

ATRIBUTOS FÍSICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMAS CONSORCIADOS.

Talita Maia Freire¹, Michele Ribeiro Ramos², Danilo Marcelo Aires dos Santos³, Lorena dos Santos Campos⁴

RESUMO:

A ocupação e utilização de áreas agrícolas necessitam da adoção de novas tecnologias fundamentadas em bases conservacionistas como: o plantio direto, a rotação de culturas e a integração agricultura-pecuária. Dessa forma, objetiva-se avaliar os atributos físicos e biológicos do solo sob diferentes sistemas de cultivo agrícola. O experimento foi desenvolvido no município - Palmas, TO. Para as amostras físicas foram coletadas amostras indeformadas de solo e foram realizadas as seguintes análises: porosidade total, densidade aparente e condutividade hidráulica de acordo com EMBRAPA (2011). Foram realizadas duas coletas para determinação dos atributos biológicos, a primeira quando a soja estava no estágio R1 e o milho em V10, e a última antes da colheita. A Respiração microbiana do solo (RMS) foi determinada pelo método da captura, em solução de NaOH, do CO₂ evoluído do solo com uso de câmaras de incubação. A biomassa microbiana do solo (BMS), foi determinada pelo método da Respiração Induzida pelo Substrato (RIS). Não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos em relação aos atributos físicos do solo na segunda coleta de solo, com isso percebe-se que as diferentes plantas de cobertura não alteraram as propriedades físicas do solo. Diferenças estatísticas não foram observadas em relação a respiração microbiana, quando comparamos a média geral dos tratamentos entre as duas coletas na cultura da soja, já para biomassa microbiana existe diferença estatística entre os tratamentos nas coletas. Na cultura do milho quando se compara as duas coletas de solo para os atributos biológicos, percebe-se que ocorre diferença estatística entre a média geral dos tratamentos em relação a respiração microbiana, já para a biomassa não foram observadas diferenças estatísticas quando comparamos a média geral dos tratamentos nas coletas.

Palavras-chave: adubo verde, densidade, microrganismo, cobertura vegetal

PHYSICAL AND BIOLOGICAL ATTRIBUTES OF SOIL IN INTERCROPPING SYSTEMS.

ABSTRACT:

The occupation and use of agricultural areas require adopting new technologies based on conservationist bases such as direct planting, crop rotation, and agriculture-livestock integration. Therefore, the objective is to evaluate the physical and biological attributes of the soil with different agricultural cultivation systems. The experiment was carried out in the city of Palmas, state of Tocantins. For physical samples, undisturbed soil samples were collected and the following analyzes were carried out: total porosity, apparent density, and hydraulic conductivity according to EMBRAPA (2011). There were two collections to determine biological attributes, the first one when soybeans were at stage R1 and corn at V10, and the last one before the harvest. Soil microbial respiration (SMR) was determined by capturing, in a NaOH solution, the CO₂ evolved from the soil using incubation chambers. Soil microbial biomass (SMB) was determined by the Substrate Induced Respiration (SIR) method. There were no statistical differences between the treatments in the physical

¹Engenheira agrônoma pela Universidade Estadual do Tocantins, Mestre em Agroenergia pela Universidade Federal do Tocantins, Palmas - TO; talitamaiafreire@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1890-3625>. ² Professora Doutora efetiva da Universidade Estadual do Tocantins do curso de Engenharia agrônômica, Palmas – TO; michele.rr@unitins.br <https://orcid.org/0000-0002-4818-4713>. ³ Professor Doutor efetivo da Universidade Estadual do Tocantins do curso de Engenharia agrônômica, Palmas – TO; danilo.ma@unitins.br; <https://orcid.org/0000-0002-6804-1437>. ⁴ Engenheira agrônoma pela Universidade Estadual do Tocantins. Assistente Agrícola da Manserv; loreennasantoscampos@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5254-7804>

attributes of the soil and in the second soil collection. Therefore, it is clear that the different cover crops did not alter the soil's physical properties. There were not any statistical differences about microbial respiration when we compared the general average of treatments and the two collections in the soybean crop. In contrast, for microbial biomass, there is a statistical difference between the treatments in the collections. In the corn crop, when comparing the two soil collections for biological attributes, there was a statistical difference between the general average of the treatments and the microbial respiration. In contrast, for biomass, there were no statistical differences when we compared the general average of the treatments and their samples.

