concessão de bolsa de estudos.

Ao professor Rivanildo – Laboratório CTGEO, pela disponibilização dos dados climáticos, e também ao professor Andersom Lange pelas contribuições para a melhoria do trabalho.

Agradeço a todos os meus amigos, que de uma forma ou outra, fizeram parte dessa trajetória. Em especial ao Otávio, Felipe, Esdras, Marcos, Rafael, Wagner, José Carlos, Leonardo, Vanessa, Kethelin, Jéssica.

Ao Departamento de Agronomia, em especial ao professor Anísio, a todos os colegas de profissão e produtores rurais, pela ajuda com os insumos utilizados nos experimentos. Agradeço ao parceiro Leopoldo - Laboratório de Microbiologia da Universidade do Norte do Paraná – UENP, ao apoio da Empresa Matogrossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural – EMPAER. Aos técnicos Edilson, Vanessa e Anildo pelo apoio nas análises.

“Peçam, e lhes será dado! Procurem, e encontrarão! Batam, e abrirão a porta para vocês! Pois todo aquele que pede, recebe; quem procura, acha; e a quem bate, a porta será aberta.”

Mateus, 7:7-8

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	10
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
ARTIGO I - Qualidade microbiológica e química do solo cultivado com soja em função da adubação biológica e cobertura de solo	19
ARTIGO II - Adubação biológica e plantas de cobertura: qualidade do solo e produtividade do milho	41
ARTIGO III - Adubação biológica e plantas de cobertura: efeitos na qualidade física do solo cultivado com soja e milho	65
CONSIDERAÇÕES FINAIS	94

RESUMO GERAL

A agricultura apresenta grande destaque na economia do Brasil, entre as principais commodities agrícolas, destacam-se as culturas da soja e do milho, que estão inseridas em um contexto agrícola que passa por mudanças nas práticas de manejo, visando o aumento da produtividade das culturas e a conservação do solo. Objetivou-se analisar os indicadores de qualidade do solo em função da adubação biológica e condições de cobertura do solo no cultivo da soja e do milho. O ensaio foi conduzido por dois anos – safras 2015/16 e 2016/17, na área experimental do Laboratório de Fitopatologia – UNEMAT, de clima Tropical Úmido Megatérmico (Aw) em um Latossolo Vermelho distroférico. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial duplo, tendo como fatores a adubação biológica (com e sem) e condições de cobertura do solo (*Pennisetum glaucum*, *Crotalaria ochroleuca* e pousio limpo). Como referência foi considerado uma testemunha no fragmento de mata. A semeadura do *P. glaucum* e da *C. ochroleuca* foi no mês de outubro dos anos de 2015 e 2016. Logo após a dessecação das plantas de cobertura, foi coletado material vegetal de cada parcela para determinação da produção de massa seca, taxa de decomposição e tempo de meia vida da palhada do *P. glaucum* e da *C. ochroleuca*. De modo simultâneo, a semeadura direta da soja e do milho foi feita no mês de dezembro de 2015 e 2016, seguida da imediata aplicação do adubo biológico. Aos 120 dias após a semeadura da soja e do milho, foram realizadas as avaliações dos indicadores de qualidade física, química e microbiológica do solo. Ao final do ciclo fenológico, avaliou-se os parâmetros vegetativos e produtivos da soja e do milho. Os indicadores microbiológicos se mostraram bastante sensíveis as modificações no solo, promovidas pelo sistema de cultivo da soja e do milho, sendo observado aumento do carbono da biomassa e do quociente microbiano, além da redução do quociente metabólico do solo a partir do uso da adubação biológica, *P. glaucum* e *C. ochroleuca*. A fertilidade do solo aumentou com o manejo proposto neste estudo, com ênfase aos incrementos de potássio no solo nas duas safras. Os indicadores físicos do solo foram mais responsivos a presença de cobertura vegetal, contudo, o adubo biológico juntamente com *P. glaucum* e *C. ochroleuca*, contribuíram com a redução da compactação do solo e aumento da macroporosidade. Em razão das melhores condições do solo, foi observado incrementos de produtividade da soja na safra 2016/17 e do milho nas safras 2015/16 e 2016/17. Mesmo com a recente implantação das técnicas de manejo propostas neste estudo, foi observado respostas positivas nos indicadores físicos, químicos e microbiológicos do solo nas safras 2015/16 e 2016/17, revelando a importância deste manejo para áreas de cultivo comercial. Conclui-se que, a adubação biológica e as plantas de cobertura de solo são técnicas conservacionistas, que melhoraram a qualidade física, química e microbiológica do solo, além do incremento na produtividade das culturas da soja e do milho nas duas safras estudadas.

Palavras-chave: Adubação biológica, Plantas de cobertura do solo, *Glycine max*, *Zea mays* e Produtividade de grãos.

ABSTRACT

The agriculture presents great distinction in the economy of Brazil, between the principals agricultural commodities, stand out the cultures of the soybean and corn, which are inserted in an agricultural context that suffers changes in handling practices, aiming at the increase of crop productivity and soil conservation. The aimed to analyse quality indicators of the ground in function of the biological fertilizing and soil cover conditions in soybean and corn cultivation. The experiment was conducted for two years – crops 2015/16 and 2016/17, in the experimental area of the Laboratory of Phytopathology – UNEMAT, of Megathermal Wet Tropical climate (Aw) in a dystroferric red-latosol. The experimental design was in randomized blocks, in scheme fatorial doubly, with biological fertilizing (with and without) and soil cover conditions (*Pennisetum glaucum*, *Crotalaria ochroleuca* and fallow clean) as factors. As a reference standard, a control was considered in the forest fragment. The sowing of the *P. glaucum* and *C. ochroleuca* was in the October of the years of 2015 and 2016. Soon after the desiccation of the cover plants, vegetable material of each piece was collected for determination of the dry mass production, decomposition tax and soak time life of *P. glaucum* straw and *C. ochroleuca*. Simultaneously, the straight sowing of the soybean and corn was done in December of 2015 and 2016, followed by the immediate application of the biological fertilizer. To 120 days after sowing of soybean and corn, there were carried out the evaluations of the physical indicators, chemical and microbiological quality of the soil. To the end of the phenological cycle, there were valued the vegetative and productive parameters of the soybean and corn. The microbiological indications showed to be very sensitive to the changes in the soil promoted by the soybean and corn cultivation system. The biomass carbon and microbial quotient increase was observed, as well as the reduction of the metabolic quotient of the soil from the use of biological fertilization, *P. glaucum* and *C. ochroleuca*. The soil fertility increased with the handling proposed in this study, with emphasis to the potassium increase in two harvests. The soil physical indicators were more responsive to the presence of plant cover, however, the biological fertilizer together with *P. glaucum* and *C. ochroleuca* contributed to the reduction of soil compaction and increase of macroporosity. Due to better soil conditions, soybean yield increases were observed in the 2016/17 crop and corn in the 2015/16 and 2016/17 harvest. Even with the recent implementation of management techniques proposed in this study, positive responses were observed in the physical, chemical and microbiological indicators of the soils in the 2015/16 and 2016/17 harvest, revealing the importance of this management for commercial cultivations. It is concluded that, biological fertilization and soil cover plants are conservation techniques, which improved the physical, chemical and microbiological quality of the soil, as well as the increase in soybean and corn crop yield in the two harvests studied.

Key words: Biological fertilization, Plants of soil cover, *Glycine max*, *Zea mays* and Grain yield

INTRODUÇÃO GERAL

A cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill] possui grande importância no cenário agrícola brasileiro, sendo o Brasil o segundo maior produtor mundial, com produção na safra 2016/2017 de 107.614,6 mil toneladas de grãos. A região Centro Oeste é a maior produtora nacional desta oleaginosa, com 48.588,7 mil toneladas, do qual o estado de Mato Grosso participa com cerca de 62%, e produtividade média de 3.235 kg ha⁻¹ (CONAB, 2017).

Em relação à cultura do milho (*Zea mays* L.), o Brasil é o terceiro maior produtor mundial, sendo esse o cereal de maior importância agrícola no estado de Mato Grosso, geralmente cultivado em safrinha, com produção de 23.416,2 mil toneladas de grãos, o que representa cerca de 40% da produção Nacional, com produtividade média de 5.679 kg ha⁻¹ (CONAB, 2017).

Tal importância para o agronegócio decorre do atual sistema de sucessão de culturas praticado por grande parte dos agricultores do estado de Mato Grosso, representado por soja/milho. A utilização constante desse sistema pode levar a diversas alterações nas propriedades do solo, como formação de gradientes de fertilidade e camadas compactadas no perfil, além de modificações nas relações biológicas (FREDDI et al., 2017).

A adoção de práticas agrícolas que visam à qualidade do solo estão sendo disseminadas pelas áreas cultivadas, porém, em muitas propriedades o manejo ainda é feito de forma intensiva e inadequada. Deste modo, torna-se necessário realizar o monitoramento da qualidade do solo, visando a manutenção da saúde e produtividade do agroecossistema (FIALHO et al., 2006).

A qualidade do solo é definida como sendo a capacidade de funcionar em condições naturais e/ou manejadas sustentando a produtividade vegetal e animal (KARLEN et al., 1997). O solo deve ser considerado como um sistema aberto, e sua qualidade determinada através do sistema solo-planta e organismos adaptados ao ambiente analisado (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Para isso, faz-se necessário o uso de ferramentas capazes de refletir a situação das propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

A escolha do indicador a ser utilizado leva em consideração a relação do mesmo com os objetivos do estudo. Ao considerar a qualidade física do solo, pode-se

analisar a porosidade, densidade das partículas, resistência mecânica do solo a penetração, infiltração de água, condutividade hidráulica e elétrica, tamanho dos poros, dentre outros. Mais importante ainda, é considerar a relação entre os indicadores, a fim de obter resultados mais representativos da situação do solo (ALVES et al., 2007).

Tais indicadores devem ter sensibilidade às mudanças ocasionadas pelas práticas agrícolas, permitindo fornecer informações da capacidade produtiva do solo submetido à determinadas atividades e uso, como a concentração de macro e micronutrientes, em se tratando de indicadores químicos (MORAES et al., 2015).

As propriedades microbiológicas são indicadores bastante sensíveis as alterações do ambiente, sendo bastante representativa na camada superficial do solo. Os microrganismos são responsáveis por diversos componentes de funcionamento do solo, sendo também eficientes indicadores de alterações das suas propriedades físicas e químicas. Os principais bioindicadores são o carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo, quociente microbiano e metabólico, além de diversas enzimas presentes no solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

O desenvolvimento das culturas agrícolas é influenciado pelas características do solo, nesse aspecto, as tornam dependentes do manejo adotado no sistema. O uso de práticas como, adubação biológica combinada com mineral podem apresentar efeitos sinérgicos, aumentando a fertilidade e promovendo a manutenção da estrutura do solo. Isso, em virtude do aumento da atividade microbiológica natural presente no local e suas relações com a matéria orgânica do solo (MEDEIROS et al., 2003; MEDEIROS; LOPES, 2006).

O adubo biológico também pode apresentar efeitos no desenvolvimento e produtividade de algumas culturas, como o observado por Galbiatti et al. (1996) na cultura do feijão, onde constataram que o adubo biológico promoveu maior acúmulo de massa seca nas folhas e também maior produtividade de grãos. Resultados verificados por Collard et al. (2001) na cultura do maracujá, não apontaram diferenças significativas entre o uso somente da adubação biológica e adubação biológica combinada com a mineral. Já Bezerra et al. (2008) verificaram que a cultura do milho apresentou melhor desenvolvimento agrônômico da planta tendo maior número de espigas por metro quadrado com o uso de adubo biológico.

Esses resultados podem ser justificados pelo fato do composto biológico possuir componentes responsáveis pelo balanceamento do processo de fermentação e produção do adubo biológico líquido, que em sua composição, possuem macro e micronutrientes, proteínas, enzimas e vitaminas necessárias ao crescimento e desenvolvimento dos microrganismos presentes no solo (PENTEADO, 2010).

A microbiota após estabelecida no ambiente, atua na proteção da estrutura física, química e microbiológica do solo (MEDEIROS et al., 2003; WU et al., 2005; MEDEIROS e LOPES, 2006; MERCANTE et al., 2012). Na presença de palhada, a ação microbiológica é intensificada, pois atuam como agentes decompositores da matéria seca (CAPUANI et al., 2012).

Por esse motivo, os microrganismos promoveram a adequação dos níveis de carbono orgânico no solo, refletindo em maior capacidade produtiva, além de mineralizar nutrientes fixados nos restos vegetais de forma gradual no sistema (GALBIATTI et al., 1996; TROEH e THOMPSON, 2007). Os microrganismos são considerados os mais sensíveis indicadores de qualidade ambiental do solo (MATSUOKA et al., 2003; ARAÚJO e MONTEIRO, 2007).

Solos com vegetação nativa apresentam melhores condições ao desenvolvimento e crescimento de populações microbianas, visto que não sofrem alterações com o preparo de solo, tem acúmulo de serapilheira em quantidade e qualidade, menor amplitude térmica, maior diversidade vegetal, que promovem maior fixação de carbono no solo, o que resulta em maior biomassa microbiana (MATSUOKA et al., 2003; JAKELAITIS et al., 2008; CUNHA et al., 2012).

Para buscar o equilíbrio nas inter-relações do solo em áreas agrícolas, deve-se optar por manejos com favoreçam a biomassa microbiana, pois estes, são agentes biológicos que apresentam importante função em algumas transformações da estrutura física e da química do solo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Em muitos casos, áreas submetidas ao uso agrícola ou pecuária apresentam baixa qualidade do solo, pois Cherubin et al. (2015) relataram que o sistema de cultivo com revolvimento intensifica o estresse causado aos microrganismos do solo, nessas condições, o processo de decomposição da matéria orgânica é intensificada, tendo rápido consumo da matéria seca pouco complexa presente no solo. Estando em desequilíbrio, a biomassa microbiana passa a consumir mais carbono através da

respiração, aumentando assim, suas perdas para a atmosfera na forma de dióxido de carbono – CO₂.

Os indicadores de qualidade química do solo também sofrem influência com a intensidade de uso. Ebeling et al. (2011) afirmaram que solos submetidos a sistemas de cultivo agrícola apresentaram alterações nas propriedades químicas, como a menor capacidade de troca de cátions, além de reduzir o pH.

Mesmo sendo considerada uma prática de caráter conservacionista, o plantio direto acarreta alguns problemas no solo, principalmente na estrutura física, como a formação de camadas compactadas no perfil, em decorrência do trânsito de máquinas agrícolas em solos com pouca cobertura vegetal. De acordo com Dalchiavon et al. (2011), a compactação causa um rearranjo das partículas e agregados do solo, alterando sua estrutura física, o que reflete no aumento da microporosidade, que prejudica a absorção de nutrientes, trocas gasosas, infiltração de água, crescimento radicular das culturas e conseqüentemente, promove a redução da produtividade.

Contudo, a aplicação de algumas formas de manejo podem apresentar bons resultados em relação à qualidade do solo, como o uso de plantas de cobertura, que apresentam potencial para aumentar a quantidade de matéria orgânica no solo (CUNHA et al., 2012), além de que a introdução de diferentes espécies vegetais no sistema favorece o desenvolvimento dos microrganismos do solo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

A manutenção da cobertura do solo é fundamental para realização do plantio direto (ANDREOTTI et al., 2008), muito utilizado no sistema de cultivo da soja e do milho. Com isso, as plantas de cobertura apresentam importante papel nesse sistema (BERNARDI et al., 2003), atuando na melhoria e recuperação da estrutura do solo (MATIAS et al., 2012). Nesse caso é recomendado optar por culturas com elevado potencial de produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes, como o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) (CARNEIRO et al., 2008), ou a crotalária (*Crotalaria ochroleuca* G. Don.), caracterizada por sua capacidade de fixação biológica de nitrogênio atmosférico além da produção de palhada (PAULETTI, 1999; ROSOLEM et al., 2003).

Os benefícios do uso de plantas de cobertura são relatados por Silva et al. (2014), pois na presença de cobertura vegetal em áreas cultivadas, os autores observaram melhoria da qualidade física do solo, sendo até mesmo semelhante ao

fragmento de mata, pela menor resistência a penetração e densidade, maior porosidade total e macroporosidade do solo, neste caso, boas condições físicas para o desenvolvimento do sistema radicular das culturas. Ferreira et al. (2010) também observaram benefícios com o uso de plantas de cobertura de solo, como menor amplitude térmica, maior umidade, acúmulo de matéria orgânica, redução de processos erosivos e maior agregação das partículas do solo.

Tanto a adubação biológica quanto o uso de coberturas de solo, são estratégias de manejo alternativo que apresentam potencial para influenciar os indicadores físicos, químicos e microbiológicos da qualidade do solo. Esses indicadores podem revelar a situação de um solo submetido a atividades agrícolas, além de oferecer suporte para possíveis apontamentos em relação à sua qualidade (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007).

Segundo Amado et al. (2009) e Zonta et al. (2014), conhecer as características do solo e das espécies vegetais utilizadas no sistema de produção agrícola são importantes informações que auxiliam no manejo de cada área. Por isso, avaliar os efeitos da adubação biológica e das plantas de cobertura do solo nos atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo é de grande importância, em virtude dos reflexos no desenvolvimento produtivo das culturas da soja e do milho, além de estimular o uso de práticas agrícolas menos impactantes ao agroecossistema, que contribuem para a sustentabilidade da agricultura no estado de Mato Grosso.

Sendo assim, objetivou-se analisar os indicadores de qualidade do solo e os efeitos da adubação biológica e de plantas de cobertura do solo no cultivo da soja e do milho em dois anos agrícolas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. C. et al. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho Distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 617-625, 2007.

AMADO, T. J. C. et al. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 831-843, 2009.

ANDREOTTI, M. et al. Produtividade do milho safrinha e modificações químicas de um Latossolo em sistema plantio direto em função de espécies de cobertura após calagem superficial. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 109-115, 2008.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Biosciencia Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

BERNARDI, A. C. C. et al. **Correção do Solo e Adubação no Sistema de Plantio Direto nos Cerrados**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 20p. (Documentos, 46).

BEZERRA, L. L. et al. Avaliação da aplicação de biofertilizante na cultura do milho: crescimento e produção. **Revista Verde**, Mossoró, v. 3, n. 3, p. 131-139, 2008.

CAPUANI, S. et al. Atividade microbiana em solos influenciada por resíduos de algodão e torta de mamona. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1269-1274, 2012.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 455-462, 2008.

CHERUBIN, M. R. et al. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 2, p. 615-625, 2015.

COLLARD, F. H. et al. Efeito do uso de biofertilizante Agrobio na cultura do maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg). **Revista Biociências**, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 15-21, 2001.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Sexto levantamento, Safra 2016/2017**. Brasília: CONAB, v. 4, n. 6, 2017.

CUNHA, E. Q. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 56-63, 2012.

DALCHIAVON, F. C. et al. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no Cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 8-19, 2011.

EBELING, A. G. et al. Atributos químicos, carbono orgânico e substâncias húmicas em Organossolos Háplicos de várias regiões do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 325-336, 2011.

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, 2010.

FIALHO, J. S. et al. Indicadores da qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi-CE. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 37, n. 3, p. 250-257, 2006.

FREDDI, O. S. et al. Physical-chemical quality of a Latossol under direct seeding and soybean-corn succession in the Cerrado-Amazonian Ecotone. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 4, p. 991-1000, 2017.

GALBIATTI, J. A. et al. Efeitos de diferentes doses e épocas de aplicação de efluente de biodigestor e da adubação mineral em feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris*, L.) Submetido a duas lâminas de água por meio de irrigação por sulco. **Científica**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 63-74, 1996.

JAKELAITIS, A. et al. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.

KARLEN, D. L. et al. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 61, p. 4-10, 1997.

MATIAS, S. S. R. et al. Influência de diferentes sistemas de cultivo nos atributos físicos e no carbono orgânico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, n. 3, p. 414-420, 2012.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 425-433, 2003.

MEDEIROS, M. B.; LOPES, J. S. Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. **Revista Bahia Agrícola**, Bahia, v. 7 n. 3 p. 24-26, 2006.

MEDEIROS, M. B.; WANDERLEY, P. A.; WANDERLEY, M. J. A. Biofertilizantes líquidos. **Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**. Brasília, v. 31, n. 1, p. 38-44, 2003.

MERCANTE, F. M. et al. **Rendimento de grãos de milho cultivado em consórcio com adubos verdes sob condições de baixa aplicação de insumos**. 1ª ed. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2012. 24p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 61).

MORAES, E. R. C. et al. Indicadores da qualidade química do solo em áreas cultivadas com mamoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 6, p. 587-591, 2015.

PAULETTI, V. A. Importância da palhada e da atividade biológica na fertilidade do solo. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 3., 1999, Cruz Alta. **Anais...** Passo Fundo: Aldeia Norte, 1999. p. 56-66.

PENTEADO, S. R. **Adubação orgânica**: Compostos Orgânicos e biofertilizantes. 1ª ed. Viçosa: Via Orgânica, 2010. 160p.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 355-362, 2003.

SILVA, R. L. et al. Atributos físicos do solo em diferentes coberturas vegetais na região Sul do Piauí. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 3, p. 160-168, 2014.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e fertilidade do solo**. 6ª ed. São Paulo: ANDREI, 2007. 718p.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.

WU, S. C. et al. Effects of biofertilizers containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. **Geoderma**, Wageningen, v. 125, n. 1-2, p. 155-166, 2005.

ZONTA, J. H. et al. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com algodoeiro no Cerrado do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 6, p. 595-602, 2014.

ARTIGO I

[Archives of Agronomy and Soil Science]

**QUALIDADE MICROBIOLÓGICA E QUÍMICA DO SOLO CULTIVADO COM SOJA
EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO BIOLÓGICA E COBERTURA DE SOLO****MICROBIOLOGICAL AND CHEMICAL QUALITY OF SOIL CULTIVATED WITH
SOYBEAN IN THE FUNCTION OF BIOLOGICAL FERTILIZATION AND SOIL
COVERAGE**

João Paulo Ascari^{*1}, Dejânia Vieira de Araújo¹, Leopoldo Sussumu Matsumoto²

¹ Programa de Pós-Graduação Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola – PPGASP, Centro de Estudos, Pesquisas e Desenvolvimento Agro-Ambiental – CEPDA, Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Campus de Tangará da Serra, Mato Grosso, Brasil. ² Doutor em Agronomia, docente na Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, Bandeirantes – PR.