Keywords: green manure, density, microorganism, vegetation cover

INTRODUÇÃO

De modo geral, o solo mantido em estado natural sob vegetação nativa, apresenta características físicas, como permeabilidade, estrutura, densidade do solo e porosidade adequada ao desenvolvimento normal de plantas (Andreola et al., 2000). Nessas condições, o volume de solo explorado pelas raízes é relativamente grande. No entanto, o uso intensivo de áreas no Cerrado para a produção agropecuária, como o plantio convencional (PC), pode acarretar em degradação física mais expressivas do que o sistema de plantio direto (PD) devido a maior intensidade do tráfego de máquinas agrícolas e redução da macroporosidade em decorrência do destorroamento do solo (Oliveira et al., 2015).

Na contramão dos sistemas intensivos de manejo, a pesquisa agrícola tem desenvolvido práticas de manejo conservacionistas, com tecnologias fundamentadas no mínimo revolvimento do solo, manutenção da cobertura vegetal sobre o solo e a adoção de sistemas de culturas diversificadas, como rotação, sucessão, consórcio.

Vários trabalhos demonstram que o tipo de exploração agrícola afeta alguns atributos físicos de solo (Andreola et al., 2000). Os sistemas de rotação de culturas sob plantio direto, incluindo espécies com sistema radicular robusto e com diferentes quantidades de fitomassa, podem alterar as propriedades físicas e químicas do solo (Albuquerque et al., 2001).

Por outro lado, a compactação de solo pode reduzir a produtividade de culturas, sendo a cultura de milho considerada sensível a esse processo (Albuquerque et al., 2001). As propriedades densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade do solo têm sido usadas para indicar restrições ao desenvolvimento de plantas. A compactação do solo reduz o crescimento de plantas principalmente quando o suprimento de água e nutrientes é insuficiente, fato observado quando as raízes se desenvolvem acima de camadas compactadas, podendo ter consequências nos atributos biológicos (Unger & Kaspar, 1994).

As propriedades biológicas do solo, tais como: a atividade enzimática, a respiração microbiana do solo e a biomassa microbiana do solo, são indicadores sensíveis que podem ser utilizados no monitoramento de alterações ambientais decorrentes do uso agrícola, sendo ferramentas para orientar o

planejamento e a avaliação das práticas de manejo utilizadas (Doran & Parkin, 1994).

Os microrganismos do solo atuam nos processos de decomposição da matéria orgânica, participando diretamente no ciclo biogeoquímico dos nutrientes e, conseqüentemente, mediando a sua disponibilidade no solo. Assim, a biomassa microbiana total do solo funciona como importante reservatório de vários nutrientes das plantas (Grisi & Gray, 1986), pois pertence ao componente lábil da matéria orgânica do solo, e possui atividade influenciada pelas condições bióticas e abióticas, o que permite que o seu acompanhamento reflita possíveis modificações no solo, podendo ser considerada como uma boa indicadora das alterações resultantes do manejo do solo. As mudanças nas propriedades microbiológicas causadas pelo preparo do solo e sucessão de culturas podem ser detectadas anteriormente às mudanças nos teores de C e N total do solo (Balota, 1997). Neste contexto, a biomassa microbiana do solo (BMS) pode ser utilizada para indicar o nível de degradação do solo (Doran & Parkin, 1994).

Embora bastante explorados nos mais diversos sistemas de produção, dados sobre esses indicadores ainda são escassos em sistemas de produção agroecológicos, principalmente no Cerrado brasileiro (Ferreira et al., 2017).

No solo, existem diversas inter-relações entre os atributos físicos, químicos e biológicos que controlam os processos e os aspectos relacionados à variação do solo no tempo e no espaço. Assim, qualquer alteração no solo pode alterar diretamente sua estrutura e atividade biológica e, conseqüentemente, sua fertilidade, com reflexos nos agroecossistemas, podendo promover prejuízos à qualidade do solo e à produtividade das culturas. Diante disso, a variação desses atributos, determinada pelo uso e manejo do solo, e sua avaliação são importantes para a adequação do melhor manejo visando à sustentabilidade do sistema.

Com base nessas afirmações, no segundo semestre de 2016 foi institucionalizado na UNITINS uma estação de pesquisa denominada Estação ABC. Esta estação tem como finalidade desenvolver projetos técnicos e científicos que contemplam estratégias para a promoção de uma agricultura com práticas conservacionistas e, dessa forma, contribuir na redução da emissão de gases de efeito estufa e na sustentabilidade na agricultura do Estado. Os objetivos e metas da Estação ABC está em

consonância com os compromissos estabelecidos pela agenda 2030 da ONU, que engloba as ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) - Fome zero e agricultura sustentável. Dessa forma, objetivava-se avaliar os atributos físicos por meio da determinação da densidade aparente (DS), porosidade total (PT) e condutividade hidráulica do solo (KS) e os atributos biológicos por meio da determinação da biomassa microbiana do solo (BMS), respiração microbiana do solo (RMS) e o quociente metabólico do solo sob diferentes sistemas de cultivo agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no município de Palmas/TO, caracterizado por um clima tropical, com predominância de chuvas no verão e inverno seco. A classificação climática é o tipo Aw segundo a Köppen e Geiger. A temperatura média anual do município é de 26,7 °C, com pluviosidade média anual de 1.760 mm.

A vegetação original do local era característica do Cerrado. Depois do desflorestamento a área ficou em repouso, tendo

ocorrido a regeneração de algumas espécies, e posterior foi realizada a supressão dessa vegetação. O experimento foi implantado no segundo semestre de 2017, sendo a área cultivada com soja e milho e com diferentes plantas de cobertura do solo, compondo os seguintes tratamentos: Soja em plantio convencional (PC), semeadura simultânea (SeSi) de braquiária Mulato II + Soja, Soja com sobressemeadura (SoSe) de crotalária, Soja com sobressemeadura (SoSe) de braquiária Mulato II e Soja com sobressemeadura (SoSe) de milho. E nas parcelas cultivadas com milho: Milho em plantio convencional (PC), semeadura simultânea (SeSi) de braquiária Mulato II + Milho, Milho com sobressemeadura (SoSe) de crotalária, Milho com sobressemeadura (SoSe) de crotalária + milho e Milho com sobressemeadura (SoSe) de milho (Tabela 1). Os tratamentos foram distribuídos em delineamento em blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro repetições, sendo as parcelas compostas com soja e milho e as subparcelas pelos sistemas de manejo das plantas de cobertura (Figura 1). A cultivar de soja utilizada foi a CD 2728 IPRO e a de milho foi a 2A521 PW.

Tabela 1. Tratamentos implantados na área para análise dos atributos do solo

Num Tratamento	Parcela: Soja	Num Tratamento	Parcela: Milho
1	Soja em PC	16	Milho em PC
2	SeSi = Mulato II + Soja	17	SeSi = Mulato II + Milho
3	SoSe = Crotalária + Soja	18	SoSe = Crotalária + Milho
4	SoSe = Mulato II + Soja	19	SoSe = Crotalária + Milheto + Milho
5	SoSe = Milheto + Soja	20	SoSe = Milheto + Milho

PC: plantio convencional; SeSi: Semeadura simultânea; SoSe: sobressemeadura

Foram classificados três perfis de solo: Perfil 1 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plúntico, Perfil 2 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plúntico e

Perfil 3 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, classificados de acordo com Embrapa (2013) (Figura 2).