Contato: João Paulo Ascari; Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Tangará da Serra – MT, Brasil: E-mail: joaoascari@hotmail.com

QUALIDADE MICROBIOLÓGICA E QUÍMICA DO SOLO CULTIVADO COM SOJA EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO BIOLÓGICA E PLANTAS DE COBERTURA

RESUMO

A produtividade da cultura da soja é influenciada pelas propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo, que são favorecidas por técnicas de manejo que promovem melhoria na qualidade do solo. O objetivo deste estudo foi avaliar a produtividade da soja, a qualidade química e microbiológica do solo em função de adubação biológica e condições de cobertura de solo. O experimento foi conduzido durante dois anos – safras 2015/16 e 2016/17 na área experimental da Universidade do Estado de Mato Grosso, Campus de Tangará da Serra, em um Latossolo Vermelho distroférico. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, tendo as características agrônômicas da soja analisadas em função dos fatores adubação biológica e condições de cobertura do solo, já para os indicadores químicos e microbiológicos do solo, além dos dois fatores citados acima, foi considerado uma testemunha no fragmento de mata. As plantas de cobertura (*Pennisetum glaucum* e *Crotalaria ochroleuca*) e a cultura da soja foram semeadas em outubro e dezembro, respectivamente, dos anos de 2015 e 2016, seguida da aplicação do adubo biológico. Após a maturidade fisiológica da soja, foi avaliado as características da cultura, os indicadores químicos e microbiológicos do solo. Foi observado maior altura de plantas, vagens com três grãos, área foliar e produtividade da soja cultivada sobre *C. ochroleuca*, seguida do *P. glaucum*. O adubo biológico, o *P. glaucum* e a *C. ochroleuca* promoveram incrementos na fertilidade do solo cultivado com soja, principalmente de potássio, além de ter contribuído para reduzir as perdas de carbono, indicados pela menor respiração basal e quociente metabólico do solo. A soja apresentou maior produtividade com *C. ochroleuca*. Os indicadores químicos e microbiológicos do solo melhoraram a qualidade com a adubação biológica e as plantas de cobertura de solo.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max*. Produtividade. Qualidade química. Qualidade microbiológica.

MICROBIOLOGICAL AND CHEMICAL QUALITY OF SOIL CULTIVATED WITH SOYBEAN IN THE FUNCTION OF BIOLOGICAL FERTILIZATION AND SOIL COVERAGE

ABSTRACT

The yield of the soybean crop is influenced by the physical, chemical and microbiological properties of the soil, which are favored by management techniques that promote improvement in soil quality. The objective of this study was to evaluate soybean yield, chemical and microbiological quality of the soil as a function of biological fertilization and soil cover conditions. The experiment was conducted for two years – crops 2015/16 and 2016/17 in the experimental field of the State University of Mato Grosso, *Campus* of Tangara da Serra, in a dystroferric red-latosol. The experimental design was in randomized blocks, with the agronomic characteristics of the soybean analyzed as a function of the factors of biological fertilization and soil cover conditions, as well as the chemical and microbiological indicators of the soil, besides the two factors mentioned above, fragment of forest. Cover plants (*Pennisetum glaucum* and *Crotalaria ochroleuca*) and soybean crop were sown in October and December, respectively, from the years 2015 and 2016, followed by application of the biological fertilizer. After the physiological maturity of the soybean, the crop characteristics, the chemical and microbiological indicators of the soil were evaluated. It was observed higher height of plants, pods with three grains, leaf area and yield of soybean cultivated on *C. ochroleuca*, followed by *P. glaucum*. Biological fertilizer, *P. glaucum* and *C. ochroleuca* promoted increases in the fertility of soil cultivated with soybean, mainly potassium, and contributed to reduce carbon losses, indicated by lower basal respiration and soil metabolic quotient. The soybean presented higher productivity with *C. ochroleuca*. The chemical and microbiological indicators of the soil improved the quality with the biological fertilization and the soil cover plants.

KEYWORDS: *Glycine max.* Yield. Chemical quality. Microbiological quality.

INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma das culturas de maior importância econômica do agronegócio brasileiro, em escala mundial, o Brasil é o segundo maior produtor desta oleaginosa, com produção, área cultivada e produtividade na safra 2016/2017 de 113.930,2 mil toneladas, 33.888,7 mil hectares e 3.362 kg ha⁻¹, respectivamente (Conab 2017).

Para atender as demandas produtivas exigidas pelo mercado nacional e internacional é necessário a adoção de técnicas que contribuem para aumentar a qualidade do solo, e que permitam adequado desenvolvimento da cultura, visto que, manejos realizados corretamente aumentam os níveis de fertilidade do solo, conseqüentemente, obtenção de maior produção da cultura (Sousa e Lobato 2004).

O uso inadequado do solo produz efeitos negativos em suas propriedades químicas e microbiológicas, podendo levar a desequilíbrios nos processos de formação pedogenética, intensificando as perdas de solo, de matéria orgânica, carbono orgânico e nutrientes do solo (Ebeling et al. 2011, Cunha et al. 2012).

Os microrganismos estão ligados diretamente ao processo de decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e fluxo de energia. A biomassa microbiana do solo é constituída basicamente por fungos e bactérias, e são consideradas bastante sensíveis as alterações provocadas no ambiente (Trannin et al. 2007).

Mudanças na dinâmica do carbono orgânico, degradação da matéria orgânica, alterações na fertilidade, dentre outras, podem ser monitoradas a partir de indicadores de qualidade do solo. Entre os mais utilizados nas propriedades microbiológicas, estão a respiração basal, carbono da biomassa microbiana, quociente metabólico e microbiano do solo (Jenkinson e Powlson 1976, Vance et al. 1987, Anderson e Domsch 1993). Já para as propriedades químicas, aplica-se alguns indicadores que representam os macro e micronutrientes, pH, hidrogênio e alumínio (Ebeling et al. 2011, Cunha et al. 2012).

Como prática de manejo agrícola, a introdução de plantas de cobertura do solo visa aumentar a produção de resíduos vegetais, e dessa forma, contribuir com o aumento da atividade microbiana, fixação e ciclagem dos nutrientes no solo (Cunha et al. 2012, Cherubin et al. 2015). Entres as culturas de cobertura mais utilizadas no sistema de produção, pode-se citar o milheto (*Pennisetum* sp.) e a crotalária

(*Crotalaria* sp.), ambas com alto potencial de produção de massa seca e ciclagem de nutrientes.

Com o processo de decomposição, os minerais fixados nos resíduos vegetais são liberados no solo e/ou fixados pelos próprios microrganismos, que após sua morte, são mineralizados novamente, contribuindo com a agregação das partículas e aumento da fertilidade do solo (Carneiro et al. 2008, Vezzani e Mielniczuk 2011).

Os micro-organismos são beneficiados pela presença de resíduos orgânicos diversificados, pois devido a redução do substrato utilizado pela biomassa microbiana, estudos apontam redução da biodiversidade das relações ecológicas no solo. Mediante esse problema, o adubo biológico pode contribuir para multiplicação e desenvolvimento de populações microbianas, pois o mesmo é constituído por água, esterco orgânico, composto orgânico enriquecido com macro e micronutrientes, enzimas e vitaminas (Medeiros e Lopes 2006).

Na busca pela sustentabilidade na agricultura, a aplicação de adubo biológico e plantas de cobertura, visam minimizar os impactos causados pelas práticas agrícolas nas propriedades químicas e microbiológicas do solo, tendo melhor desenvolvimento vegetativo e incrementos de produtividade da cultura. Por isso, o objetivo deste estudo foi avaliar a produtividade da soja, a qualidade química e microbiológica do solo em função de adubação biológica e condições de cobertura de solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante dois anos agrícolas – safras 2015/2016 e 2016/2017, na área experimental da Universidade do Estado de Mato Grosso, Campus de Tangará da Serra – MT, nas coordenadas geográficas 14°39'53"S e 57°25'46"W. Foi considerado como área de referência, um fragmento de mata localizado geograficamente a 14°39'07"S e 57°25'21"W. O solo de ambos os locais foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (Embrapa 2013) e clima Tropical Úmido Megatérmico (Aw) de acordo com a classificação de climática de Köppen.

Para as características químicas e microbiológicas do solo, foi utilizado o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial duplo com testemunha adicional (2 x 3 + 1), sendo duas condições de adubo biológico (com e sem), três

condições de cobertura do solo [milheto (*Pennisetum glaucum* L. R. Br.); crotalária (*Crotalaria ochroleuca* G. Don.); pousio limpo] e uma testemunha no fragmento de mata, com quatro repetições. Para as características vegetativas e produtivas da cultura da soja, considerou somente os fatores adubo biológico e coberturas de solo.

Antes da implantação deste experimento a área experimental foi cultivada com *Gossypium hirsutum* durante cinco anos consecutivos no sistema convencional de produção (duas arações do solo). No mês de julho de 2015 com auxílio do trado Holandês foi realizada coleta de solo, tendo dez amostras simples para formar uma amostra composta, para análise química na camada de 0 a 0,20 m de profundidade. Com os resultados da análise (Tabela 1) e as recomendações de Sousa e Lobato (2004), foi realizado a correção do solo com aplicação de 1.300 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico, incorporado posteriormente com grade niveladora.

Tabela 1: Resultado da análise química do solo realizada no mês de julho de 2015, camada de 0 a 0,20 m, e qualidade química do adubo biológico

Qualidade química do solo											
pH	P	K	Ca	Mg	Al	H	Al+H	T	V	MO	
CaCl ₂	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³							%	g dm ⁻³	
5,52	1,03	0,20	2,17	1,37	0,00	4,33	4,33	8,07	46,34	32,67	
Ca	Mg	K	Zn	Cu	Fe	Mn	B	S	Argila	Areia	Silte
%			mg dm ⁻³					g kg ⁻¹			
26,93	17,10	2,47	1,33	3,53	43,67	30,60	0,28	13,13	544	86	370
Qualidade química do adubo biológico											
pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	B	MO
H ₂ O	g L ⁻¹					mg L ⁻¹				%	
6,2	0,71	0,3	0,02	0,06	0,01	0,04	4,7	2,8	175	14,4	5,2

Potencial hidrogeniônico (pH), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), hidrogênio (H), capacidade de troca de cátions (T), saturação e bases (V), matéria orgânica (MO), saturação de cálcio (%Ca), saturação de magnésio (%Mg), saturação de potássio (%K), zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), boro (B), enxofre (S) e nitrogênio (N).

As parcelas foram constituídas de cinco metros de comprimento por cinco metros de largura. A semeadura do milheto (Cv. ADR 500 – 25 kg ha⁻¹) e da crotalária (Cv. Comum – 15 kg ha⁻¹) foi realizada a lanço no dia 03 de outubro dos anos de 2015 e 2016 e incorporadas com grade niveladora fechada, sendo dessecadas aos 50 e 65 dias após a semeadura do milheto e da crotalária, respectivamente, com o herbicida Paraquate + Diurom (400 + 200 g i.a ha⁻¹).

A semeadura direta da soja foi realizada no dia 20 de dezembro dos anos de 2015 e 2016, utilizando a cultivar 98Y30, com espaçamento entre linhas de 0,5 m e densidade de 14 plantas por metro. Como área útil da parcela, considerou-se as quatro linhas centrais, desprezando 0,5 m em cada extremidade como efeito de borda.

Nas duas safras foi realizada adubação de semeadura com 280 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K₂O. Aos 30 e 50 dias após a semeadura (DAS) foi aplicado em cobertura 50 + 50 kg ha⁻¹ de K₂O, conforme as recomendações de Sousa e Lobato (2004). As fontes de nutrientes foram Mono-amônio fosfato (52% de P₂O₅ + 9% N) e Cloreto de potássio (60% de K₂O). Foi realizado adubação foliar com micronutrientes 30 DAS.

O adubo biológico foi preparado em tambor de 100 L na proporção de 20 L de água, 4 L de esterco bovino e 1 kg de composto biológico enriquecido com minerais 30 dias antes de sua aplicação. As características minerais do adubo biológico estão apresentadas na Tabela 1, com microrganismos responsáveis pela fermentação aeróbica e anaeróbica, como bactérias, fungos e leveduras (Medeiros e Lopes, 2006). Após o adubo biológico ser filtrado, foi realizado a aplicação com pulverizador 24 horas após a semeadura da soja, na dose de 150 L ha⁻¹.

Em relação às características vegetativas da soja, considerou-se a área foliar medida no estágio fenológico R₁ (Adami et al. 2008). No estágio fenológico R₉ foram determinadas a altura da planta (mensuradas da base ao ápice da planta), altura de inserção da primeira vagem (média na base da planta até a altura onde está inserida a primeira vagem) e número de nós (contagem de todos os nós da planta a partir do nó cotiledonar).

Quanto as características produtivas, considerou-se o número de vagens com um, dois, três e quatro grãos. Na colheita foram trilhadas todas as plantas presentes na área útil da parcela, tendo a umidade dos grãos corrigida para 13%, foi calculada a massa de mil grãos e determinada a produtividade em kg ha⁻¹ (Souza et al. 2010).

Os indicadores de qualidade do solo foram determinados em cada parcela após a maturidade fisiológica da soja, e também no fragmento de mata. O solo foi coletado no espaço entre as linhas de semeadura da soja em cinco pontos por parcela com auxílio de um trado Holandês, tendo uma amostra composta por parcela.

As características químicas foram determinados na camada de 0 a 0,20 m de profundidade, considerado a matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH),

fosforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio (H), alumínio (Al), Capacidade de troca de cátions (T) e saturação de potássio (%K) (Embrapa 2011).

Nas análises microbiológicas do solo, camada de 0 a 0,10 m de profundidade, foram avaliados o carbono da biomassa microbiana do solo pelo método fumigação-extração (Vance et al. 1987), respiração basal do solo obtido pela quantificação do CO₂ liberado após incubação do solo em local fechado (Jenkinson e Powlson 1976), quociente microbiano determinada pela relação entre o carbono da biomassa microbiana do solo e o carbono orgânico total, o quociente metabólico obtido pela relação entre a respiração basal do solo e o carbono da biomassa microbiana do solo (Anderson e Domsch 1993).

Foi realizado o monitoramento dos dados climáticos durante o desenvolvimento do estudo em uma estação Meteorológica automática instalada a 300 metros da área experimental (Figura 1).

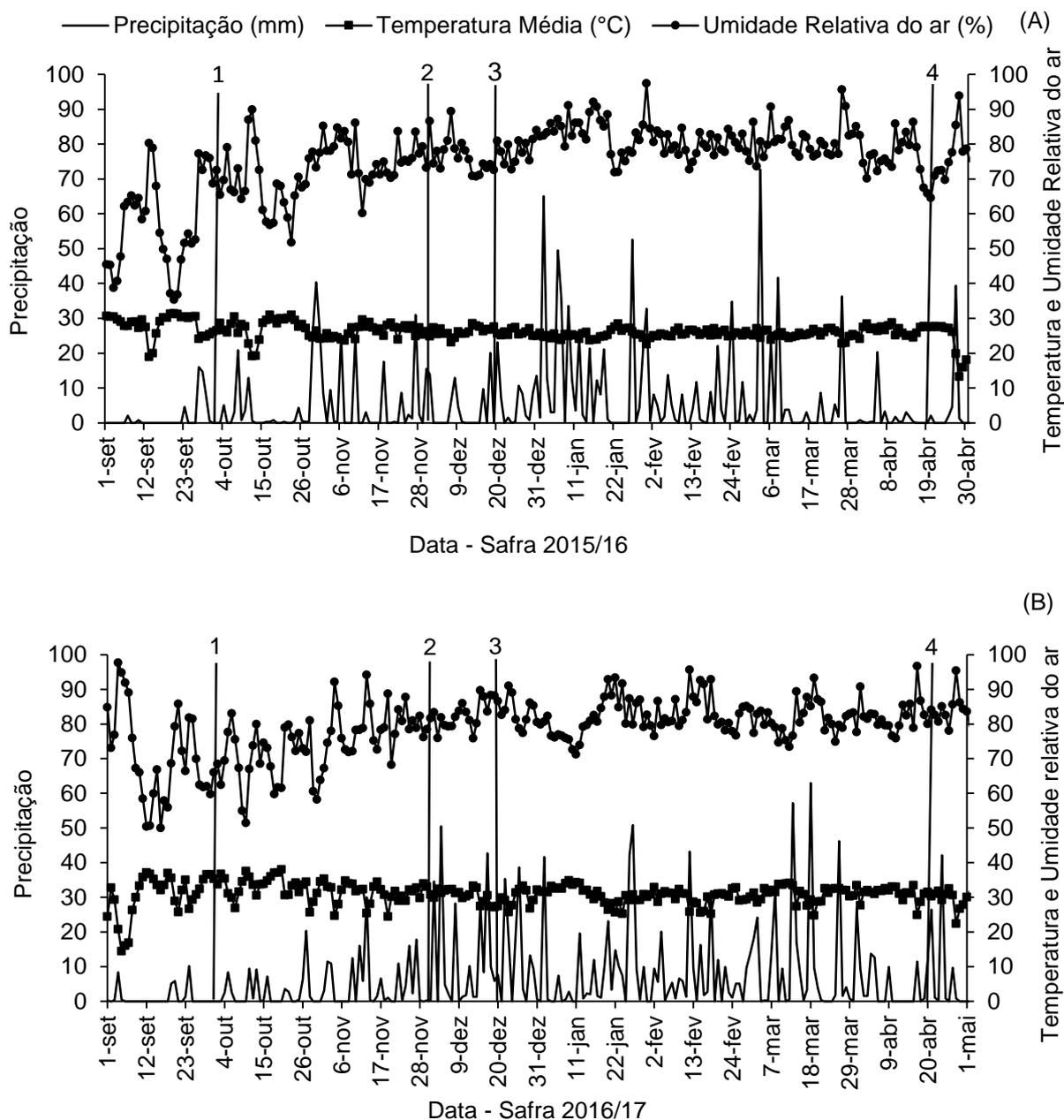


Figura 1. Precipitação acumulada (mm^{-1}), médias de temperatura ($T^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar (%) monitoradas nas safras 2015/2016 (A) e 2016/2017 (B). ¹ Semeadura do milho e da crotalária, ² Dessecação das plantas de cobertura do solo, ³ Semeadura da soja e do milho, ⁴ Colheita da soja e do milho, coleta de solo e avaliação dos indicadores de qualidade química e microbiológica do solo.

Foram realizados os testes de normalidade de Shapiro Wilk e homogeneidade pelo teste Bartlett. Tendo as premissas atendidas, foi feita análise de variância pelo teste F, onde as características químicas e microbiológicas do solo foram submetidas ao teste de Dunnett ($p \leq 0,05$) considerando uma parcela adicional no fragmento de

mata. Os indicadores químicos e microbiológicos do solo, as características vegetativas e produtivas da cultura da soja foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), com auxílio do software ASSISTAT (Silva e Azevedo 2016).

RESULTADOS

Desempenho agrônômico da soja

As características vegetativas e produtivas da cultura da soja na safra 2015/16 não apresentaram diferenças significativas em relação à adubação biológica e coberturas de solo, exceto o número de vagens com três grãos, que foi maior no solo mantido em pousio limpo. Comportamento diferente ocorreu na safra 2016/17, onde a soja teve maior altura de inserção da primeira vagem quando aplicado o adubo biológico, enquanto que, as coberturas de solo influenciaram em maior altura de planta, área foliar e produtividade de grãos (Tabela 2).

Na safra 2016/17, com as coberturas de solo, verificou-se considerável influência no rendimento de grãos da soja, tendo incrementos de 10 e 16% de produtividade quando cultivada sobre restos vegetais de milho e crotalária, respectivamente, em relação ao solo em pousio limpo. Nesta safra observou-se incrementos de 27, 31 e 17% de produtividade da soja cultivada sobre milho, crotalária e solo em pousio limpo, respectivamente, em relação à safra 2015/16 (Tabela 2).

O aumento da produtividade da soja revela a importância das práticas propostas neste estudo, pois em apenas dois anos de manejo com coberturas de solo foi possível obter maiores produtividades em relação ao solo mantido em pousio limpo (Tabela 2). Além disso, o maior volume de precipitação registrado na safra 2016/17, também pode ter contribuído para melhor desenvolvimento produtivo da soja em relação à safra 2015/16 (Figura 1), por ter maior disponibilidade hídrica nas fases fenológicas de maior exigência da cultura.

Tabela 2. Respostas da cultura da soja à adubação biológica (AB) e coberturas de solo (COB) nas safras 2015/16 e 2016/17

Saфра 2015/2016										
AB	AP	APV	NN	VG1	VG2	VG3	VG4	AF	PMG	PROD
	----- cm -----		----- un -----					cm ²	g	kg ha ⁻¹
Com	66,3	16,5	13,8	11,2	22,3	20,0	0,4	1.450,3	140,5	3.020,3
Sem	65,4	15,9	14,1	10,9	24,5	24,0	0,5	1.720,1	137,9	3.039,8
COB										
Milheto	66,1	16,2	13,7	10,9	21,5	18,1b	0,3	1.637,7	141,1	3.028,9
Crotalária	68,2	16,6	14,1	10,6	22,5	20,8ab	0,5	1.613,8	141,0	3.080,2
Pousio limpo	63,3	15,7	14,1	11,6	26,3	27,1a	0,6	1.503,9	135,6	2.981,0
CV (%)	6,0	13,6	5,5	18,7	16,17	25,5	68,1	26,4	4,4	10,0
Saфра 2016/2017										
AB										
Com	67,7	18,8a	14,4	8,5	17,0	14,6	0,2b	1.981,7	176,2	3.890,6
Sem	67,8	16,3b	14,7	9,3	19,2	17,2	0,4a	2.114,8	173,4	3.688,6
COB										
Milheto	68,9a	18,6	14,7	8,2	16,6	15,1	0,2	2.114,9ab	176,2	3.833,3ab
Crotalária	69,9a	17,0	14,9	10,3	18,8	16,3	0,3	2.260,0a	173,5	4.047,0a
Pousio limpo	64,4b	17,0	14,1	8,0	18,9	16,4	0,3	1.769,9b	175,2	3.488,5b
CV (%)	5,0	9,4	4,5	29,5	24,4	21,4	77,5	14,7	5,1	10,5

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Altura de planta (AP), altura de inserção da primeira vagem (APV), número de nós (NN), vagens com 1, 2, 3 e 4 grãos (VG), área foliar (AF), massa de mil grãos (PMG) e produtividade (PROD).

Indicadores de qualidade química

As plantas de cobertura ajudam na proteção do solo, na produção de matéria orgânica e em incrementos de fertilidade, além disso, a deposição de material vegetal no solo ofereceu condições para realização do plantio direto da soja. Foram observados efeitos significativos dos fatores adubo biológico e coberturas do solo nas propriedades químicas do solo, em ambas as safras (Tabelas 3 e 4).