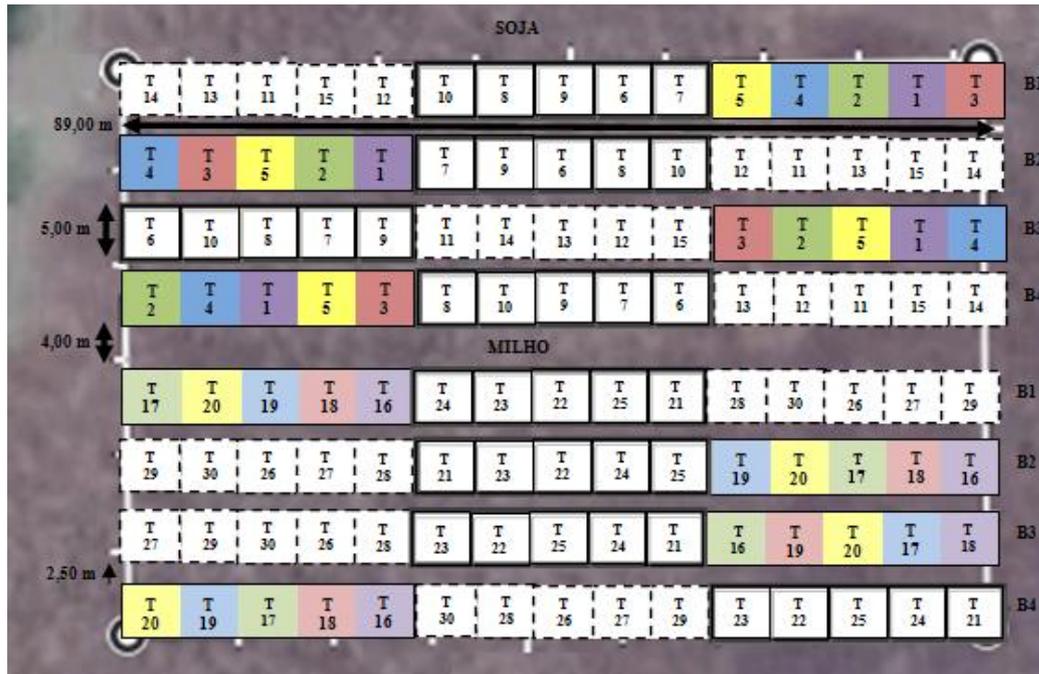


Figura 1. Croqui dos tratamentos que foram implantados na área para análise dos atributos do solo

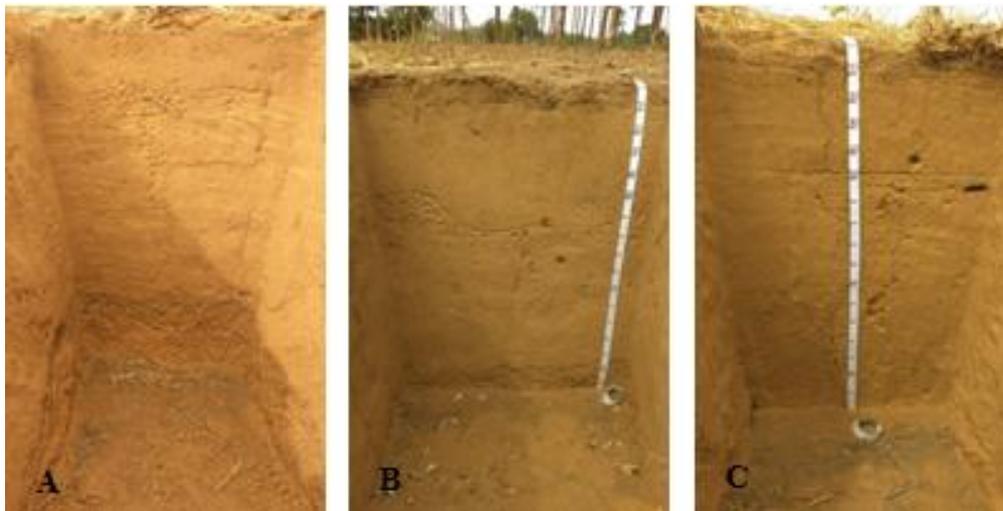


Figura 2. Trincheiras - (Fotos: Michele R. Ramos): A) Perfil 1 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plúntico A moderado relevo plano, B) Perfil 2 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plúntico horizonte A moderado relevo plano e C) Perfil 3 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico

A caracterização dos atributos físicos do solo anterior à implementação do experimento é apresentada na Tabela 2. O preparo inicial da área para a implantação do plantio direto foi realizado em novembro de 2017, com aplicação de 3 mg ha⁻¹ de calcário. Após esse preparo a área seguiu em manejo de plantio direto. A semeadura do milho foi realizada dia 12 de dezembro de 2017 com semeadora-adubadora desenvolvida para o sistema plantio direto,

com espaçamento de 0,50 m entre linhas e densidade de semeadura de 3,5 sementes/m⁻¹ (65 mil plantas ha⁻¹). Antes da semeadura, as sementes de milho foram inoculadas com bactérias do gênero *Azospirillum* que colonizam as raízes das plantas e tem como principal característica a produção de fitohormônios em todo o ciclo da cultura através do produto comercial Azototal (2 mL kg⁻¹ semente).

Tabela 2. Atributos físicos do solo durante a caracterização da área de estudo

Horizonte	Espessura cm	Densidade Aparente g cm ⁻³	Porosidade Total cm ³ cm ⁻³	Condutividade Hidráulica cm h ⁻¹
P1 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plíntico				
A	0 - 17	1,47	0,54	41,46
AB	17 - 60	1,53	0,50	21,39
B ₁	60 - 130	1,47	0,52	24,41
B ₂	130 - 175 ⁺	1,38	0,55	22,49
P2 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plíntico				
A	0 - 10	1,18	0,62	167,50
B ₁	60 - 145	1,39	0,57	21,09
P3 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico				
A	0 - 10	1,26	0,59	169,92
BA	10 - 49	1,39	0,56	33,74

Na adubação de semente foram aplicados 200 kg ha⁻¹ da formulação 7-40-00. A adubação de cobertura no milho foi realizada no estágio de desenvolvimento V4, sendo aplicado 85 kg ha⁻¹ de N como fonte sulfato de amônia, e 120 kg ha⁻¹ de K₂O como fonte cloreto de potássio. Na mesma época também foi realizada a sobressemeadura a lanço para os tratamentos com consórcio de crotalária (16 kg ha⁻¹); milheto (4 kg ha⁻¹) + crotalária (8 kg ha⁻¹) e milheto (8 kg ha⁻¹), no tratamento com braquiária em semente simultânea aplicou 5 kg ha⁻¹ de sementes viáveis de braquiária.

A semente da soja também foi realizada em 12 de dezembro com semeadora-adubadora desenvolvida para o sistema plantio direto com espaçamento de 0,50 cm entre linhas e densidade de semente de 24 sementes/m⁻¹ (240 mil plantas ha⁻¹). Na área cultivada com a soja, seguiu o mesmo quantitativo de sementes, porém o tratamento em semente simultânea com braquiária foi realizado em sobressemeadura quando a soja estava em V8, para evitar a competição com a cultura, aos demais consórcios as sementes foram distribuídas quando a soja estava em R5, descrição dos tratamentos estão apresentados na Tabela 1.

Após 35 dias de germinação das culturas foram feitas coletas para análises biológicas com o auxílio do trado nas parcelas (T1, T2, T3, T4 e T5) da soja (em R1) e nas parcelas (T16, T17, T18, T19 e T20) do milho (em V10), onde foram coletadas seis subamostras no horizonte superficial (0-20 cm), por tratamento para tirar uma amostra composta, sendo representativo do tratamento.

Atributos Físicos

Para análise física (EMBRAPA, 2011) foram coletadas amostras indeformadas de solo em todos os tratamentos. Após a coleta, as amostras foram encaminhadas para o laboratório, onde foram realizadas as seguintes análises: porosidade total, densidade aparente e condutividade hidráulica. Foram realizadas duas coletas para determinação dos atributos físicos no solo sob cultivo de milho, a primeira ocorreu antes da implantação das culturas, visto que a área ainda não tinha sido compactada pelos maquinários utilizados no preparo do solo e semente, e a última foi realizada no horizonte superficial uma semana antes da colheita, pois o intuito era que a coleta ocorresse antes da área ser compactada e/ou pisoteada pelas máquinas e/ou pessoas.

A porosidade total foi calculada considerando o conteúdo de água do solo saturado. Após a saturação, as amostras foram pesadas, e posteriormente levadas para secagem em estufa a 105 °C por 48 horas e novamente pesadas de acordo com metodologia preconizada por EMBRAPA (2011).

Nas mesmas amostras de solo, a densidade foi determinada considerando a razão da massa de solo pelo volume do anel volumétrico. Onde foi verificado o peso úmido e posteriormente seco em estufa a 105°C até peso constante. De acordo com metodologia preconizada por EMBRAPA (2011).

A condutividade hidráulica foi determinada de acordo com EMBRAPA (2011). Amostras saturadas foram colocadas em permeâmetro de carga constante, e a medida quantitativa da condutividade

hidráulica foi obtida através da aplicação da equação de Darcy após 7 - 8 horas, ou quando os valores atingem a estabilidade.

Atributos biológicos

Houve duas coletas para determinação dos atributos biológicos, a primeira quando a soja estava no estágio fenológico R1 e o milho em V10, e a última uma semana antes das culturas serem colhidas.

Para a determinação da respiração microbiana do solo foi utilizada a metodologia de respiração do solo em sistema estático, método de (Alef, 1995).

Foram pesados 50 g de solo úmido para determinar a massa de solo seco, posteriormente foi levado para estufa de secagem a 105°C por 24 horas. Foi necessário determinar a capacidade de retenção de água (CRA) e corrigir a umidade para 60% da CRA, com água destilada.