Tendo como base de comparação o fragmento de mata, foi observado maior concentração de potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e pH do solo cultivado com soja nas safras 2015/16 e 2016/17. A área cultivada que recebeu

correção e adubação mineral para suprir as necessidades nutricionais da soja, apresentaram características químicas superiores ao solo do ambiente natural, que apresentou menor fertilidade, porém, maiores níveis de matéria orgânica no solo (Tabelas 3 e 4).

A material orgânico foi importante para a qualidade das propriedades químicas e microbiológicas do solo, entretanto, o solo do fragmento de mata apresentou 27 e 31% a mais de matéria orgânica do que a área cultivada com soja nas safras 2015/16 e 2016/17, respectivamente (Tabelas 3 e 4). Sua presença é indispensável para a manutenção da capacidade produtiva do solo, atribuindo importância para a produção e deposição de palhada do milho e crotalária sobre o solo.

Na safra 2015/16 houve incrementos de K no solo com aplicação do adubo biológico e uso do milho, tendo essa resposta repetida na safra 2016/17 somente para adubação biológica (Tabelas 3 e 4). Isso se deve pela capacidade do milho em ciclar grande quantidade de K na matéria seca, que também está presente na composição do adubo biológico, posteriormente mineralizados no solo por meio do processo de decomposição da matéria orgânica.

Tabela 3. Indicadores de qualidade química do solo em função da adubação biológica (AB), coberturas de solo (COB) e testemunha no fragmento de mata, camada de 0 a 0,20 m de profundidade, safra 2015/2016

		Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$)										
AB	COB	MO	pH	P	K	K	Ca	Mg	H+Al	T	K	
		g kg ⁻¹	CaCl ₂	---- mg dm ⁻¹ ----	-----	-----	cmol _c dm ⁻³ -----					%
	Milheto	22,8b	6,5a	5,3a	195,5a	0,5a	4,2a	2,3a	1,6b	8,6a	7,1a	
Com	Crotalaria	25,5a	6,6a	3,6a	147,6a	0,4a	4,2a	2,1a	1,4b	8,1b	5,4a	
	Pousio limpo	26,8a	6,4a	3,4b	97,7b	0,2b	4,3a	2,1a	1,6b	8,3b	3,6b	
	Milheto	21,5b	6,6a	4,5a	157,4a	0,4a	3,7a	2,1a	1,4b	7,7b	5,7a	
Sem	Crotalaria	23,8b	6,6a	3,9a	124,1a	0,3a	4,3a	2,3a	1,4b	8,3b	4,5a	
	Pousio limpo	24,2b	6,7a	4,1a	85,0b	0,2b	2,8a	2,3a	1,4b	7,8b	3,1b	
Fragmento de mata		30,6a	5,0b	0,7b	55,7b	0,1b	2,3b	1,1b	3,3a	6,9b	2,0b	
AB		Teste de Tukey ($p \leq 0,05$)										
Com		25,1	6,5b	4,1	146,9a	0,4a	4,2	2,2	1,5	8,3	5,4a	
Sem		23,2	6,6a	4,2	122,2b	0,3b	4,0	2,2	1,4	7,9	4,5b	
COB												
	Milheto	22,1	6,5	4,9	176,4a	0,5a	4,0	2,2	1,5	8,1	6,4a	
	Crotalaria	24,6	6,6	3,7	135,9b	0,3b	4,2	2,2	1,4	8,2	5,0b	
	Pousio limpo	25,5	6,6	3,8	91,4c	0,2c	4,1	2,2	1,5	8,0	3,3c	
CV (%)		10,6	2,3	39,5	20,3	20,3	16,1	19,8	11,1	10,1	20,3	

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$) e pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H+Al), Capacidade de troca de cátions (T) e Saturação de potássio (%K).

Na safra 2016/17 (Tabela 4), o solo do fragmento de mata apresentou maior capacidade de troca de cátions, porém, com maior concentração de cátions que conferem acidez ao solo. Com adubação biológica ocorreu os menores níveis de P no solo, comportamento não observado na safra anterior. Na crotalaria seguida de milho, a concentração de P foi superior ao do solo mantido em pousio limpo, o que pode estar relacionado com a ciclagem de nutrientes promovida por essas plantas de cobertura.

Tabela 4. Indicadores de qualidade química do solo em função da adubação biológica (AB), coberturas de solo (COB) e testemunha no fragmento de mata, camada de 0 a 0,20 m de profundidade, safra 2016/2017

AB	COB	Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$)									
		MO g kg ⁻¹	pH CaCl ₂	P ----- mg dm ⁻¹ -----	K	K	Ca	Mg cmol _c dm ⁻³ -----	H+Al	T	K %
	Milheto	30,7b	5,8a	2,7b	202,0a	0,5a	4,2a	1,4b	1,7b	7,9b	7,4a
Com	Crotalária	29,3b	5,9a	4,2a	194,2a	0,5a	4,4a	1,4b	1,1b	7,4b	7,1a
	Pousio limpo	30,7b	6,1a	2,8b	152,5a	0,4a	4,5a	1,3b	1,3b	7,5b	5,6a
	Milheto	30,3b	5,9a	7,3a	157,7a	0,4a	4,7a	1,3b	1,6b	8,0b	5,8a
Sem	Crotalária	29,0b	5,9a	9,2a	155,1a	0,4a	4,4a	1,2b	1,7b	7,7b	5,7a
	Pousio limpo	30,0b	6,1a	3,5b	122,5a	0,3a	4,4a	1,5a	1,6b	7,8b	4,5a
	Fragmento de mata	39,3a	5,0b	0,7b	45,6b	0,1b	3,7b	1,2b	4,3a	9,3a	1,7b
AB	Teste de Tukey ($p \leq 0,05$)										
Com		30,2	5,9	3,2b	182,9a	0,5a	4,4	1,4	1,4	7,6	6,7a
Sem		29,8	6,0	6,6a	145,1b	0,4b	4,5	1,3	1,6	7,8	5,3b
COB											
	Milheto	30,5	5,8b	5,0ab	179,7	0,5	4,4	1,4	1,6	7,9	6,6
	Crotalária	29,2	5,9b	6,7a	174,6	0,4	4,4	1,3	1,4	7,6	6,4
	Pousio limpo	30,3	6,1a	3,2b	137,5	0,3	4,5	1,4	1,4	7,6	5,0
	CV (%)	4,7	1,2	39,16	22,9	22,9	4,4	10,2	23,2	6,6	22,9

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$) e pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H+Al), Capacidade de troca de cátions (T) e Saturação de potássio (%K) a pH 7.

O aumento da fertilidade – principalmente de K e P, os níveis de matéria orgânica do solo em função das coberturas de milho e crotalária e o maior volume de precipitação (Figura 1) são características que contribuíram com os incrementos de produtividade da cultura da soja na safra 2016/17 (Tabela 2).

Indicadores de qualidade microbiológica

Na área cultivada com soja em ambas as safras 2015/16 e 2016/17 houve menor qualidade dos indicadores microbiológicos comparada ao solo do fragmento de

mata, onde observou-se maior carbono orgânico total, carbono da biomassa microbiana, quociente microbiano e respiração basal do solo (Tabela 5).

Na safra 2015/16 não foi observado efeitos do adubo biológico sobre as propriedades microbiológicas do solo. Já no segundo ano de implantação do manejo proposto neste estudo, safra 2016/17, observou-se maior eficiência da fixação do carbono e menores perdas de CO₂ do solo pela biomassa microbiana, representado pelo quociente metabólico do solo (Tabela 5). As condições climáticas desta última safra podem ter favorecido o desenvolvimento da biomassa microbiana em relação à safra 2015/16, pois houve frequentes precipitações pluviométricas anteriormente a coleta do solo para análise (Figura 4).

Tabela 5. Qualidade microbiológica do solo cultivado com soja submetido a adubação biológica (AB), coberturas do solo (COB) e uma testemunha no fragmento de mata, safras 2015/2016 e 2016/2017

		Teste de Dunnett (p≤0,05)									
AB	COB	Safr 2015/2016					Safr 2016/2017				
		COT ¹	C-BMS ²	qMIC ³	C-CO ₂ ⁴	qCO ₂ ⁵	COT ¹	C-BMS ²	qMIC ³	C-CO ₂ ⁴	qCO ₂ ⁵
	Milheto	13,2b	102,6b	0,7b	0,2b	1,4	17,8b	135,2b	0,6b	0,4	2,7b
Com	Crotalaria	14,8a	104,7b	0,7b	0,3b	2,9	17,0b	129,2b	0,6b	0,4	3,2a
	Pousio limpo	15,6a	95,6b	0,6b	0,2b	2,7	17,8b	157,4b	0,9b	0,6	4,0a
	Milheto	12,5b	87,3b	0,7b	0,2b	2,6	17,6b	151,8b	0,9b	0,6	4,1a
Sem	Crotalaria	13,8b	91,2b	0,7b	0,3b	2,6	16,8b	131,4b	0,8b	0,4	3,2a
	Pousio limpo	14,0b	85,3b	0,7b	0,3b	3,3	17,4b	118,2b	0,7b	0,6	5,7a
	Fragmento de mata	17,7a	439,3a	2,6a	0,8a	1,9	21,4a	324,7a	1,5a	0,5	1,5b
AB		Teste de Tukey (p≤0,05)									
Com		14,5	101,0	0,7	0,2	2,4	17,5	140,6	0,8	0,5	3,3b
Sem		13,4	88,0	0,7	0,2	2,8	17,3	133,8	0,8	0,6	4,3a
COB											
	Milheto	12,8	95,0	0,7	0,2	2,0b	17,7	143,5	0,8	0,5ab	3,4b
	Crotalaria	14,3	98,0	0,7	0,3	2,8ab	16,9	130,3	0,8	0,4b	3,2b
	Pousio limpo	14,8	90,4	0,6	0,3	3,0a	17,6	137,8	0,8	0,6a	4,9a
	CV (%)	10,6	13,0	15,4	18,3	24,3	7,75	24,8	27,2	25,4	18,6

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Dunnett (p≤0,05) e pelo Teste de Tukey (p≤0,05). ¹(Carbono orgânico total: g dm⁻¹); ²(Carbono da biomassa microbiana do solo: mg C_{micro} kg⁻¹ solo); ³(Quociente microbiano: %); ⁴(Respiração basal do solo: mg C-CO₂ kg⁻¹ solo h⁻¹); ⁵(Quociente metabólico: mg CO₂ g⁻¹ C-BMS h⁻¹).

Os valores médios do carbono orgânico total, carbono da biomassa microbiana, quociente microbiano, respiração basal e quociente metabólico do solo cultivado com soja aumentaram respectivamente em cerca de 25, 45, 18, 117 e 47% na safra 2016/17 em relação à safra anterior, indicando que houve incrementos de carbono no solo no segundo ano de estudo, porém, o quociente metabólico ainda indica que a biomassa microbiana está submetida a uma condição de estresse (Tabela 5).

Vale ressaltar-se que o manejo com adubo biológico e plantas de cobertura do solo reduziu os impactos decorrentes das práticas agrícolas no solo. Os indicadores microbiológicos foram sensíveis ferramentas para monitorar tais modificações, onde os resultados observados na área cultivada com soja com aplicação do adubo biológico e sobre restos vegetais de milho e crotalária, teve menor quociente metabólico do solo em ambas as safras, se comparado a ausência de adubo biológico e plantas de cobertura do solo (Tabela 5).

DISCUSSÃO

Desempenho agrônômico da soja

Neste estudo ocorreu incrementos de produtividade da cultura da soja quando cultivada sobre restos vegetais de milho e crotalária na safra 2016/17. Resultado semelhante foi observado por Debiasi et al. (2010), que utilizou coberturas de solo em condições com pouca disponibilidade hídrica, tiveram maior produtividade de grãos de soja, pois, a matéria seca de *Avena strigosa*, *Vicia sativa* e *Raphanus sativus* depositada no solo contribuiu para manutenção da umidade.

Por outro lado, Pacheco et al. (2011, 2013) utilizando *Brachiaria ruziziensis*, *Pennisetum glaucum*, *Cajanus cajan* e *Cenchrus echinatus* com precipitação pluviométrica uniforme ao longo do ciclo da cultura, não observaram efeitos das coberturas de solo na produtividade de grãos da soja.

Indicadores de qualidade química

O aumento da concentração de K no solo com uso de milho também foi observada por Pacheco et al. (2011), que entre todas as coberturas testadas, o milho foi a que apresentou maior concentração de K remanescente na matéria seca em

relação as outras plantas de cobertura, sendo e 58 kg ha⁻¹ de K, além de contribuir com 70 e 12 kg ha⁻¹ de N e P, respectivamente.

Devido à baixa fertilidade natural do solo na região do Cerrado, como no fragmento de mata analisado neste estudo, Lopes et al. (2013) relataram a necessidade de adotar manejos que aumentam a concentração de nutrientes no solo das áreas submetidas a cultivos agrícolas. Deste modo, suprir as necessidades da cultura e repor os nutrientes do solo (Sousa e Lobato 2004).

Em relação a matéria orgânica, no presente estudo foi menor no solo cultivado com soja, Cherubin et al. (2015) também evidenciaram perdas do material orgânico nas áreas agrícolas em relação ao ambiente natural, sendo este, um importante indicador de alterações no solo em áreas antropizadas. Para Vezzani e Mielniczuk (2011), a perda de material orgânico pode ser intensificada no sistema de cultivo convencional em relação a semeadura direta, que é considerada uma prática conservacionista do solo que permite o acúmulo de matéria seca na camada superficial.

Além disso, a eficiência do adubo biológico depende da presença de matéria orgânica no solo, pois a introdução de microrganismos decompositores, principalmente bactérias e fungos, a utilizam como substrato para seu crescimento. Estes agentes biológicos beneficiam o solo decompondo a matéria orgânica, promovendo a ciclagem de nutrientes e melhorando a eficiência na utilização da adubação mineral, usada para suprir as necessidades nutricionais das culturas (Medeiros e Lopes 2006).

Indicadores de qualidade microbiológica

O carbono da biomassa microbiana do solo foi menor na área cultivada em relação ao fragmento de mata, tal comportamento também foi observado por Matsuoka et al. (2003), que perceberam redução deste indicador na área utilizada para fins agrícolas, em relação a vegetação nativa, no município de Primavera do Leste – MT. Conforme Lisboa et al. (2012), Lopes et al. (2013), isso ocorre porque o carbono da biomassa microbiana do solo correlaciona-se positivamente com o carbono orgânico total, isso justifica o solo do fragmento de mata do presente estudo ter apresentado maior biomassa microbiana.

Por isso, o acúmulo de matéria orgânica nas áreas cultivadas decorrentes de técnicas de manejo como, a adição de resíduos líquidos de suínos no sistema de cultivo, podem contribuir para incrementar o níveis do carbono da biomassa microbiana do solo (Cherubin et al., 2015).

Para obter valores de referência da qualidade microbiológica de áreas agrícolas, Mendes et al. (2015) elaboraram diferentes níveis de interpretação dos bioindicadores de qualidade do solo das culturas da soja e do milho. Tendo em vista o valor mínimo de 205 mg de C kg⁻¹ de solo com base no teor de matéria orgânica proposto pelos autores citados acima, o carbono da biomassa microbiana do solo do presente estudo encontrou-se em nível baixo nas safras 2015/16 e 2016/17.

O quociente microbiano é formado pela relação entre o carbono da biomassa microbiana do solo e o carbono orgânico total, e indica a porcentagem de carbono do solo imobilizado pelos micro-organismos, sendo que os maiores e os menores valores indicam ganho e perda de carbono no solo, respectivamente. Considerando que Jenkinson e Ladd (1981) propuseram que 2,20% é considerado nível de equilíbrio para este indicador, os valores observados na área cultivada com soja no presente estudo são menores, indicando baixa fixação de carbono na biomassa do solo.

A respiração basal do solo, o carbono da biomassa microbiana do solo e o quociente microbiano tiveram os menores valores no ambiente cultivado com soja em relação ao fragmento de mata. Relação semelhante entre os bioindicadores foi observada por Cunha et al. (2012). Por outro lado, Lisboa et al. (2012) constataram que os solos submetidos ao preparo convencional apresentaram maior respiração basal em relação ao plantio direto. Cherubin et al. (2015) observaram maior respiração do solo submetido a escarificação mecânica.

De acordo com Cunha et al. (2012), a liberação de CO₂ pela respiração está relacionada com o aumento da atividade metabólica da biomassa microbiana, que geralmente é causada por condições de estresse e presença de carbono prontamente assimilável no solo, ou em formas pouco complexas. O rápido consumo de carbono permite maior liberação de nutrientes as plantas em curto prazo, porém, a longo prazo, indica baixa eficiência de fixação na biomassa, gerando perdas de carbono na forma de CO₂ pela respiração microbiana.

Conforme Mendes et al. (2015), a respiração basal do solo geralmente apresenta-se menor em áreas naturais ou em equilíbrio. Conforme os níveis de

classificação dos bioindicadores propostos pelos autores acima, todos os valores de respiração basal observados no presente estudo estão em nível baixo.

No presente estudo foi observado menor quociente metabólico com adubo biológico, milheto e crotalária. Conforme Cunha et al. (2012), o maior quociente metabólico, como observado no solo sem adubo biológico e no pousio limpo, indicam áreas mais desequilibradas, que devido ao acelerado processo metabólico dos microrganismos do solo, ocorre rápido processo de decomposição da matéria orgânica, aumentando as perdas de carbono na forma de CO₂ pela respiração e reduzindo a incorporação de carbono na biomassa microbiana do solo.

A qualidade dos resíduos vegetais também influenciam na fixação do carbono, pois Carneiro et al. (2008) observaram que o quociente metabólico foi maior em solo com palhada de *P. glaucum*, *C. spectabilis* e em área de pousio. Isso indica que a palhada dessas plantas pode ter causado algum tipo de estresse aos microrganismos, que passam a consumir mais energia, reduzindo a fixação de carbono no solo e elevando as perdas para a atmosfera.

Os microrganismos são importantes para o funcionamento do solo e suas interações com o sistema radicular das culturas, podendo influenciar também nos atributos químicos do solo (Mendes et al., 2015). De acordo com Cherubin et al. (2015), trabalhos envolvendo microrganismos de solo necessitam de maior tempo de avaliação para obtenção de resultados confiáveis.

É importante utilizar indicadores para monitorar a qualidade dos solos agrícolas, e com base nos resultados observados no presente estudo, recomenda-se fazer uso da adubação biológica e utilizar plantas de cobertura, pois este manejo melhorou a qualidade química e microbiológica do solo cultivado com soja, além dos efeitos significativos no desenvolvimento vegetativo e na produtividade da cultura da soja.

CONCLUSÕES

A produtividade da cultura da soja foi maior quando cultivada sobre os restos vegetais de crotalária na safra 2016/17. Devido ao curto espaço de tempo de avaliação, não foi possível observar efeitos da adubação biológica no desempenho agrônômico da cultura da soja.

A fertilidade do solo aumentou com a aplicação do adubo biológico, uso de milho e crotalária nas duas safras estudadas.

A qualidade microbiológica do solo melhorou com o uso de adubação biológica, e de milho e crotalária como cobertura, nas duas safras, 2015/16 e 2016/17.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adami M, Hastenreiter FA, Flumignan DL, Faria RT. 2008. Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares. *Bragantia*. 67:1053-1058.

Anderson TH, Domsch KH. 1993. The metabolic quotient for CO₂ (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 25:393-395.

Carneiro MAC, Cordeiro MAS, Assis PCR, Moraes ES, Pereira HS, Paulino HB, Souza ED. 2008. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de Cerrado. *Bragantia*. 67:455-462.

CONAB. 2017. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Décimo levantamento, Safra 2016/2017. 10ª ed., Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB.

Cherubin MR, Eitelwein MT, Fabbris C, Weirich SW, Silva RF, Silva VR, Basso CJ. 2015. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 39:615-625.

Cunha EQ, Stone LF, Ferreira EPB, Didonet AD, Moreira JAA. 2012. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. *Rev. bras. eng. agríc. ambiente*. 16:56–63.

Debiasi H, Levien R, Trein CR, Conte O, Kamimura KM. 2010. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. *Pesq. agropec. bras.* 45:603-612.

Ebeling AG, Anjos LHC, Perez DV, Pereira MG, Gomes FWF. 2011. Atributos químicos, carbono orgânico e substâncias húmicas em Organossolos Háplicos de várias regiões do Brasil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 35:325-336.

Embrapa. 2011. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.

Embrapa. 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ª ed. Brasília: Embrapa informação tecnológica.

Jenkinson DS, Ladd JN. 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: Paul EA, Ladd JN, editor(s). Soil Biochemistry. New York: Marcel Dekker; 415-471.

Jenkinson DS, Powlson DS. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil - V: A method for measuring soil biomass. Soil Biology & Biochemistry. 8:209-213.

Lisboa BB, Vargas LK, Silveira AO, Martins AF, Selbach PA. 2012. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 36:45-55.

Lopes AAC, Sousa DMG, Chaer GM, Junior FBR, Goedert WJ, Mendes IC. 2013. Interpretation of Microbial Soil Indicators as a Function of Crop Yield and Organic Carbon. Soil Sci. Soc. Am. J. 77:461-472.

Matsuoka M, Mendes IC, Loureiro MF. 2003. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 27:425-433.

Medeiros MB, Lopes JS. 2006. Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. Bahia Agríc. 7:24-26.

Mendes IC, Souza DMG, Junior FBR. 2015. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. Cadernos de Ciência & Tecnologia. 32:191-209.

Pacheco LP, Barbosa JM, Leandro WM, Machado PLOA, Assis RL, Madari BE, Petter FA. 2013. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. Pesq. agropec. bras. 48:1228-1236.

Pacheco LP, Barbosa JM, Leandro WM, Machado PLOA, Assis RL, Madari BE, Petter FA. 2011. Produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura nas culturas de arroz de terras altas e de soja. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 35:1787-1799.

Silva FAS, Azevedo CAV. 2016. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. Afr. J. Agric. Res. 11: 3733-3740.

Sousa DMG, Lobato E. 2004. Cerrado: correção do solo e adubação. 2ª ed. Brasília: Embrapa Cerrados.

Souza FR, Junior EJR, Fietz CR, Bergamin AC, Venturoso LR, Rosa YBCJ. 2010. Atributos físicos e desempenho agrônômico da cultura da soja em um Latossolo Vermelho Distroférico submetido a dois sistemas de manejos. *Ciênc. agrotec.* 34:1357-1364.