Após a correção da umidade do solo foi pesado 100 g de solo úmido, previamente tamisado, em peneira número 10 (abertura de 2,00 mm), em triplicata, e transferido para um frasco de plástico com tampa hermética. Dentro do frasco de plástico foi posto um copinho plástico de 75 mL contendo 15 mL de NaOH 0,5 mol L⁻¹ padronizado para capturar o CO₂ produzido e outro copinho plástico contendo 10 mL de água destilada para manter a umidade do ambiente.

Também foi realizada a prova em branco, que corresponde a um frasco de plástico contendo apenas um copinho plástico com 15 mL de NaOH 0,5 mol L⁻¹ padronizado e outro contendo 10 mL de água destilada.

Os frascos foram fechados hermeticamente e incubados em estufa a 25°C por uma semana (168 h). Após o período de incubação, foi retirado dos frascos de plástico os copinhos contendo NaOH e a solução foi transferida para um erlenmeyer de 125 mL onde foi adicionado 1,0 mL de BaCl₂ (50%) e duas gotas de fenolftaleína. Após a padronização, a solução foi titulada com HCl 0,5 mol L⁻¹ e anotado a quantidade de ácido consumida.

Foi utilizada a metodologia de Respiração Induzida pelo Substrato (RIS) (Anderson & Domsch, 1978), onde foram pesados 50 g de solo úmido para determinar a massa de solo seco, a amostra foi seca em estufa a 105 °C por 24 horas. Foi necessário determinar a capacidade de retenção de água (CRA) e corrigir a umidade para 60% da CRA, com água destilada.

Após a correção da umidade do solo, foi pesado 50 g de solo úmido, que foi transferido para um frasco de plástico, com três repetições. Em cada amostra de solo foi acrescentado 60 mg de glicose anidra diluída em água destilada, calculada de acordo com a quantidade de água necessária para correção da umidade do solo para 60%. O solo e a glicose foram devidamente homogeneizados com um bastão de vidro, e os potes fechados hermeticamente e pré-incubados em estufa a 22°C por 2 h.

Após o período de incubação, foi colocado no frasco de plástico um copinho plástico contendo 10 ml de NaOH 0,25 mol L⁻¹, e foi incubado novamente em estufa a 22°C por 4 h. Também foi realizado a prova em branco contendo apenas um frasco de plástico e um copinho com 10,0 mL de NaOH 0,25 mol L⁻¹.

Após o período de incubação, foi transferido o NaOH 0,25 mol L⁻¹ do copinho plástico para um erlenmeyer de 125 mL, onde foi adicionado 0,5 ml de BaCl₂ 50% e duas gotas de fenolftaleína 0,1%. E por fim a solução foi titulada com HCl 0,25 mol L⁻¹ e anotado a quantidade de ácido consumida. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) no programa SISVAR 5.1 e as médias comparadas pelo teste Tukey (p < 0,05).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de cultivo

Os valores encontrados na coleta final, no horizonte superficial, foram superiores aos da época de caracterização da área (Tabela 2) antes da implantação do experimento para variável densidade aparente do solo, provavelmente pelo o uso dos implementos agrícolas utilizados para preparo da área e implantação do experimento, o que tornaram o solo mais compactado. Já que o solo não se encontrava com a umidade ideal na época do preparo inicial.

As pressões exercidas pelas máquinas e implementos podem causar um rearranjo dos componentes sólidos do solo, desestruturando e compactando-o, diminuindo sua porosidade. A compactação por sua vez, pode elevar a densidade e reduzir o volume de poros do solo, resultando em redução da infiltração e perda da condutividade hidráulica (Haruna et al., 2018).

Além da classe de solo, a condição de umidade de solo, na qual são realizadas as operações de preparo, semeadura, tratamentos fitossanitários e

colheita, é fundamental no comportamento da densidade do solo em diferentes sistemas de manejo. Outro ponto que deve ser considerado é que nos primeiros anos de implantação do plantio direto, devido ao não revolvimento do solo é comum o aumento da densidade na camada superficial (Seixas et al. 2005).

No que tange aos atributos físicos do solo, na segunda coleta não foram identificadas diferenças estatísticas entre os tratamentos (Tabela 3) para as variáveis: densidade aparente do solo, porosidade total e condutividade hidráulica. Com isso percebe-se que as diferentes plantas de cobertura não alteraram as propriedades físicas do solo.