Trannin ICB, Siqueira JO, Moreira FMS. 2007. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de bio sólido industrial e cultivo de milho. *Rev. Bras. Ciênc. Solo.* 31:1173-1184.

Vance ED, Brookes PC, Jenkinson DS. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. *Soil Biology & Biochemistry.* 19:703-707.

Vezzani FM, Mielniczuk J. 2011. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. *Rev. Bras. Ciênc. Solo.* 35:213-223.

ARTIGO II**ADUBAÇÃO BIOLÓGICA E PLANTAS DE COBERTURA: QUALIDADE DO SOLO
E PRODUTIVIDADE DO MILHO****BIOLOGICAL FERTILIZATION AND COVERAGE PLANTS: SOIL QUALITY AND
CORN YIELD**

[European Journal of Soil Science]

João Paulo Ascari^{1*}, Dejânia Vieira de Araújo¹, Leopoldo Sussumu Matsumoto²

¹ Programa de Pós-Graduação Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola – PPGASP, Centro de Estudos, Pesquisas e Desenvolvimento Agro-Ambiental – CEPDA, Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Campus de Tangará da Serra, Mato Grosso, Brasil. ² Doutor em Agronomia, docente na Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, Bandeirantes – PR.

*Autor correspondente: João Paulo Ascari. E-mail: joaoascari@hotmail.com

RESUMO

A cultura do milho é importante para a economia do estado de Mato Grosso, e para atender as demandas deste cereal, torna-se necessário adotar práticas conservacionistas de manejo do solo que reflitam em aumento da produtividade. Objetivou-se analisar os efeitos da adubação biológica e condições de cobertura do solo na qualidade química e microbiológica do solo e na produtividade do milho. O experimento foi desenvolvido nas safras 2015/16 e 2016/17 na área experimental da Universidade do Estado de Mato Grosso, Campus de Tangará da Serra, em um Latossolo Vermelho distroférrico. Para avaliar as propriedades químicas e microbiológicas do solo, o delineamento experimental foi em blocos casualizados, com adubo biológico (com e sem) e condições de cobertura do solo (*Pennisetum glaucum*, *Crotalaria ochroleuca* e pousio limpo) com uma testemunha (fragmento de mata). Para avaliar as características agrônômicas do milho, considerou-se somente adubação biológica e coberturas de solo. O *P. glaucum* e a *C. ochroleuca* foram semeadas no mês de outubro de 2015 e 2016, e dessecadas aos 45 e 65 dias após a semeadura, respectivamente. O milho foi semeado em 23 de dezembro de 2015 e 2016, sendo em seguida, aplicado 150 L ha⁻¹ do adubo biológico. As avaliações do milho foram feitas nos estádios fenológicos de R₁ e R₆, as avaliações dos indicadores do solo realizadas após a maturidade fisiológica do milho. Não ocorreu interação significativa entre os fatores, entretanto, percebeu-se maior qualidade química do solo cultivado com milho em relação ao fragmento de mata, porém, este apresentou maior qualidade microbiológica. O adubo biológico e as plantas de cobertura aumentaram a fertilidade e a qualidade microbiológica do solo cultivado, porém, somente as coberturas do solo promoveram incrementos na produtividade do milho nas safras 2015/16 e 2016/17. Com isso, observou-se que a adubação biológica, o *P. glaucum* e a *C. ochroleuca* melhoraram a qualidade química e microbiológica solo. Ocorreu incrementos de produtividade do milho com as plantas de cobertura do solo.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays*, Fertilidade do solo, Qualidade microbiológica, Produtividade

SUMMARY

The corn crop is important for the economy of the State of Mato Grosso, and to meet the demands of this cereal, it is necessary to adopt conservationist practices of soil management that reflect in increasing yield. The objective of this study was to analyze the effects of organic fertilization and soil cover conditions on soil chemical and microbiological quality and corn yield. The experiment was developed in the 2015/16 and 2016/17 harvests in the experimental field of the State University of Mato Grosso, *Campus* of Tangara da Serra, in a dystroferric red-latosol. In order to evaluate the chemical and microbiological properties of the soil, the experimental design was a randomized complete block design, with biological fertilizer (with and without) and soil cover conditions (*Pennisetum glaucum*, *Crotalaria ochroleuca* and clean fallow) with a control (fragment of forest). To evaluate the agronomic characteristics of corn, only biological fertilization and soil cover were considered. *P. glaucum* and *C. ochroleuca* were sown in October 2015 and 2016, to dry at 45 and 65 days after sowing, respectively. The corn was sown on December 23, 2015 and 2016, after which 150 L ha⁻¹ of the organic fertilizer was applied. Corn evaluations were performed at the phenological stages of R₁ and R₆, the soil indicator evaluations performed after the physiological maturity of corn. There was no significant interaction between the factors, however, it was noticed higher chemical quality of the soil cultivated with corn in relation to the forest fragment, but this one showed higher microbiological quality. Biological fertilizer and cover crops increased the fertility and microbiological quality of cultivated soil. However, soil cover alone promoted increases in corn yield in the 2015/16 and 2016/17 crops. With this, it was observed that the biological fertilization, the *P. glaucum* and the *C. ochroleuca* improved the chemical and microbiological quality alone. Increases in corn yield occurred with soil cover plants.

KEY WORDS: *Zea mays*, Soil fertility, Microbiological quality, Yield.

DESTAQUES

- Necessidade para adotar práticas conservacionistas de manejo do solo que refletem em incrementos de produtividade do milho.
- Uso da adubação biológica combinado a plantas de coberturas do solo.
- A adubação biológica e as plantas de cobertura melhoraram a qualidade química e microbiológica solo, incrementando a produtividade do milho

- O manejo do solo, com práticas conservacionistas, permite aumentar a produtividade da cultura e melhorar a qualidade do solo.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, que é o cereal de maior importância agrícola no estado de Mato Grosso, geralmente cultivado em safrinha, com produção de 23.416,2 mil toneladas de grãos, o que representa cerca de 40% da produção Nacional, com produtividade média de 5.679 kg ha⁻¹ (CONAB, 2017).

Em sistemas agrícolas de produção intensiva o solo sofre muitas alterações em suas propriedades, na maior parte são negativas, que prejudicam diretamente o desenvolvimento e o rendimento produtivo das culturas. Fato este foi relatado por Carneiro *et al.* (2009), que verificaram alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas de um Latossolo Vermelho e um Neossolo, em função de diferentes formas de manejo do solo.

A agricultura vem passando por mudanças nas práticas de manejo do solo, em razão da necessidade de técnicas que visam aumentar a eficiência no uso de fertilizantes, capazes de promover incrementos de produtividade do milho, e ao mesmo tempo, influenciar na conservação da qualidade química e microbiológica do solo pela sustentabilidade do agroecossistema (Andreotti *et al.*, 2008; Jakelaitis *et al.*, 2008).

O plantio direto é considerado uma prática conservacionista capaz de tornar a agricultura viável no aspecto agrícola, econômico e ambiental. Devido as condições de clima tropical na região do Cerrado, recomenda-se introduzir plantas de cobertura com maior tempo de meia vida da palhada, mantendo o solo por mais tempo sob proteção da matéria seca, e neste caso, a adubação verde é uma boa opção (Andreotti *et al.*, 2008).

Nessas condições, necessita-se utilizar plantas de cobertura com alta produção de palhada, como o milheto (*Pennisetum* sp.), que tem elevado potencial de produzir matéria seca e ciclar nutrientes, tendo papel importante na disponibilização de potássio, fósforo, nitrogênio, cálcio e enxofre (Boer *et al.*, 2007). A crotalária (*Crotalaria* sp.) também apresenta alto potencial para produção de palhada, além de promover fixação biológica do nitrogênio atmosférico no solo (Torres *et al.*, 2008).

A adição de resíduos orgânicos na forma de palhada contribui para formação de matéria orgânica, que é responsável por manter a capacidade produtiva do solo, promovendo aumento da fixação do carbono orgânico, da capacidade de troca de

cátions, da atividade microbiana, da ciclagem e da fixação de nutrientes. A quantidade e qualidade dos resíduos orgânicos apresentam forte influência no estabelecimento de microrganismos no solo, sendo estes, responsáveis pela decomposição da matéria orgânica, fixação de carbono orgânico no solo e reserva de nutrientes posteriormente disponibilizados para as culturas sucessoras (Jakelaitis *et al.*, 2008; Capuani *et al.*, 2012).

Tendo em vista a importância da biomassa microbiana do solo, a adubação biológica é uma prática que contribui com a diversidade microbiana, e por ser um composto orgânico enriquecido com minerais, favorece a multiplicação e estabelecimento de populações microbianas no solo. Com o uso do adubo biológico, pode-se reduzir e/ou tornar mais eficiente a utilização de fertilizantes minerais, contribuindo com a conservação do agroecossistema e reduzindo os custos de produção (Medeiros & Lopes, 2006).

Os efeitos dessas práticas podem ser monitorados fazendo uso de alguns indicadores, como os microbiológicos. Estes, são considerados bastante sensíveis às alterações no ambiente, porém, devido à complexidade das relações que ocorrem no solo, o ideal é analisar as respostas conjuntas dos indicadores, como os microbiológicos e os químicos (Carneiro *et al.*, 2009).

As plantas de cobertura do solo e a adubação biológica são técnicas de manejo importantes para produção da cultura do milho, como verificadas nos estudos de Bezerra *et al.* (2008), onde observaram melhor desenvolvimento agrônomico das plantas de milho e maior número de espigas por metro quadrado com adubo biológico.

A aplicação do adubo biológico e o uso de coberturas de solo podem melhorar a qualidade química e microbiológica do solo, como também, influenciar em incrementos de produtividade da cultura do milho. Diante disso, objetivou-se analisar os efeitos da adubação biológica e condições de cobertura do solo na qualidade química e microbiológica do solo e na produtividade do milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em dois anos – safras 2015/16 e 2016/17 – na área experimental da Universidade do Estado de Mato Grosso, Campus de Tangará da Serra, com clima Tropical Úmido Megatérmico (Aw) conforme classificação climática

de Köppen. Foi considerado como referência um fragmento de mata nativa localizado a 1.000 metros da área experimental. O Solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (Embrapa, 2013).

Para avaliar os indicadores químicos e microbiológicos do solo, o delineamento foi em blocos casualizados com esquema fatorial duplo e testemunha adicional (2 x 3 + 1), sendo duas condições de adubo biológico (com e sem), três condições de cobertura de solo (milheto – *Pennisetum glaucum* (L.) R. BR.; crotalária – *Crotalaria ochroleuca* G. Don. e pousio limpo) e uma testemunha (fragmento de mata), com quatro repetições. Para avaliar as características agrônômicas do milho, considerou somente os fatores adubo biológico e coberturas de solo.

Antes da implantação do experimento a área experimental foi cultivada com *Gossypium hirsutum* por cinco safras consecutivas no sistema de plantio convencional (duas operações de gradagem). No mês de julho de 2015 foi retirado solo na camada de 0 a 0,20 m de profundidade com auxílio do trado Holandês para análise química, e com base nos resultados (Tabela 1) e nas recomendações de Sousa & Lobato (2004), foi realizada a correção solo com 1.300 kg ha⁻¹ de calcário, sendo incorporado posteriormente com grade niveladora.

Tabela 1: Análise química do solo realizada no mês de julho de 2015 na camada de 0 a 0,20 m de profundidade, e qualidade química do adubo biológico

Qualidade química do solo											
pH	P	K	Ca	Mg	Al	H	Al + H	T	V	MO	
H ₂ O	mg dm ⁻³	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	%	g dm ⁻³	
6,03	1,03	0,20	2,17	1,37	0,00	4,33	4,33	8,07	46,34	32,67	
Ca	Mg	K	Zn	Cu	Fe	Mn	B	S	Argila	Areia	Silte
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
%	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	g kg ⁻¹	
26,93	17,10	2,47	1,33	3,53	43,67	30,60	0,28	13,13	544	86	370
Qualidade mineral do adubo biológico											
pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	B	MO
H ₂ O	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	%
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	g L ⁻¹	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	mg L ⁻¹	-----	-----
6,2	0,71	0,3	0,02	0,06	0,01	0,04	4,7	2,8	175	14,4	5,2

Potencial hidrogeniônico (pH), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), hidrogênio (H), capacidade de troca de cátions (T), saturação e bases (V), matéria orgânica (MO), saturação de cálcio (%Ca), saturação de magnésio (%Mg), saturação de potássio (%K), zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), boro (B), enxofre (S) e nitrogênio (N).

A dimensão das parcelas foi de cinco metros de comprimento por cinco de largura, onde foi realizada a semeadura a lanço das plantas de cobertura e incorporadas com grade niveladora fechada no dia 03 de outubro dos anos de 2015 e 2016, logo após o início das chuvas (Figura 1). Foi utilizado 25 kg ha⁻¹ de milho – cultivar ADR-500 e 15 kg ha⁻¹ de crotalária – cultivar Comum, tendo a dessecação feita aos 50 e 65 dias após a semeadura (DAS), respectivamente. As parcelas em pousio limpo foram mantidas livres de plantas daninhas durante os dois anos de estudo.

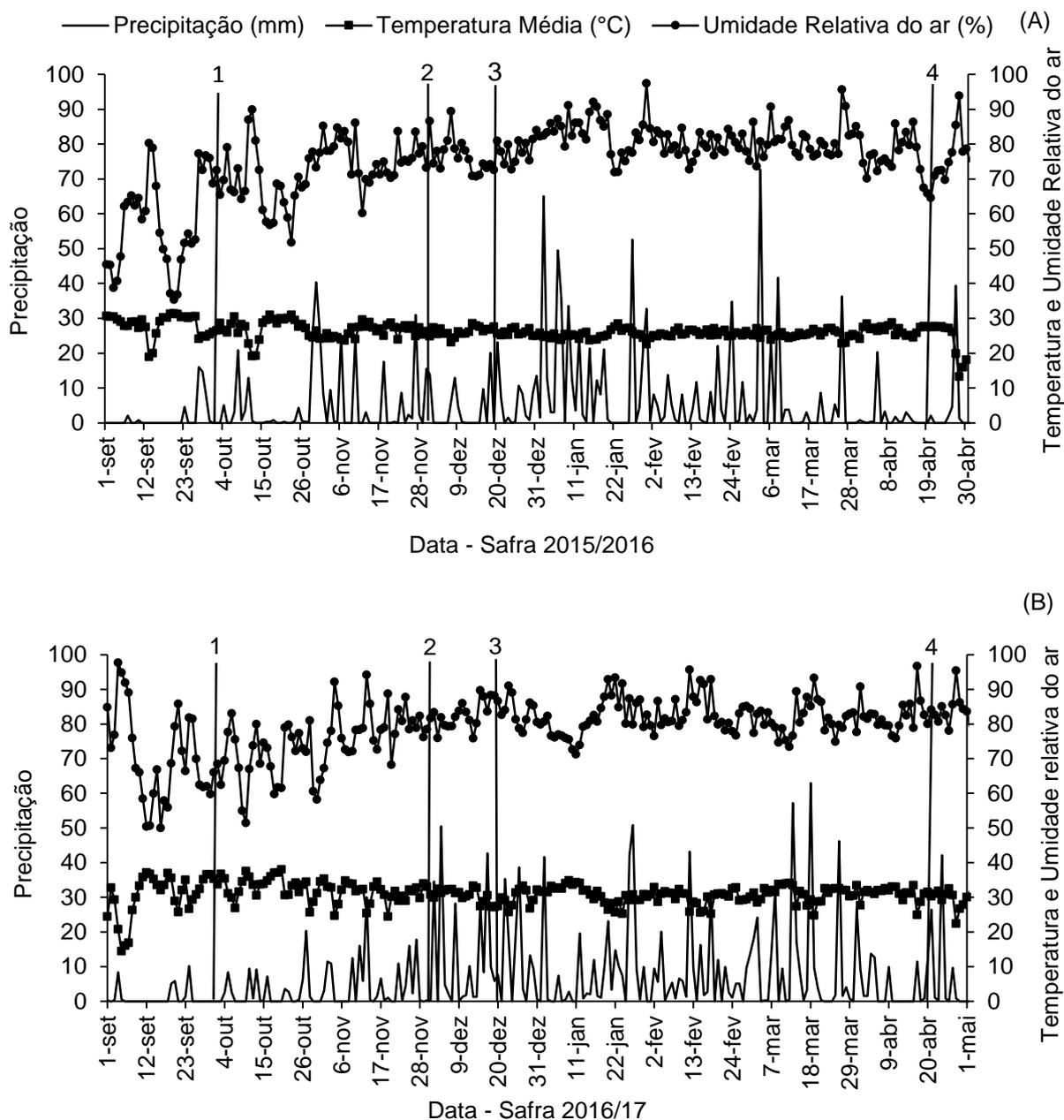


Figura 1. Precipitação acumulada (mm^{-1}), médias de temperatura ($T^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar (%) monitoradas nas safras 2015/2016 (A) e 2016/2017 (B). ¹ Semeadura do milho e da crotalária, ² Dessecação das plantas de cobertura do solo, ³ Semeadura da soja e do milho, ⁴ Colheita da soja e do milho, coleta de solo e avaliação dos indicadores de qualidade química e microbiológica do solo.

A semeadura direta da cultura do milho foi realizada no dia 20 de dezembro de 2015 e 2016, utilizando a cultivar AS1555, com espaçamento entre linhas de 0,5 m e densidade de 55 mil plantas ha^{-1} . A adubação de semeadura foi aplicada no sulco, correspondendo a 550 kg ha^{-1} de MAP (51% P_2O_5 + 9% N), 30 kg ha^{-1} de N (suprido

pelo MAP) e 85 kg ha⁻¹ de KCl (60% de K₂O). A adubação de cobertura foi aos 20 dias após a semeadura (DAS) com 155 kg ha⁻¹ de ureia (45% N) e 50 kg ha⁻¹ de KCl, conforme recomendações de Sousa & Lobato (2004), os micronutrientes foram aplicados via foliar aos 30 DAS.

O adubo biológico foi preparado na proporção de 20 L de água, 4 L de esterco bovino e 1 kg do composto biológico. As características minerais do adubo biológico estão apresentadas na Tabela 1, também são encontrados microrganismos responsáveis pela fermentação aeróbica e anaeróbica, principalmente bactérias, fungos e leveduras (Medeiros & Lopes, 2006). O adubo biológico foi aplicado com pulverizador 24 horas após a semeadura do milho, na dose de 150 L ha⁻¹.

As avaliações dos indicadores de qualidade do solo foram feitas aos 120 DAS da cultura da milho. Com auxílio do trado Holandês foram coletadas cinco amostras simples que formaram uma amostra composta por parcela, retiradas no espaço entre as linhas do milho, incluindo as amostras do solo no fragmento de mata.

As propriedades químicas do solo foram coletadas na camada de 0 a 0,20 m de profundidade, sendo consideradas a matéria orgânica (MO), pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio (H) + alumínio (Al), Capacidade de troca de cátions (T) e saturação de potássio (%K) a pH 7 conforme Embrapa (2011).

Para as análises microbiológicas do solo considerou-se a camada de 0 a 0,10 m de profundidade, e foram avaliados o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) pelo método da fumigação-extração (Vance *et al.*, 1987), respiração basal do solo (C-CO₂) através da quantificação de CO₂ liberado do solo (Jenkinson & Powlson, 1976), quociente microbiano (qMIC) representado pela relação do C-BMS e carbono orgânico total, e quociente metabólico (qCO₂) através da relação C-CO₂/C-BMS (Anderson & Domsch, 1993).

Foram marcadas 10 plantas aleatórias da área útil de cada parcela que foi determinada a área foliar no estágio fenológico R₁ (Tollenaar, 1992), enquanto a altura da planta, diâmetro do colo, número de folhas, comprimento da espiga, diâmetro da espiga, número de fileiras de grãos e número de grãos por fileira foram avaliadas no estágio R₆. Após isso, foi realizada a colheita de todas as plantas da área útil de cada parcela e foram trilhadas, com a umidade dos grãos corrigida para 13%, foi

determinado a massa de mil grãos e estimado a produtividade (kg ha^{-1}) do milho (Teixeira & Costa, 2010).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e para analisar os indicadores químicos e microbiológicos do solo com a testemunha no fragmento de mata, aplicou-se o teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). Para analisar as médias das propriedades químicas e microbiológicas do solo, as características agronômicas do milho aplicou-se o teste de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando o software estatístico ASSISTAT (Silva & Azevedo, 2016).

RESULTADOS

Indicadores de qualidade química do solo

Os fatores adubo biológico e as condições de cobertura do solo não apresentaram interação, entretanto, houve diferenças significativas isoladas nos fatores, nas safras 2015/16 e 2016/17, conforme descritos abaixo.

A área cultivada com milho apresentou melhor fertilidade em relação ao fragmento de mata nas duas safras. Na safra 2015/16, o adubo biológico não influenciou na fertilidade do solo, porém, o milho aumentou a concentração e a saturação de potássio no solo (Tabela 2).

Tabela 2. Qualidade química do solo em função da adubação biológica (AB) e coberturas de solo (COB), com testemunha no fragmento de mata, correspondente a camada de 0 a 0,20 m de profundidade, safra 2015/2016

AB	COB	Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$)									
		MO g kg ⁻¹	pH CaCl ₂	P ----- mg dm ⁻³ -----	K -----	K -----	Ca -----	Mg cmol _c dm ⁻³ -----	H+Al -----	T -----	K %
	Milheto	23,5b	6,6	2,6b	117,3a	0,3a	3,7a	2,0b	1,5b	7,5	4,1a
Com	Crotalária	23,2b	6,7	3,5b	117,3a	0,3a	3,3b	2,0a	1,5b	7,1	4,1a
	Pousio limpo	24,8b	6,5	3,5b	39,1b	0,1b	3,7a	2,0b	1,4b	7,3	2,0b
	Milheto	21,5b	6,6	3,9b	156,4a	0,4a	3,3b	1,6b	1,5b	6,8	5,1a
Sem	Crotalária	24,5b	6,7	4,5b	78,2b	0,2b	3,0b	1,2b	1,6b	6,1	3,1b
	Pousio limpo	22,2b	6,5	5,1a	39,1b	0,1b	3,2b	2,2a	1,4b	7,0	1,7b
	Fragmento de mata	30,5a	6,4	0,7b	39,1b	0,1b	2,3b	1,1b	3,3a	6,9	2,1b
Adubo biológico		Teste de Tukey ($p \leq 0,05$)									
Com		23,8	6,6	3,2	78,2	0,2	3,6	2,0	1,5	7,3	3,4
Sem		22,7	6,6	4,5	78,2	0,2	3,2	1,7	1,5	6,6	3,3
Cobertura de solo											
	Milheto	22,5	6,6	3,3	117,3a	0,3a	3,5	1,8	1,5	7,2	4,6a
	Crotalária	23,8	6,7	4,0	78,2b	0,2b	3,2	1,6	1,6	6,6	3,5b
	Pousio limpo	23,5	6,5	4,3	39,1c	0,1c	3,5	2,1	1,4	7,1	1,8c
	CV (%)	8,9	4,1	63,8	22,7	22,7	20,8	24,9	10,4	12,9	22,7

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$) e pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H + Al), capacidade de troca de cátions (T) e saturação de potássio (%K) a pH 7.

Na safra seguinte (2016/17), foi possível perceber que o manejo aplicado na área cultivada com milho aumentou ainda mais a fertilidade do solo em relação ao fragmento de mata, tendo maiores valores de pH, fósforo, potássio, cálcio e saturação de potássio (Tabela 3). Tais respostas, evidenciaram os benefícios proporcionados pelo adubo biológico e as plantas de cobertura, logo no segundo ano de realização destas táticas de manejo no sistema de produção do milho.

Tabela 3. Qualidade química do solo em função da adubação biológica (AB) e coberturas de solo (COB) com testemunha no fragmento de mata, correspondente a camada de 0 a 0,20 m de profundidade, safra 2016/2017

AB ¹	COB ¹	Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$)									
		MO g kg ⁻¹	pH CaCl ₂	P ---- mg dm ⁻³ ----	K -----	K -----	Ca	Mg cmol _c dm ⁻³ -----	H+Al -----	T	K %
	Milheto	27,3b	5,7a	6,3a	117,3a	0,3a	4,3a	1,3	2,7b	8,6b	4,3a
Com	Crotalária	28,0b	5,7a	2,7b	117,3a	0,3a	4,2a	1,2	2,3b	8,0b	3,8a
	Pousio limpo	27,7b	5,8a	4,3b	78,2a	0,2a	4,3a	1,3	2,3b	8,1b	3,2a
	Milheto	27,0b	5,4a	6,5a	117,3a	0,3a	4,1b	1,3	2,4b	8,1b	4,2a
Sem	Crotalária	25,3b	5,5a	4,6b	78,2a	0,2a	4,3a	1,2	2,6b	8,3b	3,1a
	Pousio limpo	26,7b	5,5a	4,2b	78,2a	0,2a	4,1b	1,3	2,6b	8,2b	3,1a
Fragmento de mata		39,3a	5,0b	0,7b	39,1b	0,1b	3,8b	1,2	4,3a	9,4a	1,7b
Adubo biológico ²		Teste de Tukey ($p \leq 0,05$)									
Com		27,7	5,7a	4,2	117,3	0,3	4,2	1,3	2,4	8,2	3,8
Sem		26,3	5,5b	5,1	78,2	0,2	4,2	1,2	2,5	8,2	3,5
Cobertura de solo ²											
Milheto		27,2	5,6	6,4	117,3a	0,3a	4,2	1,3	2,5	8,3	4,3a
Crotalária		26,7	5,6	3,6	78,2b	0,2b	4,2	1,2	2,4	8,1	3,5ab
Pousio limpo		27,2	5,7	4,3	78,2b	0,2b	4,2	1,3	2,4	8,1	3,1b
CV (%)		6,52	1,59	54,13	19,1	19,1	3,7	5,7	17,4	4,8	19,1

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$) e pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Legenda: matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H + Al), capacidade de troca de cátions (T) e saturação de potássio (%K) a pH 7.

O adubo biológico não influenciou nos atributos químicos do solo na safra 2015/16, já na safra 2016/17 ocorreu menor pH do solo sem adubação biológica (Tabelas 2 e 3). Como o solo da área experimental foi cultivado anteriormente com *Gossypium hirsutum* no sistema convencional durante cinco anos consecutivos, as técnicas de manejo que visam a qualidade do solo, como o adubo biológico tendem a melhorar as características químicas ao longo do tempo de aplicação.

A maior concentração e saturação de potássio no solo onde foi implantado o milheto na safra 2015/16 (Tabela 2) apresentou um padrão de continuidade na safra 2016/17 (Tabela 3), diferindo da crotalária e solo mantido em pousio limpo. A ciclagem de nutrientes e produção matéria seca são características importantes de plantas de

cobertura, por isso, o milho é uma das culturas de cobertura do solo mais utilizadas nas áreas de produção de grãos.

A matéria orgânica do solo foi inferior na área cultivada com milho em relação ao fragmento de mata nas safras 2015/16 e 2016/17, entretanto, ocorreu aumento acerca de 15% na concentração deste indicador no solo na segunda safra de milho - 2016/17 (Tabelas 2 e 3), resultado da adubação biológica, decomposição da matéria seca das plantas de cobertura e do material vegetal remanescente da cultura do milho.

Indicadores de qualidade microbiológica

Na safra 2015/16, considerando à média dos fatores adubo biológico e condições de cobertura do solo cultivado com milho, o fragmento de mata apresentou maior quantidade de carbono orgânico total, carbono da biomassa microbiana, quociente microbiano e respiração basal em cerca de 31, 423, 313 e 129%, respectivamente. Já na safra 2016/17, o carbono orgânico total, o carbono da biomassa microbiana e o quociente microbiano do solo do fragmento de mata foram superiores a área cultivada em cerca de 37, 138 e 72%, respectivamente (Tabela 4).

O quociente metabólico indicou maior qualidade no solo do fragmento de mata, pois no solo cultivado com milho foram observados valores superiores em cerca de 135 e 175% na safra 2015/16 e 2016/17, respectivamente. Em relação ao uso de coberturas de solo, o milho cultivado sobre restos vegetais de crotalária apresentou menor valor do quociente metabólico em relação ao milho e pousio limpo nas safras 2015/16 e 2016/17. Já a aplicação do adubo biológico reduziu o quociente metabólico somente na safra 2015/16 (Tabela 4).

Tabela 4. Indicadores de qualidade microbiológica do solo submetido a adubação biológica (AB) e coberturas do solo (COB) com testemunha no fragmento de mata, safras 2015/2016 e 2016/2017

AB ¹	COB ¹	----- Safra 2015/2016 -----					----- Safra 2016/2017 -----				
		COT	C-BMS	qMIC	C-CO ₂	qCO ₂	COT	C-BMS	qMIC	C-CO ₂	qCO ₂
	Milheto	13,6b	95,4b	0,7b	0,4b	3,9b	15,9b	177,7b	1,1a	0,4	3,0b
Com	Crotalaria	13,4b	77,9b	0,6b	0,2b	2,8b	16,2b	130,8b	0,8b	0,4	3,2b
	Pousio limpo	14,4b	133,1b	0,9b	0,5b	3,5b	16,1b	112,3b	0,7b	0,6	5,8a
	Milheto	12,5b	80,5b	0,7b	0,4b	4,8a	15,7b	125,5b	0,8b	0,6	5,6a
Sem	Crotalaria	14,2b	67,4b	0,5b	0,3b	4,5a	15,4b	156,4b	1,0a	0,4	2,8b
	Pousio limpo	12,8b	49,5b	0,4b	0,3b	7,4a	14,7b	114,3b	0,8b	0,6	4,3b
Fragmento de Mata		17,7a	439,3a	2,6a	0,8a	1,9b	21,4a	324,7a	1,5a	0,5	1,5b
Adubo Biológico ²											
Com		13,8	102,1a	0,7a	0,4	3,4b	16,0	140,2	0,9	0,5	4,0
Sem		13,2	65,8b	0,5b	0,3	5,6a	15,3	132,1	0,9	0,5	4,2
Cobertura de solo ²											
Milheto		13,0	88,0	0,7a	0,4ab	4,3ab	15,8	151,6	0,9	0,5	4,3ab
Crotalaria		13,8	72,7	0,5b	0,3b	3,7b	15,8	143,6	0,9	0,4	3,0b
Pousio limpo		13,6	91,3	0,6ab	0,4a	5,5a	15,4	113,3	0,7	0,6	5,0a
CV (%)		8,9	9,9	10,2	19,7	24,1	7,1	30,3	36,1	25,3	38,9

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnett¹ ($p \leq 0,05$) e pelo teste de Tukey² ($p \leq 0,05$). Carbono orgânico total (COT – g kg⁻¹), carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS – mg C microbiano kg⁻¹ solo), quociente microbiano (qMIC – %), respiração basal do solo (C-CO₂ – mg de C-CO₂ kg⁻¹ solo hora⁻¹) e quociente metabólico (qCO₂ – mg C-CO₂ g⁻¹BMS-C h⁻¹).

O adubo biológico melhorou a qualidade microbiana do solo, evidenciando a importância da introdução de populações de microrganismos naturais da região no solo da área experimental, que gerou um aumento em cerca de 56% no carbono da biomassa microbiana na safra 2015/16, sendo observados valores mínimos e máximos de 65,8 e 102,1 mg C microbiano kg⁻¹ solo, respectivamente, considerados baixos para um Latossolo Vermelho (Tabela 4).

Diversos fatores podem ter contribuído para o efeito significativo do adubo biológico e das plantas de cobertura de solo na safra 2015/16 em relação a 2016/17, como menor volume de precipitação pluvial e temperatura média (Figura 1), pelo fato do solo ter sido cultivado em sistema convencional durante cinco anos consecutivos com *Gossypium hirsutum* antes da implantação do primeiro ano deste experimento na

safra 2015/16, permitindo a expressão dos efeitos dos tratamentos sobre tais indicadores.

O plantio direto do milho em ambas as safras contribuiu para o acúmulo de matéria seca no solo, que serviu de substrato para o desenvolvimento dos microrganismos já presentes e os introduzidos pelo adubo biológico. O milheto (0,7%) na safra 2015/16, mesmo com valores do quociente microbiano menor que 1%, influenciou em maior acúmulo de carbono na biomassa em relação a crotalária (0,5%) e solo mantido em pousio limpo (0,6%) (Tabela 4).

Entretanto, com o milheto ocorreu maior valor do quociente metabólico, o que indica perdas de carbono do solo na forma de CO₂ pela respiração microbiana, semelhante ao observado no solo mantido em pousio limpo nas duas safras. Com uso da crotalária, houve menor fixação de carbono na biomassa em relação ao milheto, porém, a atividade metabólica da biomassa microbiana do solo foi mais eficiente, assim como ocorreu nas parcelas com adubação biológica (Tabela 4).

De modo geral, o manejo com adubo biológico, milheto e crotalária aumentaram a fixação de carbono na biomassa microbiana e reduziu as perdas de CO₂ para a atmosfera, em relação ao solo sem adubo biológico e ao pousio limpo, melhorou a qualidade microbiológica, responsável pela decomposição da matéria orgânica e mineralização de nutrientes no solo. Com isso, a camada arável de solo apresentou melhores condições para a exploração radicular do milho.

Desempenho da cultura do milho

Acredita-se que por este estudo ter sido realizado no curto tempo de dois anos, não ocorreram efeitos significativos do adubo biológico nas características vegetativas e produtivas do milho, nas safras 2015/16 e 2016/17. Porém, nesta última safra foram observados incrementos na produtividade de grãos do milho em cerca de 37 e 28% nas condições de adubação e sem adubação biológica, respectivamente, quando relacionada a safra 2015/16 (Tabela 5).

Tabela 5. Respostas da cultura do milho a adubação biológica e condições de cobertura do solo nas safras 2015/16 e 2016/17

Adubo Biológico	Safr 2015/16								
	AF m ²	AP m	DC ----- cm	DE ----- cm	CE ----- cm	NF ----- un	NGF ----- un	PMG g	PROD kg ha ⁻¹
Com	7,4	2,2b	2,1	4,8	15,3	15,9	30,3	319,7	5.745,8
Sem	7,6	2,2a	2,2	4,8	15,6	16,1	31,1	316,9	6.034,1
Coberturas do solo									
Milheto	7,5ab	2,2	2,2	4,7b	15,2	15,7	29,8b	320,0	5.754,1ab
Crotalária	7,9a	2,2	2,1	4,8a	15,7	15,9	31,6a	315,6	6.251,2a
Pousio limpo	7,1b	2,2	2,1	4,8a	15,4	16,2	30,8ab	319,3	5.664,5b
CV (%)	7,0	2,1	5,7	1,8	4,3	2,7	4,6	4,30	7,4
Adubo Biológico	Safr 2016/17								
	Com	7,4	2,1	2,2	4,8	17,2	17,9	35,4	377,2
Sem	7,4	2,1	2,2	4,8	17,6	18,1	36,1	377,0	7.750,8
Coberturas do solo									
Milheto	7,3	2,1	2,3	4,8	17,2	17,7	34,8b	378,0	8.206,9a
Crotalária	7,0	2,2	2,3	4,9	17,7	17,9	36,6a	376,0	8.217,5a
Pousio limpo	7,9	2,1	2,2	4,9	17,4	18,2	35,8ab	377,6	6.961,3b
CV (%)	10,4	5,0	5,7	1,8	3,8	2,4	4,0	2,35	10,7

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Área foliar (AF), altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), diâmetro da espiga (DE), comprimento da espiga (CE), número de fileiras por espiga (NF), número de grãos por fileira (NGF), massa de mil grãos (PMG) e produtividade (PROD).

A crotalária por ser uma espécie com capacidade para fixar nitrogênio no solo, na safra 2015/16 influenciou em maior área foliar, diâmetro da espiga, grãos por fileira e produtividade grãos de milho, enquanto que na safra 2016/17 foi observado somente maior massa de mil grãos e produtividade. Já o milheto, incrementou a produtividade do milho na safra 2016/17, possivelmente por aumentar a concentração de potássio no solo e pela deposição de matéria seca (Tabelas 2, 3 e 5).

Devido aos benefícios promovidos pelas plantas de cobertura nos atributos químicos (Tabelas 2 e 3) e microbiológicos do solo (Tabela 4), ou mesmo pelo maior volume de precipitação pluviométrica (Figura 1), ocorreu aumento da produtividade de milho na safra 2016/17 em cerca de 43 e 32% utilizando milheto e crotalária, respectivamente, em relação à safra 2015/16 (Tabela 5).

DISCUSSÃO

Indicadores de qualidade química do solo

No estudo de Andreotti *et al.* (2008) utilizando *Mucuna deeringiana*, *Crotalaria juncea*, *Setaria incana*, *Pennisetum glaucum* e *Eleusine gracilis* ocorreu melhoria na fertilidade do solo, que devido a ciclagem de nutrientes a partir da decomposição da matéria seca depositada na superfície do solo, aumentou a concentração de K para 312,8 mg dm⁻³, superior ao maior valor observado no presente estudo com uso de milho na safra 2015/16 (156,4 mg dm⁻³).

Aumento da fertilidade do solo também foi observado por Torres *et al.* (2008), onde relataram que o milho e a crotalaria foram as plantas de cobertura com maior mineralização de nutrientes no solo, tais como N, P, Ca, Mg e S, fortemente influenciadas pelas condições climáticas da região, como a temperatura e a precipitação pluviométrica.

Benefícios para qualidade química do solo também foram relatados por Jakelaitis *et al.* (2008), que no cultivo do milho em sistema de plantio direto, obtiveram bons níveis de fertilidade e deposição de material orgânico, incrementando a qualidade química do solo. Nesse sistema de plantio é possível elevar a qualidade química, física e microbiológica dos solos cultivados, podendo assemelhar-se até mesmo a solos de ambientes naturais.

Com exceção do K, os indicadores químicos apresentaram pouca variação em função do adubo biológico e plantas de cobertura do solo utilizados neste estudo. Carneiro *et al.* (2009) também observaram pequena variação dos indicadores químicos, onde também observaram no solo da mata natural maiores concentrações de H + Al e menores de Ca, Mg e K em relação ao solo manejado com corretivos e fertilizantes minerais.

O plantio direto é um sistema que visa aumentar ou manter a qualidade do solo, visto que operações de revolvimento afetam a dinâmica da matéria orgânica, pois, os responsáveis por sua fragmentação e decomposição são os microrganismos, estes, bastante sensíveis a alterações no meio. Por isso, a decomposição da matéria seca, a ciclagem de nutrientes, a formação de galerias e agregação do solo podem ser minimizadas a partir desse sistema (Sousa Neto *et al.*, 2008).

Além do mais, práticas de revolvimento do solo também são responsáveis por reduzir a cobertura vegetal depositada na superfície do solo em cerca de 30%, desse modo, menor será o tempo de proteção e maior as perdas de carbono do solo (Mahl *et al.*, 2008).

Indicadores de qualidade microbiológica do solo

Menores valores do carbono da biomassa na área cultivada também foram observados por Jakelaitis *et al.* (2008), onde perceberam menor carbono da biomassa microbiana no solo cultivado com milho em plantio direto em relação ao solo da área natural. Para Silva *et al.* (2010), isso ocorre porque quanto mais intensivo for o manejo do solo, menor será a fixação de carbono pela biomassa, visto que, em condições de estresse, as perdas de carbono são intensificadas.

Além das operações agrícolas no solo, fatores como a complexidade, quantidade e qualidade do resíduo orgânico influenciam na atividade microbiana, pois a rápida decomposição da matéria seca menos complexa, a fixação de carbono no solo acaba sendo prejudicada. Por isso, o carbono da biomassa microbiana do solo pode ser sensível até mesmo a introdução de diferentes tipos de cobertura vegetal no sistema (Belo *et al.*, 2012).

A associação de práticas agrícolas como adubação biológica e plantas de cobertura melhoram a qualidade do solo. A exemplo disso, Zhao *et al.* (2009) observaram que o carbono da biomassa microbiana do solo foi superior a partir do manejo do solo com cobertura vegetal e adubo orgânico combinado com fertilizante mineral.

Como parâmetros de comparação, Mendes *et al.* (2015) elaboraram uma tabela com classes de interpretação dos indicadores de qualidade microbiológica em um Latossolo Vermelho do Cerrado. O carbono da biomassa microbiana e a respiração basal do solo são adequados quando acima de 400 e 100 mg de C kg⁻¹ de solo, respectivamente. Com base nesses valores, tais indicadores da área cultivada neste estudo estão na classe baixa.

O quociente microbiano do solo cultivado com milho neste estudo foram todos inferiores a 1%, para Jakelaitis *et al.* (2008) condições como esta indicam que existe algum fator causando estresse a microbiota do solo, pois Jenkinson & Ladd (1981)

relataram que em condições de equilíbrio no solo, este indicador deve apresentar-se entre 1 a 4% do carbono orgânico total.

O quociente microbiano expressa a relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total, demonstrando a quantidade de carbono do solo imobilizado pelos microrganismos, sendo considerado bastante sensível as alterações decorrentes do sistema de cultivo (Silva *et al.*, 2010; Duarte *et al.*, 2014).

A respiração basal do solo foi maior no solo mantido em pousio limpo e com milho, de acordo com Silva *et al.* (2010), esse indicador é bastante sensível as operações do solo, quanto mais intensificado o nível de operações do solo, maior a liberação de CO₂ pela biomassa. Conforme Mendes *et al.* (2015), a menor respiração (C-CO₂) ocorre em ambientes naturais ou sistemas com baixa movimentação do solo, como o plantio direto. Isso porque as áreas com vegetação natural, geralmente possuem resíduos orgânicos mais complexos e tem menos carbono prontamente disponível no solo, o que gera baixa emissão de C-CO₂ pelos microrganismos.

O menor quociente metabólico observado no solo do fragmento de mata neste estudo, corroboram com os resultados obtidos por Jakelaitis *et al.* (2008), que verificaram menor valor desse indicador no solo da mata, e por Belo *et al.* (2012), que verificaram menor eficiência metabólica dos microrganismos no solo sem cobertura vegetal. Por isso, Duarte *et al.* (2014) comentaram que quanto menos respiração ocorrer por unidade de carbono microbiano, mais eficientemente será a fixação do carbono na biomassa, indicando menor condição de estresse no solo.

Isso porque o quociente metabólico é resultado da relação entre a respiração basal e o carbono da biomassa microbiana do solo, e quanto mais próximo de zero, menor é o estresse microbiano. Ambientes sob condições de maior estresse, como observado neste estudo no solo em pousio limpo e com milho, ocorre maior perda de carbono na forma de CO₂ pelo processo de respiração microbiana (Silva *et al.*, 2010).

Desempenho agrônômico da cultura do milho

O milho é uma cultura que apresenta alta exigência nutricional principalmente de nitrogênio, que influenciou em incrementos de 10 e 18% na produtividade nas safras 2015/16 e 2016/17, respectivamente, quando cultivado sobre restos vegetais

de crotalária em relação ao solo em pousio limpo. Conforme Andreotti *et al.* (2008), isso ocorre devido a crotalária fixar nitrogênio atmosférico no solo pela simbiose com bactérias fixadoras, liberando gradualmente ao longo do ciclo do milho.

No estudo de Andrioli *et al.* (2008) também foi observado maior produtividade do milho cultivado em restos vegetais de crotalária em relação ao milheto. Silva *et al.* (2007) também verificaram maior produtividade do milho em sucessão a crotalária, e quando cultivado após o milheto, foi necessário maior adubação mineral com nitrogênio. Por isso, os autores relataram que a crotalária pode ser uma fonte alternativa no fornecimento do nitrogênio para a cultura do milho.

Com o manejo proposto neste estudo ficou evidente a importância da adubação biológica e das plantas de cobertura, que melhoraram a qualidade química e microbiológica do solo, além de incrementar a produtividade do milho nas safras 2015/16 e 2016/17.

CONCLUSÕES

A adubação biológica, o milheto e a crotalária aumentaram a fertilidade e a qualidade microbiológica do solo cultivado com milho.

A produtividade de grãos da cultura do milho foi maior quando cultivado sobre restos vegetais de crotalária na safra 2015/16 e sobre crotalária e milheto na safra 2016/17.

Em razão do curto tempo de utilização do adubo biológico neste estudo, não foi observado respostas agronômicas do milho.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudos ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anderson, T.H. & Domsch, K.H. (1993) The metabolic quotient for CO₂ (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as

pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, **25**, 393-395.

Andreotti, M., Araldi, M., Guimarães, V.F., Junior, E.F. & Buzetti, S. (2008) Produtividade do milho safrinha e modificações químicas de um Latossolo em sistema plantio direto em função de espécies de cobertura após calagem superficial. *Acta Scientiarum Agronomy*, **30**, 109-115.

Andrioli, I., Beutler, A.N., Centurion, J.F., Andrioli, F.F. & Coutinho, E.L.M. (2008) Produção de milho em plantio direto com adubação nitrogenada e cobertura do solo na pré-safra. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **32**, 1691-1698.

Belo, E.S., Terra, F.D., Rotta, R.L., Vilela, L.A., Paulino, H.B., Sousa, E.D. et al. (2012) Decomposição de diferentes resíduos orgânicos e efeito na atividade microbiana em um Latossolo Vermelho de Cerrado. *Global Science and Technology*, **5**, 107-116.

Bezerra, L.L., Silva Filho, J.H., Fernandes, D., Andrade, R. & Madalena, J.A.S. (2008) Avaliação da aplicação de biofertilizante na cultura do milho: crescimento e produção. *Revista Verde*, **3**, 131-139.

Boer, A.C., Assis, R.L., Silva, G.P., Braz, A.J.B.P., Barroso, A.L.L., Filho, A.C. et al. (2007) Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **42**, 1269-1276.

Capuani, S., Rigon, J.P.G., Beltrão, N.E.M & Neto, J.F.B. (2012) Atividade microbiana em solos, influenciada por resíduos de algodão e torta de mamona. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **16**, 1269-1274.

Carneiro, M.A.C., Souza, E.D., Reis, E.F., Pereira, H.S. & Azevedo, W.R. (2009) Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **33**, 147-157.

Duarte, I.B., Gallo, A.S., Gomes, M.S., Guimarães, N.F., Rocha, D.P. & Silva, R.F. (2014) Plantas de cobertura e seus efeitos na biomassa microbiana do solo. *Acta Iguazu*, **3**, 150-165.

Embrapa. (2011) *Manual de métodos de análise de solo*. (ed. Embrapa), 230 p. Embrapa Solos, Rio de Janeiro.

- Embrapa. (2013). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. (ed. Embrapa), 353 p. Embrapa informação tecnológica, Brasília.
- Jakelaitis, A. Silva, A.A., Santos, J.B. & Vivian, R. (2008) Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, **38**, 118-127.
- Jenkinson, D.S. & Ladd, J.N. (1981) Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: Paul, E.A. & Ladd, J.N. (Eds.). *Soil Biochemistry*. p. 415-471. Marcel Dekker, New York.
- Jenkinson, D.S. & Powlson, D.S. (1976) The effects of biocidal treatments on metabolism in soil - V: A method for measuring soil biomass. *Soil Biology & Biochemistry*, **8**, 209-213.
- Mahl, D., Silva, R.B., Gamero, C.A. & Silva, P.R.A. (2008) Resistência do solo à penetração, cobertura vegetal e produtividade do milho em plantio direto escarificado. *Acta Scientiarum Agronomy*, **30**, 741-747.
- Medeiros, M.B. & Lopes, J.S. (2006) Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. *Bahia Agrícola*, **7**, 24-26.
- Mendes, I.C., Sousa, D.M.G. & Junior, F.B.R. (2015) Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, **32**, 191-209.
- Silva, E.C., Muraoka, T., Monteiro, R.O.C. & Buzetti, S. (2007) Análise econômica da adubação nitrogenada no milho sob plantio direto em sucessão a plantas de cobertura em Latossolo Vermelho. *Acta Scientiarum Agronomy*, **29**, 445-452.
- Silva, F.A.S. & Azevedo, C.A.V. (2016) The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *African Journal of Agricultural Research*, **11**, 3733-3740.
- Silva, R.R., Silva, M.L.N., Cardoso, E.L., Moreira, F.M.S., Curi, N., Alovisi, A.M.T. (2010) Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes – MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **34**, 1585-1592.

- Sousa Neto, E.L., Andrioli, I., Beutler, A.N. & Centurion, J.F. (2008) Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **43**, 255-260.
- Sousa, D.M.G. & Lobato, E. (2004) *Cerrado: correção do solo e adubação*. (ed. Embrapa), 416 p. Embrapa Cerrados, Brasília.
- Teixeira, F.V. & Costa, F.M. (2010) *Caracterização de Recursos Genéticos de Milho*. (ed. Embrapa), 10 p. Embrapa Milho e Sorgo, Brasília.
- Tollenaar, M. (1992) Is low density a stress in maize. *Maydica*, **37**, 305-311.
- Torres, J.L.R., Pereira, M.G. & Fabian, A.J. (2008) Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **43**, 421-428.
- Vance, E.D., Brookes, P.C. & Jenkinson, D.S. (1987) An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. *Soil Biology & Biochemistry*, **19**, 703-707.
- Zhao, Y., Wang, P., Li, J., Chen, Y, Ying, X. & Liu, S. (2009) The effects of two organic manures on soil properties and crop yields on a temperate calcareous soil under a wheat–maize cropping system. *European Journal of Agronomy*, **31**, 36-42.

ARTIGO III**ADUBAÇÃO BIOLÓGICA E PLANTAS DE COBERTURA: EFEITOS NA
QUALIDADE FÍSICA DO SOLO CULTIVADO COM SOJA E MILHO****BIOLOGICAL FERTILIZATION AND COVER CROPS: EFFECTS ON SOIL
PHYSICAL QUALITY CULTIVATED WITH SOYBEAN AND CORN**

[Revista Brasileira de Ciência do Solo]

João Paulo Ascari*¹, Dejânia Vieira de Araújo²

* Autor para correspondência: E-mail: joaoascari@hotmail.com; Contato: 65 99640-8792

¹ Engenheiro Agrônomo, Mestre em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola – PPGASP, Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Campus de Tangará da Serra – MT.

² Engenheira Agrônoma, Doutora em Agronomia – Ênfase em Fitopatologia, docente na Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Campus de Tangará da Serra – MT.

ADUBAÇÃO BIOLÓGICA E PLANTAS DE COBERTURA: EFEITOS NA QUALIDADE FÍSICA DO SOLO CULTIVADO COM SOJA E MILHO

RESUMO

A qualidade física do solo é fator imprescindível para obtenção de alta produtividade das culturas da soja e do milho, tornando-se possível com a aplicação de manejos conservacionistas do solo. Por isso, o objetivo deste estudo foi verificar os efeitos da adubação biológica e condições de cobertura nas propriedades físicas do solo e na produtividade das culturas da soja e do milho. O estudo foi desenvolvido na área experimental da Universidade do Estado de Mato Grosso nas safras 2015/2016 e 2016/2017 e solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico. O delineamento experimental foi formado por duas condições de adubo biológico (com e sem) e três condições de cobertura do solo (*Pennisetum glaucum*, *Crotalaria ochroleuca* e pousio limpo). Em outubro de 2015 e 2016 foi implantado as coberturas de solo, no mês de dezembro dos respectivos anos citados foi realizada a semeadura direta da soja e do milho, de forma simultânea. A aplicação do adubo biológico foi realizada logo em seguida. Os indicadores físicos do solo foram avaliados aos 120 dias após a semeadura, para qual também considerou-se um fragmento de mata como base de comparação. Nas coberturas do solo foram avaliadas a produção de massa seca, taxa de decomposição e tempo de meia vida, com destaque para o *P. glaucum*. Observou-se efeito significativo da adubação biológica e das condições de cobertura do solo no aumento da umidade volumétrica, macroporosidade e porosidade total, como também na redução da microporosidade e resistência a penetração do solo. O *P. glaucum* e a *C. ochroleuca* promoveram incrementos de produtividade da soja – safra 2016/17 e do milho – safras 2015/16 e 2016/17. Com isso, conclui-se que a adubação biológica e as plantas de cobertura melhoraram a qualidade física do solo, tendo incrementos de produtividade da soja e do milho com o uso de *P. glaucum* e *C. ochroleuca*.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max*, *Zea mays*, Qualidade do solo, indicadores físicos, produtividade.

BIOLOGICAL FERTILIZATION AND COVER CROPS: EFFECTS ON SOIL PHYSICAL QUALITY CULTIVATED WITH SOYBEAN AND CORN

ABSTRACT

The physical quality of the soil is an essential factor to obtain high yield of the soybean and corn crops, making it possible with the application of soil conservation practices. Therefore, the objective of this study was to verify the effects of biological fertilization and cover conditions on soil physical properties and yield of soybean and corn crops. The study was developed in the experimental field of the State University of Mato Grosso in the 2015/2016 and 2016/2017 harvests and soil classified as dystroferric red-latosol. The experimental design consisted of two conditions of biological fertilizer (with and without) and three-soil cover conditions (*Pennisetum glaucum*, *Crotalaria ochroleuca* and fallow clean). In October of 2015 and 2016 the soil cover was implanted, in the month of December of the respective years mentioned, the direct sowing of soybean and corn was carried out simultaneously. The application of the biological fertilizer was carried out immediately. The soil physical indicators were evaluated at 120 days after sowing, for which a forest fragment was also considered as the basis for comparison. In the soil cover the dry mass production, rate of decomposition and half - lifetime were evaluated, especially *P. glaucum*. It was observed a significant effect of biological fertilization and soil cover conditions on the increase of volumetric humidity, macroporosity and total porosity, as well as the reduction of microporosity and resistance to soil penetration. *P. glaucum* and *C. ochroleuca* promoted yield increases for soybeans - 2016/17 crop and corn - 2015/16 and 2016/17 crops. Thus, it was concluded that the biological fertilization and the cover plants improved the physical quality of the soil, increasing yields of soybean and corn with the use of *P. glaucum* and *C. ochroleuca*.

KEY WORDS: *Glycine max.* *Zea mays*. Soil quality. Physical indicators. Yield.

INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é a cultura de maior importância econômica para o agronegócio brasileiro, e na safra 2016/17 o estado de Mato Grosso teve uma área de 9.322,8 mil hectares com produtividade média de 3.273,0 kg ha⁻¹ de grãos, incrementos de 2% e 14,9%, respectivamente, em relação à safra anterior. Geralmente, a safrinha é feita com cultivo de milho (*Zea mays* L.), que ocupou uma área de 4.455,0 mil hectares, aumento de 18,2% e incrementos de 49,1% na produtividade, com média de 5.962 kg ha⁻¹ de grãos em relação à safra anterior (Conab, 2017).

Devido à importância econômica que as culturas da soja e do milho apresentam no agronegócio brasileiro, é imprescindível que as propriedades físicas do solo estejam favoráveis ao desenvolvimento do sistema radicular das culturas. Neste aspecto, destacam-se os indicadores da qualidade física do solo, que em condições químicas adequadas, permitem maior desenvolvimento das raízes em camadas mais profundas do solo, refletindo em ganhos de produtividade (Chioderoli et al., 2011).

A presença de camadas compactadas no solo prejudicam o crescimento radicular das plantas, gerando problemas com as trocas gasosas, menor espaço físico para absorção de água e nutrientes. A compactação é a principal causa física da redução de produtividade das culturas, que pode ser monitorada através do uso de alguns indicadores, tais como a resistência a penetração, porosidade, densidade e umidade do solo (Chioderoli et al., 2011; Cherubin et al., 2015).

O sistema de cultivo e adubação inadequada podem promover alterações nas características do solo em relação à condição natural, como redução da macroporosidade, aumento da densidade e resistência a penetração (Cunha et al., 2012; Cherubin et al., 2015). Tais modificações da estrutura do solo são reflexos da compactação promovida pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas (Beutler et al., 2005).

O manejo adotado é uma ferramenta eficientemente capaz de, minimizar e corrigir os reflexos negativos promovidos por essas práticas agrícolas na qualidade física do solo. Entre as diversas técnicas conhecidas, a integração da adubação biológica com o uso de cobertura vegetal pode contribuir com a melhoria do sistema (Medeiros e Lopes, 2006; Rossetti et al., 2012).

A abundância no solo de microrganismos saprófitas e decompositores contribui com o processo de decomposição dos resíduos vegetais, e por isso, torna-se necessário optar por culturas de cobertura com elevado potencial em produzir matéria seca, como o milheto (*Pennisetum* sp.) e crotalária (*Crotalaria* sp.). Os resíduos vegetais servem de substrato para o desenvolvimento da microbiota do solo, promovendo aumentando na estabilidade dos agregados, no teor de umidade, na proteção e na manutenção de resíduos orgânicos necessários para realização do plantio direto (Boer et al., 2008; Carneiro et al., 2008; Cunha et al., 2012).

A ação microbiana contribui com a taxa de decomposição da palhada, tendo assim, maior liberação de nutrientes, produção de matéria orgânica nas camadas superficiais e subsuperficiais do solo, além de aumentar a agregação das partículas (Teixeira et al., 2011; Rossetti et al., 2012).

Em razão da maior relação C/N, as gramíneas geralmente apresentam maior tempo de meia vida, quando comparadas as leguminosas, que são decompostas mais rapidamente em função da maior concentração de nitrogênio em sua composição. Porém, essa condição nem sempre se repete, pois a decomposição é influenciada pelas condições climáticas, como altas temperaturas e precipitação pluvial, tipo de solo e manejo adotado no sistema (Boer et al., 2008; Carneiro et al., 2008).

A introdução de microrganismos e resíduos vegetais são estratégias de manejo que melhoram as propriedades físicas do solo, como a redução da compactação de áreas utilizadas no cultivo de soja e milho. Por isso, o objetivo deste estudo foi verificar os efeitos da adubação biológica e condições de cobertura nas propriedades físicas do solo e na produtividade das culturas da soja e do milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em um período de dois anos – safras 2015/16 e 2016/17 – na área experimental da Universidade do Estado de Mato Grosso, Campus de Tangará da Serra – MT. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (Embrapa, 2013), com topografia plana e clima Tropical Úmido Megatérmico (Aw). Foram registradas as médias de temperatura (T°C) e umidade relativa do ar (%), e precipitação acumulada (mm⁻¹) nas safras 2015/16 e 2016/17 (Figura 1).

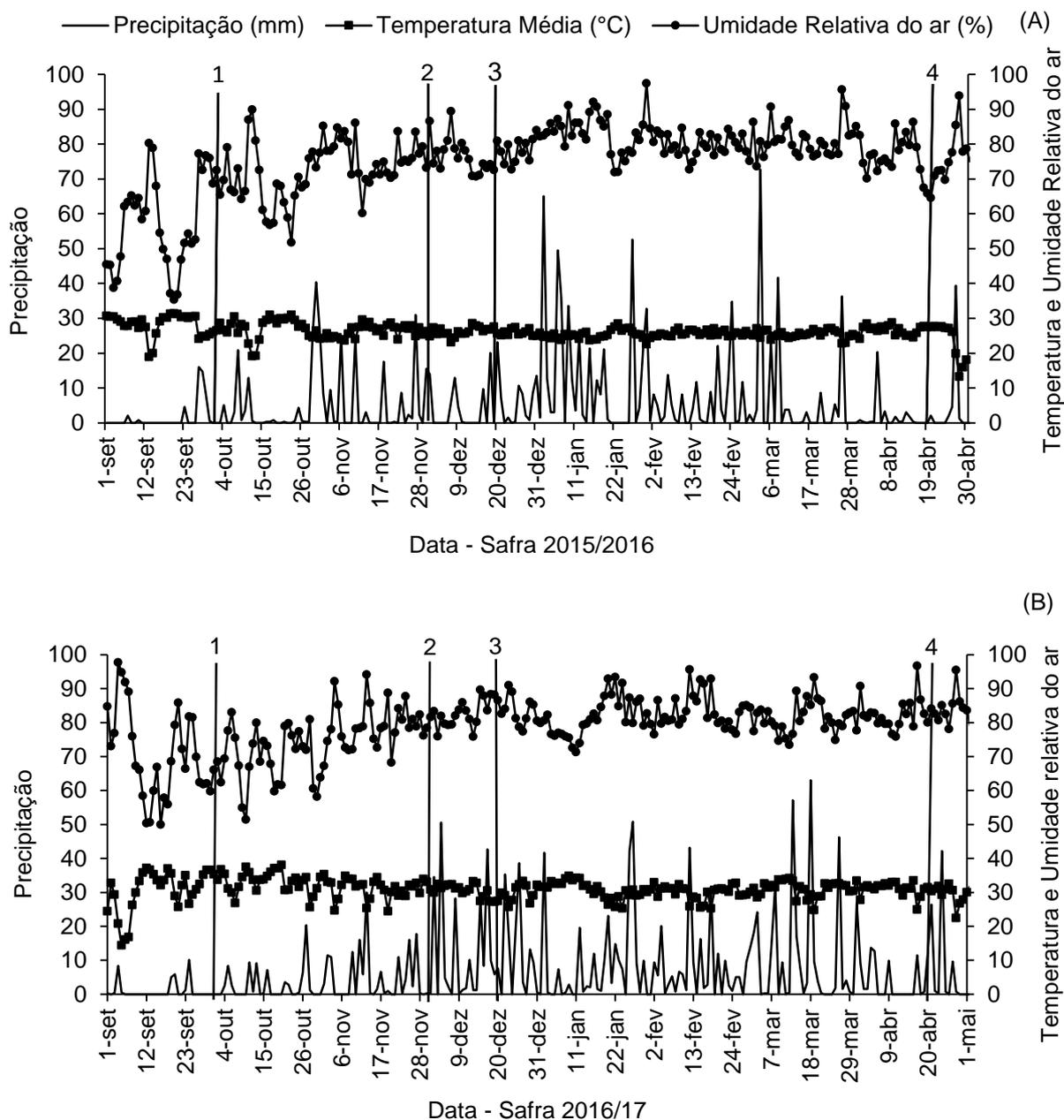


Figura 1. Precipitação acumulada (mm^{-1}), médias de temperatura ($T^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar (%) monitoradas nas safras 2015/2016 (A) e 2016/2017 (B). ¹ Semeadura do milho e da crotalária, ² Dessecação das plantas de cobertura do solo, ³ Semeadura da soja e do milho, ⁴ Colheita da soja e do milho, avaliação do indicador de qualidade física do solo.

Para avaliar os parâmetros físicos do solo, considerou-se um delineamento experimental em blocos casualizados em esquema fatorial duplo com testemunha adicional ($2 \times 3 + 1$), sendo duas condições de adubo biológico (com e sem), três condições de cobertura do solo (milho – *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.; Crotalária – *Crotalaria ochroleuca* G. Don.; pousio limpo) e uma testemunha (fragmento de mata

natural localizado a 1.000 metros da área experimental), com quatro repetições. Ao avaliar as plantas de cobertura de solo, a produtividade das culturas da soja e do milho, foram considerados somente os fatores adubo biológico e coberturas de solo.

O solo da área experimental foi inicialmente cultivado com a cultura do *Gossypium hirsutum* L. no sistema convencional (duas operações de gradagem) por um período de cinco anos consecutivos. Antes da implantação do primeiro ano deste ensaio (mês de julho de 2015) foi realizada uma análise química do solo com auxílio do trado holandês na camada de 0 a 0,20 m. Com base nos resultados (Tabela 1) e nas recomendações de Sousa e Lobato (2004), foram aplicados 1.300 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico para correção do solo, com posterior incorporação com grade niveladora.

Tabela 1. Resultados da análise química do solo da área experimental realizada no mês de julho de 2015 na camada de 0 a 0,20 m de profundidade e características minerais do adubo biológico líquido

Qualidade química do solo												
pH	P	K	Ca	Mg	Al	H	Al+H	T	V	MO		
H ₂ O	mg dm ⁻³	cmolc dm ⁻³						%	g dm ⁻³			
6,03	1,03	0,20	2,17	1,37	0,00	4,33	4,33	8,07	46,34	32,67		
Ca	Mg	K	Zn	Cu	Fe	Mn	B	S	Argila	Areia	Silte	
%			mg dm ⁻³						g kg ⁻¹			
26,93	17,10	2,47	1,33	3,53	43,67	30,60	0,28	13,13	544	86	370	
Qualidade química do adubo biológico												
pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	B	MO	
H ₂ O	g L ⁻¹			mg L ⁻¹								%
6,2	0,71	0,3	0,02	0,06	0,01	0,04	4,7	2,8	175	14,4	5,2	

Potencial hidrogeniônico (pH), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), hidrogênio (H), capacidade de troca de cátions (T), saturação e bases (V), matéria orgânica (MO), saturação de cálcio (%Ca), saturação de magnésio (%Mg), saturação de potássio (%K), zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), boro (B), enxofre (S) e nitrogênio (N).

As parcelas tiveram dimensões de 5 x 5 m, tendo área total de 25 m². A semeadura do milheto (Cv. ADR 500 – 25 kg ha⁻¹) e da crotalária (Cv. Comum - 15 kg ha⁻¹) foi realizada a lanço e incorporada com grade niveladora fechada no mês de outubro dos anos de 2015 e 2016, sendo dessecadas antes do estágio reprodutivo com o herbicida Paraquate + Diurom (400 + 200 g i.a ha⁻¹).

Após a dessecação do milheto e crotalária, com auxílio de um quadrado de ferro de área $0,25 \text{ m}^2$, foi realizada uma amostragem em cada parcela. Todo o material vegetal compreendido na área do quadrado foi cortado rente ao solo, colocado em embalagens identificadas e acondicionadas em estufa de circulação forçada a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ até massa constante, em seguida, a produção de massa seca foi extrapolada para produtividade em kg ha^{-1} (Boer et al., 2008).

Para avaliar a taxa de decomposição das coberturas, foi colocado $0,02 \text{ kg}$ de matéria seca de cada cobertura em bolsas confeccionadas em náilon ($0,2 \times 0,2 \text{ m}$), denominadas de Litter Bags. Cada parcela contou com quatro bolsas que foram retiradas aos 30, 60, 90 e 120 dias após a dessecação da coberturas. O material contido no interior das bolsas foram submetidos a secagem em estufa de circulação forçada a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 h, para determinação da massa remanescente dos resíduos (Teixeira et al., 2011).

No dia 20 de dezembro dos anos de 2015 e 2016 foi realizado a semeadura direta das culturas da soja e do milho, ambas com espaçamento entre linhas de $0,5 \text{ m}$. As cultivares de soja e de milho utilizadas foram a 98Y30 e AS1555, com densidade de 280.000 e 55.000 plantas ha^{-1} , respectivamente.

Nas duas safras foi utilizada adubação no sulco de 540 kg ha^{-1} de MAP (52% de P_2O_5 + 9% N) e 85 kg ha^{-1} de KCl (60% de K_2O). Aos 30 dias após a semeadura (DAS), foram aplicados em cobertura 85 kg ha^{-1} de KCl na soja, enquanto que no milho foi 155 kg ha^{-1} de ureia (45% N) e 50 kg ha^{-1} KCl, conforme análise de solo e recomendações de Sousa e Lobato (2004).

O adubo biológico foi preparado em tambor de 100 L com proporções de 20 L de água, 4 L de esterco bovino e 1 kg de composto biológico. As características minerais do adubo biológico estão apresentadas na Tabela 1, também são encontrados microrganismo responsáveis pela fermentação aeróbica e anaeróbica, como bactérias, fungos e leveduras (Medeiros e Lopes, 2006). Após o adubo biológico ser filtrado, foi realizado a aplicação com pulverizador 24 horas após a semeadura da soja e do milho, na dose de 150 L ha^{-1} .

A avaliação dos indicadores de qualidade física do solo foram feita aos 120 DAS da soja e do milho. Para isso, foram coletados no espaço entre as linha de cada cultura três pontos por parcela da área experimental e também no fragmento de mata, amostras indeformadas de solo com anel volumétrico (Anel de Kopecky),

considerando as camadas de 0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m de profundidade. Foi avaliada a umidade volumétrica, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo conforme metodologia da Embrapa (2011).

A resistência do solo a penetração foi determinada com auxílio do equipamento penetrômetro de impacto Stolf (Stolf, 1991; Sá e Santos Junior, 2007), considerando dez camadas de solo de 0,05 m, compreendendo a camada de 0,50 m de profundidade. As amostragens foram realizadas em cinco pontos por parcela no espaço entre as linhas das culturas.

Após a maturidade fisiológica da soja e do milho, foi realizada a colheita de todas as plantas presentes na área útil da parcela (quatro linhas centrais com quatro metros de comprimento). Após o processo de trilha mecânica foi corrigido a umidade dos grãos para 13 %, e produtividade estimada em quilogramas por hectare (kg ha^{-1}).

A estimativa da taxa de decomposição dos resíduos vegetais foi determinado conforme um modelo matemático exponencial proposto por Wieder e Lang (1982). O tempo de meia vida (tempo necessário para que 50 % dos restos vegetais seja decomposto) foi determinado conforme equação de Paul e Clark (1989).

Foi realizado teste de normalidade de Shapiro Wilk e análise de homogeneidade das variâncias pelo teste Bartlett. Tendo as premissas atingidas, os dados foram analisados pelo teste F, onde as características físicas do solo da área experimental e do fragmento de mata foram analisadas pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). Também foi aplicado o teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para comparar as médias dos parâmetros físicos do solo, massa seca e taxa de decomposição da palhada, produtividade da soja e do milho com auxílio do software ASSISTAT (Silva e Azevedo, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos resultados das análises estatísticas, não foi verificada interação significativa entre os fatores adubo biológico e coberturas de solo nos dois anos agrícolas. Contudo, ocorreram diferenças isoladas nos fatores, apresentadas abaixo.

Em análise aos parâmetros físicos do solo, percebeu-se similaridade nos resultados observados nas safras 2015/16 e 2016/17 na área cultivada com soja, que diferiu estatisticamente da área de referência no fragmento de mata. Esta última teve

menor umidade, densidade e microporosidade do solo, porém, maior macroporosidade e porosidade total. Na safra 2016/2017 o cultivo da soja influenciou em maiores valores de densidade do solo, porém, aumentou os macroporos (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2. Qualidade física do solo cultivado com soja em função da adubação biológica (AB), coberturas do solo (COB) e testemunha (Fragmento de mata), safra 2015/2016

AB	COB	Teste de Dunnett									
		Uv ¹		Ds ²		MaP ³		MiP ⁴		Pt ⁵	
		0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
		----- % -----		----- g cm ⁻³ ----		----- cm ³ cm ⁻³ -----					
	Milheto	24a	27a	1,25a	1,28b	0,06b	0,08a	0,42	0,40	0,48b	0,48a
Com	Crotalária	22a	26a	1,21b	1,29a	0,07b	0,06a	0,43	0,40	0,50a	0,46b
	Pousio limpo	19b	23b	1,18b	1,32a	0,06b	0,03b	0,42	0,42	0,48b	0,45b
	Milheto	23a	26a	1,19b	1,26b	0,09b	0,09a	0,40	0,38	0,48b	0,47b
Sem	Crotalária	21b	27a	1,22b	1,38a	0,08b	0,04b	0,41	0,39	0,49a	0,43b
	Pousio limpo	18b	23b	1,24a	1,31a	0,06b	0,05b	0,42	0,41	0,48b	0,46b
	Fragmento de mata	17b	21b	1,14b	1,18b	0,14a	0,11a	0,38	0,42	0,53a	0,53a
Adubo biológico		Teste de Tukey									
	Com	22	25	1,21	1,30	0,07	0,05	0,42	0,41	0,49	0,46
	Sem	21	26	1,22	1,32	0,08	0,06	0,41	0,39	0,49	0,45
Coberturas											
	Milheto	24a	26a	1,22	1,27	0,08	0,08a	0,41	0,39b	0,48	0,47
	Crotalária	21b	27a	1,22	1,33	0,08	0,05ab	0,42	0,40ab	0,49	0,45
	Pousio limpo	19b	23b	1,21	1,31	0,06	0,04b	0,42	0,42a	0,48	0,46
	CV (%)	9,46	8,30	4,15	4,15	26,43	40,98	5,81	4,81	4,13	6,04

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$) e pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ¹Umidade volumétrica, ²densidade do solo, ³macroporosidade, ⁴microporosidade e ⁵porosidade total.

O fator adubação biológica não teve efeitos significativos nos parâmetros físicos de qualidade do solo, entretanto, percebeu-se que no cultivo da soja sobre milheto o solo teve maior umidade e macroporosidade na safra 2015/16 (Tabela 2), não tendo nenhuma significância dos fatores na safra 2016/17 (Tabela 3).

Tabela 3. Qualidade física do solo cultivado com soja em função da adubação biológica (AB), coberturas do solo (COB) e testemunha (Fragmento de mata), safra 2016/2017

AB	COB	Teste de Dunnett									
		Uv ¹		Ds ²		MaP ³		MiP ⁴		Pt ⁵	
		0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
----- % -----		--- g cm ⁻³ ---		----- cm ³ cm ⁻³ -----							
	Milheto	37	36a	1,31b	1,37b	0,12b	0,10a	0,40a	0,38a	0,52	0,48a
Com	Crotalária	38	37a	1,34b	1,41a	0,09b	0,09b	0,41a	0,38a	0,50	0,47a
	Pousio limpo	36	36a	1,31b	1,36b	0,11b	0,10a	0,40a	0,38a	0,51	0,49a
	Milheto	37	41a	1,35b	1,41a	0,11b	0,09b	0,39a	0,37a	0,50	0,47a
Sem	Crotalária	36	36a	1,32b	1,40a	0,12b	0,09b	0,39a	0,38a	0,51	0,47a
	Pousio limpo	36	34b	1,37a	1,41a	0,10b	0,10a	0,40a	0,36b	0,50	0,46a
	Fragmento de mata	36	42a	1,26b	1,29b	0,20a	0,15a	0,33b	0,40a	0,53	0,55b
AB	Teste de Tukey										
Com		37	36	1,32	1,38	0,10	0,10	0,40	0,38	0,51	0,48
Sem		36	37	1,35	1,41	0,11	0,10	0,39	0,37	0,50	0,46
Coberturas											
	Milheto	37	39	1,33	1,39	0,11	0,10	0,40	0,38	0,51	0,47
	Crotalária	37	36	1,33	1,41	0,10	0,10	0,40	0,38	0,50	0,47
	Pousio limpo	36	35	1,34	1,39	0,11	0,10	0,40	0,37	0,50	0,47
	CV (%)	5,19	11,26	3,26	3,13	15,57	22,66	3,17	4,79	2,85	3,65

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$) e pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ¹Umidade volumétrica, ²densidade do solo, ³macroporosidade, ⁴microporosidade e ⁵porosidade total.

Ao analisar as propriedades físicas do solo cultivado com milho, verificou-se modificações em sua qualidade em relação ao solo considerado como referência, pois na safra 2015/2016 o solo do fragmento de mata teve menor umidade, maior macroporosidade e porosidade total. Comportamento pouco diferente ocorreu na safra 2016/2017, que além das características já mencionadas, ocorreu aumento da densidade e microporosidade do solo cultivado com milho.

Tabela 4. Qualidade física do solo cultivado com milho em função da adubação biológica (AB), coberturas do solo (COB) e testemunha (Fragmento de mata), safra 2015/2016

AB	COB	Teste de Dunnett									
		Uv ¹		Ds ²		MaP ³		MiP ⁴		Pt ⁵	
		0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
		----- % -----		----- g cm ⁻³ -----		----- cm ³ cm ⁻³ -----					
	Milheto	26a	28a	1,25b	1,37	0,04b	0,05	0,42a	0,37b	0,47a	0,42b
Com	Crotalária	20b	24b	1,26b	1,34	0,02b	0,04	0,44a	0,40a	0,47a	0,44a
	Pousio limpo	21b	24b	1,23b	1,30	0,03b	0,06	0,45a	0,40a	0,48a	0,46a
	Milheto	25a	28a	1,29a	1,43	0,04b	0,03	0,41b	0,36b	0,46b	0,39b
Sem	Crotalária	19b	25a	1,25b	1,41	0,03b	0,03	0,44a	0,38b	0,47a	0,41b
	Pousio limpo	17b	22b	1,24b	1,41	0,02b	0,02	0,46a	0,38b	0,49a	0,40b
	Fragmento de Mata	18b	21b	1,14b	1,33	0,15a	0,04	0,38b	0,43a	0,53a	0,48a
Adubação Biológica		Teste de Tukey									
	Com	0,22a	0,25	1,25	1,33b	0,03	0,05a	0,44	0,39a	0,47	0,44a
	Sem	0,20b	0,25	1,26	1,42a	0,03	0,02b	0,44	0,37b	0,47	0,40b
Coberturas de solo											
	Milheto	0,26a	0,28a	1,27	1,40	0,04	0,04	0,42b	0,37	0,46	0,41
	Crotalária	0,19b	0,24b	1,25	1,37	0,03	0,03	0,44ab	0,39	0,47	0,43
	Pousio limpo	0,19b	0,23b	1,24	1,35	0,03	0,04	0,46a	0,39	0,48	0,43
	CV (%)	10,25	7,16	5,70	4,95	58,55	58,31	4,45	5,01	6,72	5,69

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$) e pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ¹Umidade volumétrica, ²densidade do solo, ³macroporosidade, ⁴microporosidade e ⁵porosidade total.

Os fatores adubo biológico e coberturas de solo avaliados na área cultivada com milho na safra 2015/2016 influenciaram as propriedades físicas do solo, porém, na safra 2016/2017, ocorreram efeitos somente nos microporos do solo, que foram maiores na ausência do adubo biológico e no pousio limpo, que não diferiu estatisticamente da crotalária (Tabelas 4 e 5).

Tabela 5. Qualidade física do solo cultivado com milho em função da adubação biológica (AB), coberturas do solo (COB) e testemunha (Fragmento de mata), safra 2016/2017

AB	COB	Teste de Dunnett									
		Uv ¹		Ds ²		MaP ³		MiP ⁴		Pt ⁵	
		0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
		----- % -----		----- g cm ⁻³ -----		----- cm ³ cm ⁻³ -----					
	Milheto	34a	35b	1,36b	1,45a	0,10b	0,10b	0,38a	0,36a	0,49b	0,45b
Com	Crotalária	33a	33b	1,34b	1,42a	0,10b	0,09b	0,38a	0,36a	0,48b	0,46b
	Pousio limpo	33a	34b	1,33b	1,41a	0,07b	0,08b	0,43a	0,38a	0,51a	0,46b
	Milheto	32a	32b	1,37b	1,46a	0,10b	0,08b	0,38a	0,36a	0,49b	0,44b
Sem	Crotalária	34a	32b	1,40a	1,46a	0,09b	0,08b	0,38a	0,35b	0,48b	0,43b
	Pousio limpo	31b	32b	1,39a	1,49a	0,09b	0,09b	0,39a	0,36a	0,48b	0,44b
	Fragmento de Mata	36a	43a	1,26b	1,29b	0,20a	0,15a	0,33b	0,40a	0,53a	0,55a
Adubação Biológica		Teste de Tukey									
Com		33	34	1,34	1,43	0,09	0,09	0,40a	0,37	0,49	0,46
Sem		32	32	1,39	1,47	0,10	0,09	0,38b	0,35	0,48	0,44
Coberturas de solo											
	Milheto	33	34	1,36	1,45	0,10	0,09	0,38b	0,36	0,49	0,45
	Crotalária	34	33	1,37	1,44	0,09	0,09	0,38b	0,36	0,48	0,45
	Pousio limpo	32	33	1,36	1,45	0,08	0,08	0,41a	0,37	0,49	0,45
	CV (%)	6,13	7,66	4,15	4,05	17,14	21,90	4,14	6,72	3,80	4,95

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$) e pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ¹Umidade volumétrica, ²densidade do solo, ³macroporosidade, ⁴microporosidade e ⁵porosidade total.

Na safra 2015/2016 foi significativo o efeito das coberturas para manutenção da umidade do solo cultivado com soja e milho nas camadas analisadas, tendo na presença de milho os maiores níveis de umidade do solo em relação a crotalária e pousio limpo, que não diferiram estatisticamente entre si para esta variável (Tabelas 2 e 4). Na safra 2016/2017 não foi verificada influência dos fatores na umidade do solo cultivado com soja e milho, que diferente da safra anterior, a maior precipitação pluviométrica registrada próxima as avaliações nesta safra (Figura 1) contribuiu para manutenção e aumento da umidade do solo, explicando a inexistência de efeitos dos fatores sobre este parâmetro (Tabelas 3 e 5).

Tais resultados revelam a importância da palhada para as atividades agrícolas, tendo o intuito de manter a umidade e amenizar os efeitos de um possível estresse hídrico da soja e milho, além de reduzir os impactos no solo do tráfego de máquinas agrícolas. Esses resultados corroboram com os obtidos por Sousa Neto et al. (2008) e Zhao et al. (2009), nos quais observaram que no cultivo sobre cobertura vegetal, o solo aumenta a capacidade de armazenamento de água.

Seguindo o mesmo raciocínio, Jakelaitis et al. (2008) verificaram que a umidade é favorecida pela presença de matéria orgânica no solo. Além disso, o plantio direto realizado para ambas as culturas estudadas, contribuiu para o acúmulo de massa seca sobre o solo, reduziu a amplitude térmica e manteve a umidade adequada para realização dos processos metabólicos do solo (Cunha et al., 2012).

A densidade do solo não foi influenciada pelos fatores adubação biológica e coberturas de solo no cultivo da soja nas duas safras (Tabelas 2 e 3). Porém, com a aplicação do adubo biológico no cultivo do milho, safra 2015/2016, verificou-se menor densidade, entretanto, não se observou continuidade desse efeito na safra seguinte (Tabelas 4 e 5).

Ocorreu aumento da densidade nas camadas do solo da safra 2015/2016 para a safra 2016/2017, indicando que o cultivo da soja e do milho promoveu aumento da compactação do solo, sendo estes valores acima dos observados no fragmento de mata (Tabelas 2, 3, 4 e 5). Cherubin et al. (2015) relataram que o cultivo agrícola promove diversas alterações nas propriedades físicas do solo, como a compactação, que para Beutler et al. (2006), pode ser mensurada com base na densidade do solo, que tem estreita relação com a resistência à penetração. Jakelaitis et al. (2008) também observaram aumento da densidade do solo quando áreas naturais são modificadas para uso agrícola.

Os fatores estudados neste trabalho foram analisados com o intuito de aumentar a qualidade do solo submetido as práticas agrícolas, contudo, necessita-se de continuidade nos estudos para evidenciar, ao longo do tempo, o aumento na qualidade física do solo, decorrente do uso da adubação biológica e da utilização frequente de coberturas vegetais no sistema. Rolssetti et al. (2012), relataram que mesmo com a adoção de práticas conservacionistas, os sistemas agrícolas alteram os atributos do solo devido ao tráfego de máquinas. Além disso, há uniformidade no estrato vegetal com utilização de espécies de ciclo anual, fazendo com que o solo

permaneça por um período do ano sem cobertura vegetal. Sendo assim, para contrapor os efeitos negativos sobre as características do solo, deve ser adotado um plano de manejo integrado a longo prazo com diversificação de culturas.

O benefício a longo prazo dessas práticas foi comprovado por Zhao et al. (2009), que durante 25 anos testando adubação orgânica com dejetos líquido de suínos, palhada remanescente das culturas do trigo, milho e soja associado a fertilização mineral, observaram que a densidade do solo reduziu. Além disso, ocorreu elevação da porosidade total e dos níveis de matéria orgânica, como consequência, melhorou a agregação do solo.

Nas camadas de 0 a 0,10 m foram registradas as menores densidades em relação a camada de 0,10 a 0,20 m, podendo ser resultado do uso das coberturas vegetais, que devido ao agressivo desenvolvimento radicular formam galerias no perfil do solo que facilitam as trocas gasosas com a atmosfera, aumentando a infiltração de água, o que justifica a maior umidade do solo coberto por palhada de milho (Tabelas 2, 3, 4 e 5).

No estudo de Sousa Neto et al. (2008), ocorreu menor densidade na camada superficial do solo, devido a produção de matéria orgânica pelas plantas de cobertura, responsável por melhorar a agregação do solo. Quanto a isso, Rossetti et al. (2012) observaram que áreas com densidade superior a $1,30 \text{ g cm}^{-3}$ deve-se introduzir culturas com alta capacidade de produção de palhada, tais como milho e crotalaria utilizadas neste ensaio, evitando restringir o crescimento radicular da soja e do milho.

A macroporosidade é responsável pela aeração do solo, que no ambiente cultivado foi inferior ao do fragmento de mata, porém, em um curto espaço de tempo com aplicação do manejo proposto neste estudo – safras 2015/2016 e 2016/2017 ocorreu aumento dos macroporos, caracterizando aumento da qualidade desse indicador. Entre os fatores estudados, percebeu-se maior macroporosidade com uso do milho no cultivo da soja (Tabela 2) e aplicação do adubo biológico no milho (Tabela 4).

Os efeitos da compactação em áreas cultivadas com as culturas da soja e milho podem ser evidenciados ao comparar com as características do solo do fragmento de mata, que apresentou menor densidade, maior macroporosidade e menor microporosidade. A relação entre a densidade e a macroporosidade observadas neste ensaio difere do relato de Jimenez et al. (2008), que observaram relação entre a

macroporosidade e densidade do solo, pois a medida que aumenta a compactação, diminui os espaços ocupados pelo ar nas camadas do solo. Para Andrade e Stone (2009), o ideal para solos cultivados é apresentar porosidade total próxima a 50 %, sendo este percentual distribuído em 34 % de macroporos e 66 % de microporos.

Na safra 2015/2016 o solo cultivado com milho e soja apresentou valores críticos de macroporos (Tabelas 2 e 4), pois segundo Silva et al. (2004), mesmo com valores considerados críticos de macroporos ($0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) a planta ainda consegue se desenvolver, entretanto, com grande restrição ao crescimento radicular.

Mesmo com tempo de avaliação, ocorreu aumento da macroporosidade do solo na safra 2016/17 (Tabelas 3 e 5), tendo os valores observados acima ou muito próximos desse valor crítico relatado por Silva et al. (2004). Conforme os mesmos autores, a macroporosidade abaixo de $0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ de solo prejudica as trocas gasosas do solo com a atmosfera, e por consequência, interfere no adequado desenvolvimento radicular das culturas. No estudo de Zhao et al. (2009), foi observado elevação da macroporosidade do solo com a utilização de restos vegetais e esterco orgânico em sistema de rotação de cultura de longa duração.

Na área cultivada com milho e soja ocorreu maior microporosidade em relação ao fragmento de mata. Já entre os fatores estudados, foi observado efeito benéfico do uso de milheto e crotalária, e menor microporosidade na camada de 0 a 0,10 m em relação ao pousio limpo. Na safra 2015/2016 o milheto reduziu a microporosidade no cultivo da soja e milho, enquanto que na safra 2016/17 os microporos foram menores com milheto e crotalária somente no cultivo do milho (Tabelas 2, 3, 4, e 5).

Os maiores valores de microporos ocorreram no pousio limpo. Neste ambiente geralmente apresenta maiores níveis de compactação, como justificado por Sousa Neto et al. (2008), onde relataram que a microporosidade do solo é bastante influenciada pelos níveis de compactação do solo. Tal comentário explica o fato desse indicador ter apresentado menores valores no fragmento de mata e nas parcelas com milheto e crotalária em relação ao pousio limpo.

A porosidade total do solo não sofreu efeitos dos fatores adubo biológico e coberturas de solo, com exceção da safra de milho 2015/16 (Tabela 4) que apresentou maior porosidade com adubo biológico. Em ambas as safras o fragmento de mata apresentou os maiores valores desse indicador em relação ao solo cultivado com soja e milho (Tabelas 2, 3, 4, e 5). Comportamento semelhante foi observado por Jakelaitis

et al. (2008), onde obtiveram a maior porosidade do solo no ambiente natural, seguido de um sistema de cultivo com milho, soja e *Brachiaria brizantha*. Rolssetti et al. (2012) verificaram maior porosidade do solo com uso de milho e menor porosidade com crotalária em relação a demais coberturas.

Os indicadores físicos são eficientes ferramentas para representar a qualidade do solo, principalmente os impactos ocasionados pelo tráfego de máquinas em áreas agrícolas. Jakelaitis et al. (2008) relataram que diversas propriedades físicas do solo, tais como a resistência a penetração, são sensíveis as alterações no solo do ambiente natural para uso agrícola.

O fragmento de mata apresentou menor resistência a penetração do que o ambiente cultivado com soja nas safras 2015/2016 e 2016/2017. Nesta última safra, o efeito das coberturas de solo foi mais evidente, tendo com o uso de milho e crotalária valores de resistência semelhantes aos observados no fragmento de mata (Tabelas 6 e 7).

Tabela 6. Resistência à penetração do solo cultivado com soja e submetido à adubação biológica (AB), coberturas do solo (COB) e testemunha (fragmento de mata), safra 2015/2016

AB	COB	Teste de Dunnett									
		0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50
		----- Resistência a penetração (MPa) -----									
	Milheto	3,76a	4,08a	4,83a	4,30b	3,55	3,55	3,02	2,59	2,27	2,05
Com	Crotalária	3,55a	4,19a	4,62a	4,51b	3,76	3,55	2,91	2,48	2,37	2,16
	Pousio limpo	4,19a	4,51a	5,05a	4,62b	3,76	3,55	3,12	2,69	2,48	2,16
	Milheto	3,12a	3,02b	3,98b	5,05a	3,34	3,12	3,02	2,69	2,27	2,05
Sem	Crotalária	3,02a	3,02b	3,55b	3,76b	3,44	3,27	2,91	2,80	2,59	2,16
	Pousio limpo	5,69a	4,30a	5,26a	4,83b	3,76	3,76	3,44	2,59	2,48	2,27
	Fragmento de mata	1,20b	1,41b	2,34b	3,23b	3,12	3,02	2,80	2,69	2,05	2,16
Adubo biológico		Teste de Tukey									
Com		3,84	4,26	4,83	4,48	3,69	3,55	3,02	2,59	2,37	2,12
Sem		3,92	3,44	4,26	4,55	3,51	3,57	3,12	2,69	2,45	2,16
Coberturas											
	Milheto	3,44b	3,55	4,41	4,67	3,44	3,34	3,02	2,64	2,27	2,05
	Crotalária	3,28b	3,60	4,08	4,14	3,60	3,39	2,91	2,64	2,48	2,16
	Pousio limpo	4,94a	4,41	5,15	4,73	3,76	3,66	3,28	2,64	2,48	2,21
	CV (%)	25,80	36,51	20,23	19,91	14,48	13,38	20,26	17,01	16,02	13,17

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$) e pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 7. Resistência à penetração do solo cultivado com soja e submetido à adubação biológica (AB), coberturas do solo (COB) e testemunha (fragmento de mata), safra 2016/2017

AB	COB	Teste de Dunnett									
		0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50
		----- Resistência a penetração (MPa) -----									
	Milheto	0,52b	2,00b	2,53b	2,80b	2,91b	2,69b	2,59b	2,21b	2,16	1,73b
Com	Crotalária	0,41b	2,21a	2,64b	2,91b	2,96b	2,64b	2,80a	2,59a	2,27	1,89b
	Pousio limpo	2,21a	2,75a	3,23a	3,44a	3,23a	2,91a	2,64b	2,27b	2,27	1,95b
	Milheto	1,52b	1,63b	2,53b	2,80b	2,85b	2,80a	2,86a	2,53b	2,21	1,89b
Sem	Crotalária	1,79a	2,05b	2,48b	2,96b	3,02a	2,80a	2,91a	2,53b	2,32	2,00b
	Pousio limpo	2,80a	2,53a	2,75a	2,85b	3,12a	3,07a	2,69b	2,43b	2,59	2,75a
	Fragmento de mata	1,20b	1,57b	2,00b	2,27b	2,48b	2,37b	2,32b	2,21b	2,27	2,00b
Adubo biológico		Teste de Tukey									
Com		1,63b	2,32a	2,80	3,05	3,03	2,75	2,68	3,36	2,23	1,86b
Sem		2,04a	2,07b	2,59	2,87	3,00	2,89	2,82	2,50	2,37	2,21a
Coberturas											
	Milheto	1,39b	1,81b	2,53	2,80	2,88	2,75ab	2,72	2,37	2,19	1,81b
	Crotalária	1,60b	2,13b	2,56	2,94	2,99	2,72b	2,86	2,56	2,29	1,95b
	Pousio limpo	2,51a	2,64a	2,99	3,15	3,18	2,99a	2,67	2,35	2,43	2,35a
	CV (%)	12,71	12,38	13,74	14,37	9,04	7,55	7,60	7,56	12,14	11,31

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Dunnett ($p \leq 0,05$) e pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Em análise da resistência a penetração da área cultivada com milho, percebeu-se que, as coberturas de solo tiveram notável influência sobre esse indicador. A resistência a penetração do cultivo de milho sobre milheto e crotalária não diferiu estatisticamente do fragmento de mata na camada de 0 a 0,05 m. Em razão do curto espaço de tempo das avaliações não foi observado efeito do adubo biológico. As influências do manejo proposto neste ensaio foram evidentes nas camadas do solo que compreendem de 0 a 0,30 m na safra 2015/2016 (Tabela 8), e 0 a 0,10 m na safra 2016/2017 (Tabela 9).

Tabela 8. Resistência a penetração do solo cultivado com milho submetido à adubação biológica (AB), coberturas do solo (COB) e uma testemunha (fragmento de mata), safra 2015/2016

AB	COB	Teste de Dunnett									
		0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50
		----- Resistência mecânica do solo a penetração (Mpa) -----									
	Milheto	2,37b	3,01a	3,87b	3,66b	3,55b	3,76b	3,55	2,69	2,27	1,84
Com	Crotalária	2,37b	3,23a	3,98b	4,19b	4,08a	3,98a	3,34	2,91	2,59	2,16
	Pousio limpo	2,91a	3,12a	4,41a	4,83a	4,08a	3,98a	3,44	3,02	2,48	2,27
	Milheto	2,16b	2,16b	2,80b	4,08b	3,76b	3,34b	3,12	2,80	2,48	2,16
Sem	Crotalária	2,05b	2,37b	3,76b	4,62a	3,87b	3,55b	3,44	2,80	2,37	1,84
	Pousio limpo	3,12a	3,34a	4,62a	3,98b	3,87b	3,66b	3,02	2,80	2,48	2,27
	Fragmento de Mata	1,20b	1,41b	2,37b	3,23b	3,12b	3,02b	2,80	2,69	2,05	2,16
Adubação Biológica		Teste de Tukey									
Com		2,55	3,12	4,08	4,23	3,91	3,91a	3,44	2,87	2,45	2,09
Sem		2,45	2,62	3,73	4,20	3,83	3,51b	3,19	2,80	2,45	2,09
Coberturas do solo											
	Milheto	2,27ab	2,59	3,34	3,87	3,66	3,55	3,34	2,75	2,37	2,00
	Crotalária	2,21b	2,80	3,87	4,41	3,98	3,76	3,39	2,86	2,48	2,00
	Pousio limpo	3,01a	3,23	4,51	4,41	3,98	3,82	3,23	2,91	2,48	2,27
	CV (%)	26,45	27,68	26,03	15,85	10,95	10,88	12,53	12,68	18,49	21,08

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$), e pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 9. Resistência a penetração do solo cultivado com milho submetido à adubação biológica (AB), coberturas do solo (COB) e uma testemunha (fragmento de mata), safra 2016/2017

		Teste de Dunnett									
AB	COB	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50
		----- Resistência mecânica do solo a penetração (Mpa) -----									
	Milheto	1,47b	1,73b	2,48	2,80	3,07a	2,69b	2,69b	2,27b	2,00	1,73
Com	Crotalária	1,63b	2,00b	2,48	2,86	3,07a	3,02a	2,69b	2,64b	2,16	1,79
	Pousio limpo	1,95a	2,37a	2,64	3,02	3,07a	3,23a	3,02a	2,75a	2,43	1,89
	Milheto	1,52b	1,84b	2,48	2,64	2,75b	2,80b	2,59b	2,48b	2,32	1,73
Sem	Crotalária	1,68b	2,16a	2,64	2,75	2,75b	2,48b	2,64b	2,16b	2,05	1,63
	Pousio limpo	1,79a	2,16a	2,43	2,96	2,53b	2,64b	2,69b	2,43b	2,27	1,73
	Fragmento de Mata	1,20b	1,57b	2,00	2,27	2,48b	2,37b	2,32b	2,21b	2,27	2,00
Adubação Biológica		Teste de Tukey									
Com		1,68	2,04	2,53	2,89	3,07a	2,98a	2,80	2,55	2,20	1,80
Sem		1,66	2,05	2,52	2,78	2,68b	2,64b	2,64	2,36	2,21	1,70
Coberturas do solo											
	Milheto	1,49b	1,79b	2,48	2,72	2,91	2,75	2,64	2,37	2,16	1,73
	Crotalária	1,65ab	2,08ab	2,56	2,80	2,91	2,75	2,67	2,40	2,11	1,71
	Pousio limpo	1,87a	2,27a	2,53	2,99	2,80	2,94	2,86	2,59	2,35	1,81
	CV (%)	16,67	14,40	16,13	17,66	10,24	8,94	8,17	9,51	15,48	17,06

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$), e pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

No sistema de cultivo agrícola em razão do tráfego de máquinas e implementos ocorreu aumento da compactação do solo, principalmente nas camadas mais superficiais do solo, o que não acontece no fragmento de mata natural. Um dos grandes problemas da formação de camadas compactadas no perfil do solo, é a restrição imposta ao desenvolvimento e crescimento do sistema radicular das plantas, podendo prejudicar até mesmo a absorção de água, nutrientes e as trocas gasosas do sistema solo-planta-atmosfera.

De acordo com Beutler et al. (2005), a resistência a penetração considerada ótima para o desenvolvimento da soja em campo é de 0,80 MPa. E como valores limitantes, Beutler et al. (2006) verificaram que 2,24 a 2,97 MPa em LATOSSOLO-VERMELHO promoveu redução de produtividade da soja, por impedir o

desenvolvimento radicular das plantas, em razão de um conjunto de fatores como, menor macroporosidade, baixa disponibilidade de nutrientes e hídrica. Pela forte relação que a resistência a penetração tem com a compactação do solo, considera-se limitante ao crescimento radicular das culturas valores acima de 2 MPa (Silva et al., 1994; Tormena, 1998).

Tendo este valor como crítico, os resultados verificados nas áreas cultivadas com soja e milho na safra 2015/2016 encontraram-se todos elevados (Tabela 6 e 8). Entretanto, na safra 2016/2017 os valores de resistência a penetração tiveram considerável redução, estando abaixo do valor limitante de 2 MPa, principalmente na camada superficial, de 0 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m com o uso do adubo biológico, milheto e crotalária (Tabela 7 e 9). Com base nesses resultados, verificou-se que em apenas duas safras foi possível obter melhoria na qualidade física do solo.

Os resultados observados neste estudo corroboram com Assis et al. (2014), que verificaram altos valores de resistência a penetração (acima de 2 MPa), onde o uso de milheto promoveu menor restrição ao desenvolvimento das raízes da cultura do milho em um sistema de sucessão de culturas.

Os benefícios que as coberturas vegetais promovem no solo são elencadas por FOLONI et al. (2006) e JIMENEZ et al. (2008), onde comentaram que o milheto tem capacidade de desenvolver o sistema radicular em profundidade, rompendo as camadas compactadas do solo, formando galerias após a decomposição das raízes, que além de fixar carbono, depositar material orgânico, facilita a infiltração de água e as trocas gasosas entre o solo e a atmosfera.

A capacidade de produção de fitomassa e a ciclagem de nutrientes estão entre as principais características observadas na escolha das plantas de cobertura do solo. A maior produção de massa seca foi observada no milheto, seguida da crotalária, em ambas as safras e das duas culturas. O tempo de meio vida representa o tempo necessário para que metade da massa seca das coberturas seja decomposta, que neste caso, o milheto também apresentou maior tempo de palhada sobre o solo (Tabela 10).

Tabela 10. Produção de massa seca, constante de decomposição (K) e tempo de meia vida ($T_{1/2}$) do milho e crotalária, safras de soja e milho 2015/2016 e 2016/2017

Adubo biológico	Área cultivada com soja		Área cultivada com milho					
	Safra 2015/2016	Safra 2016/2017	Safra 2015/2016	Safra 2016/2017				
	----- Produção de massa seca kg ha ⁻¹ -----							
Com	7,07	5,79b	7,58	5,45b				
Sem	8,02	6,88a	7,22	6,58a				
Coberturas								
Milheto	15,48a	13,63a	16,07a	12,57a				
Crotalária	7,16b	5,39b	6,13b	5,47b				
Pousio limpo	0,00c	0,00c	0,00c	0,00c				
CV (%)	29,11	16,83	23,60	18,28				
Constante de decomposição (K) e tempo de meia vida ($T_{1/2}$)								
Adubo biológico	Safra 2015/2016		Safra 2016/2017		Safra 2015/2016		Safra 2016/2017	
	K	$T_{1/2}$	K	$T_{1/2}$	K	$T_{1/2}$	K	$T_{1/2}$
Com	0,007	44,63	0,0056	57,47a	0,007	46,14	0,005b	66,74a
Sem	0,007	44,70	0,0067	49,27b	0,007	45,93	0,006a	55,26b
Coberturas								
Milheto	0,010b	72,29a	0,0071b	98,45a	0,009b	77,49a	0,006b	108,95a
Crotalária	0,011a	61,71b	0,0114a	61,66b	0,012a	60,61b	0,010a	74,05b
Pousio limpo	0,000c	0,00c	0,0000c	0,00c	0,000c	0,00c	0,000c	0,00c
CV (%)	11,70	11,56	11,84	13,83	28,33	24,45	17,61	16,47

Médias com letras iguais minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A cultura do milho apresentou elevada produção de palhada, necessitando de maior tempo para decomposição da mesma (Tabela 10). Estes resultados corroboram com os observados por Boer et al. (2008), que também observaram maior produção de massa seca e tempo de meia vida do milho, sendo justificado pela maior relação C/N em relação a crotalária. Segundo Carneiro et al. (2008), a ciclagem de nutrientes é importante para a manutenção da qualidade química do solo.

Esta é uma das principais características das coberturas de solo para agricultura, sendo uma prática conservacionista que permite a realização do plantio direto (Carneiro et al., 2008), que geralmente é realizada na sucessão soja e milho. Como foi observado tanto no cultivo da soja como do milho, em ambas as safras, o milho e a crotalária favoreceram a manutenção da umidade no solo, aumentaram a

macroporosidade e contribuíram para a redução da resistência a penetração. Por isso, Jimenez et al. (2008) recomendaram a implantação de milheto como cobertura de solo em áreas compactadas, por ser uma planta com sistema radicular agressivo capaz de romper as camadas compactadas do solo.

Nas duas safras de soja e milho, considerando o milheto e a crotalária, foi observado o tempo médio de meia vida da palhada de 57 e 71 dias, respectivamente, onde essas diferenças ocorreram devido as condições climáticas de cada ano. Na safra 2016/2017 foi observado maior tempo de meia vida das coberturas, mesmo com maiores médias de precipitação e temperatura (Figura 1). Tais resultados estão próximos ao observados por Carneiro et al. (2008), que considerando todas as plantas de cobertura utilizadas, observaram tempo de meia vida médio de 67 dias. Para estes autores, condições de elevada precipitação e temperatura são fatores que influenciam diretamente no aumento da taxa de decomposição dos resíduos orgânicos.

Todos os benefícios citados acima referentes as coberturas refletiram em incrementos de produtividade de grãos. Na safra 2015/2016, a soja não apresentou respostas aos fatores, porém, o milho foi mais produtivo quando cultivado sobre crotalária. Já na safra 2016/2017, em ambas as culturas a produtividade foi maior nos tratamentos com as coberturas de solo, isso indica que, além de aumentar a qualidade física do solo, este manejo conservacionista também promove incrementos em produtividade. Devido ao curto tempo de implantação do manejo com adubação biológica não foi verificado efeitos dessa pratica na produtividade da soja e do milho (Tabela 11).

Tabela 11. Produtividade de grãos da cultura da soja e do milho em função da adubação biológica e coberturas de solo, safras 2015/2016 e 2016/2017

Adubo biológico	Soja		Milho	
	Safra 2015/2016	Safra 2016/2017	Safra 2015/2016	Safra 2016/2017
----- Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) -----				
Com	3.020,28	3.890,60	5.745,76	7.839,69
Sem	3.039,77	3.688,58	6.034,09	7.750,78
Coberturas				
Milheto	3.028,93	3.833,25ab	5.754,11ab	8.206,88a
Crotalária	3.080,17	4.047,04a	6.251,19a	8.217,50a
Pousio limpo	2.980,98	3.488,48b	5.664,47b	6.961,32b
CV (%)	10,00	10,50	7,44	10,70

Médias com letras iguais minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A fitomassa produzida pelas plantas de cobertura, após o processo de decomposição, podem mineralizar no solo nutrientes essenciais as plantas, tais como nitrogênio e potássio (Carneiro et al., 2008). Neste aspecto, Andreotti et al. (2008) observaram maior produtividade do milho cultivado sobre restos culturais de crotalária em relação ao milheto, que por ser uma leguminosa a crotalária pode fixar nitrogênio atmosférico no solo, mineralizando gradualmente durante o ciclo do milho.

Com isso, foram evidentes os benéficos desta proposta de manejo com adubação biológica e plantas de coberturas do solo, pois melhoraram as propriedades físicas do solo, refletindo em incrementos de produtividade da cultura da soja e do milho. Deste modo, pode-se aliar a conservação da qualidade do solo ao aumento de produtividade das culturas agrícolas, em prol da sustentabilidade dos agroecossistema.

CONCLUSÕES

A adubação biológica e as plantas de cobertura melhoraram a qualidade física, aumentando a porosidade do solo na safra 2016/17.

O milheto e a crotalária incrementaram a produtividade da cultura da soja na safra 2016/17 e do milho nas duas safras estudadas.

Em razão do curto prazo de avaliação deste experimento, a adubação biológica não interferiu no desempenho agrônomo da soja e do milho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade RS, Stone LF. Índice S como indicador da qualidade física de solos. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* 2009;13:382-388.

Andreotti M, Araldi M, Guimarães VF, Junior EF, Buzetti S. Produtividade do milho safrinha e modificações químicas de um Latossolo em sistema plantio direto em função de espécies de cobertura após calagem superficial. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 2008;30:109-115. DOI: 10.4025/actasciagron.v30i1.1158.

Assis EB, Nunes MCM, Barelli MAA, Junior SSJ, Serafim ME. Resistência à penetração em Argissolo Vermelho-Amarelo sob pousio e diferentes culturas de cobertura. *Enciclopédia Biosfera*, 2014;10:1699-1677.

Beutler AN, Centurion JF, Roque CG, Ferraz MV. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 2005;29:843-849. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000600002>.

Beutler AN, Centuriuon JF, Centurion MAPC, Silva AP. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 2006;30:787-794. DOI: 10.1590/S0100-06832006000500004.

Boer CA, Assis RL, Silva JP, Braz AJBP, Barroso ALL, Filho AC, Pires FR. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região centro-oeste do Brasil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 2008;32:843-851. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000200038>.

Carneiro MAC, Cordeiro MAS, Assis PCR, Moraes ES, Pereira HS, Paulino HB, Souza ED. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de Cerrado. *Bragantia*. 2008;67:455-462.

Cherubin MR, Eitelwein MT, Fabbris C, Weirich SW, Silva RF, Silva VR, Basso CJ. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 2015;39:615-625. DOI:10.1590/01000683rbc20140462.

Chioderoli CA, Mello LMM, Grigolli PJ, Furlani CEA, Silva JOR, Cesarin AL. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* 2012;16:37-43. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000100005>.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Décimo levantamento, Safra 2016/2017. 10ª ed., Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB; 2017.

Cunha EQ, Stone LF, Ferreira EPB, Didonet AD, Moreira JAA. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. *Rev. bras. eng. agríc. ambiente.* 2012;16:56-63. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000100008>.

Embrapa. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2011.

Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ª ed. Brasília: Embrapa informação tecnológica; 2013.

Foloni JSS, Lima SL, Bull LT. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo.* 2006;30:49-57. DOI:10.1590/S0100-06832006000100006.

Jakelaitis A, Silva AA, Santos JB, Vivian R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. *Pesqui Agropecu Trop*, 2008;38:118-127.

Jimenez RL, Gonçalves WG, Araújo Filho JV, Assis RL, Pires FR, Silva GP. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* 2008;12:116-121. DOI:10.1590/S1415-43662008000200002.

Medeiros MB, Lopes JS. Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. *Bahia Agríc.* 2006;7:24-26.

Paul EA, Clark FE. *Soil microbiology and biochemistry.* San Diego: Academic Press, Inc. 1989.

Rossetti KV, Andrioli I, Centurion JF, Matias SSR, Nóbrega JCA. Atributos físicos do solo em diferentes condições de cobertura vegetal em área de plantio direto. *Rev. Bras. Ciênc. Agrár.* 2012;7:427-433. DOI:10.5039/agraria.v7i3a1681.

Sá MAC, Santos Junior JDG. Considerações teóricas sobre o cálculo de resistência mecânica do solo a penetração determinada com penetrômetros dinâmicos. 1ª ed. Brasília: Embrapa Cerrados; 2007. (Documentos, 200).

Silva FAS, Azevedo CAV. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. Afr. J. Agric. Res. 2016;11:3733-3740. DOI: 10.5897/AJAR2016.11522

Silva AP, Imhoff S, Kay B. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. Sci. agric. 2004;61:451-456. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162004000400016>.

Silva AP, Kay BD, Perfect E. Characterization of the least limiting water range. Soil Sci. Soc. Am. J., 1994;58:1775-1781. DOI:10.2136/sssaj1994.03615995005800060028x.

Sousa DMG, Lobato E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2ª ed. Brasília: Embrapa Cerrados; 2004.

Sousa Neto EL, Andrioli I, Beutler AN, Centurion JF. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. Pesqui Agropecu Bras, 2008;43:255-260. DOI: 10.1590/S0100-204X2008000200015.

Stolf F. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 1991;15:229-235.

Teixeira MB, Loss A, Pereira MG, Pimentel C. Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milheto e sorgo. Rev. Bras. Ciênc. Solo, 2011;35:867-876. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000300021>.

Tormena CA. Caracterização e avaliação do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo [Tese]. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo; 1998.

Wieder RK, Lang GE. Critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. Ecology, 1982;63:1636-1642. DOI: 10.2307/1940104.

Zhao Y, Wang P, Li J, Chen Y, Ying X, Liu S, The effects of two organic manures on soil properties and crop yields on a temperate calcareous soil under a wheat–maize cropping system. *Eur J Agron*, 2009;31:36-42. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2009.03.001>.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os indicadores de qualidade ambiental do solo foram eficientes para refletir as alterações no ambiente cultivado com a cultura da soja e do milho, onde as propriedades físicas e microbiológicas do solo apresentaram maior qualidade no fragmento de mata comparado com o solo agrícola. Os indicadores químicos apresentaram maior qualidade no solo da área experimental, devido ao uso de corretivos e fertilizantes sintéticos para suprir as necessidades nutricionais das culturas.

Em razão do curto tempo de avaliação do manejo com adubação biológica, não foi observado efeitos na produtividade da soja e do milho, entretanto, melhorou a qualidade física, química e principalmente a microbiologia do solo.

Ocorreu incrementos na produtividade da soja e do milho quando ambas foram cultivadas sobre restos vegetais de milho e crotalária, que também melhoraram a qualidade física, química e microbiológica do solo.

Portanto, o adubo biológico e as plantas de cobertura do solo são opções para o manejo no sistema de produção agrícola, que promoveram incrementos na produtividade das culturas visando a qualidade do solo. Sua utilização em longo prazo pode contribuir para que a agricultura do Estado de Mato Grosso seja realizada em um agroecossistema mais produtivo e menos impactante ao ambiente. Na busca por novos resultados, outros trabalhos poderão ser realizados em diferentes Regiões do Estado ou do País, considerando diferentes classes de solo.