Tabela 3. Atributos físicos do solo (densidade do solo – DS, porosidade total – PT e condutividade hidráulica – Ks) na cultura do milho.

P>F	Tratamentos CV (%)	DS (g cm ³)	PT (cm ³ cm ³)	Ks (mm h ⁻¹)
		0,75	0,13	0,93
		6,34	5,88	50,61
Tratamentos		-----Tukey-----		
	T16 - Milho SC	1,54 a	0,46 a	7,60 a
	T17 - SeSi = Mulato II + Milho	1,50 a	0,47 a	6,26 a
	T18 - Sose = Crotalária + Milho	1,46 a	0,50 a	7,46 a
	T19 - SoSe = Crotalária + Milheto + Milho	1,54 a	0,46 a	6,25 a
	T20 - SoSe = Milheto + Milho	1,49 a	0,50 a	6,04 a

** - significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F. * - significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Cunha et al. (2011) também constataram que na camada superficial, a utilização de diferentes plantas de coberturas não mostrou efeitos sobre a densidade e porosidade do solo na cultura do milho, sendo um resultado análogo a esse estudo.

A condutividade hidráulica é dependente da forma e continuidade do sistema poroso, sendo um parâmetro que representa a facilidade com que a água se desloca no solo/rocha (Pinheiro et al., 2018). Nesse sentido, a determinação desse atributo do solo é fundamental para avaliar os diferentes sistemas de uso e manejo na dinâmica da água no solo (Qiao et al., 2018).

Existem sistemas de uso e manejo que afetam negativamente a estrutura do solo, expondo aos fatores abióticos, promovendo a perda da sua qualidade física, ocasionando erosão, perda de nutrientes, adensamento das camadas e redução da condutividade hidráulica do solo (Ramos et al., 2017). Alguns estudos demonstram que o sistema de cultivo convencional melhora a condutividade hidráulica do solo no curto prazo, tendo em vista que com o revolvimento do solo, a quantidade de macroporos aumenta (Ferreira et al., 2022).

Atributos biológicos do solo em diferentes sistemas de cultivo na cultura da soja

Em relação respiração microbiana do solo na área cultivada com a soja, não se obteve diferença entre os tratamentos avaliados em nenhuma das avaliações (Tabelas 4 e 5). Balota et al. (1998) também não encontrou diferenças estatísticas para essa variável, conforme a sucessão de culturas, corroborando com o resultado do presente trabalho. Contudo, vale destacar que os valores de respiração microbiana do solo descritos pela literatura são bastante variados.

A biomassa microbiana do solo em ambas as coletas de solo na área cultivada com soja, também não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos (Tabelas 4 e 5). Os valores da biomassa microbiana do solo indicam o potencial de reserva de carbono no solo, que participa do processo de humificação. Portanto, permite inferir o acúmulo ou a perda de carbono em função de determinado manejo: quanto maior a biomassa microbiana do solo, maior será a reserva de carbono no solo.

Tabela 4. Avaliação inicial dos atributos biológicos (Respiração microbiana do solo – RMS e Biomassa microbiana do solo –BMS) do solo na cultura da soja.

P>F	Tratamentos CV (%)	RMS	BMS
		C-CO ₂ mg kg ⁻¹ h ⁻¹	µg C g ⁻¹
		0,73	0,28
		38,18	30,28
Tratamentos		-----Tukey-----	
	T1 - Soja SC	0,88 a	386,53 a
	T2 - SeSi = Mulato II cv1 + Soja	0,82 a	324,17 a
	T3 - SoSe = Crotalaria + Soja	0,61 a	424,48 a
	T4 - SoSe = Mulato II+ Soja	0,76 a	264,68 a
	T5 - SoSe = Milheto + Soja	0,83 a	322,57 a

** - significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F. * - significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 5. Avaliação final dos atributos biológicos (Respiração microbiana do solo – RMS e Biomassa microbiana do solo –BMS) do solo na cultura da soja.

P>F	Tratamentos CV (%)	RMS	BMS
		C-CO ₂ mg kg ⁻¹ h ⁻¹	µg C g ⁻¹
		0,65	0,57
		32,12	47,05
Tratamentos		-----Tukey-----	
	T1 - Soja SC	0,82 a	451,92 a
	T2 - SeSi = Mulato II cv1 + Soja	0,77 a	334,62 a
	T3 - SoSe = Crotalaria + Soja	0,59 a	598,84 a
	T4 - SoSe = Mulato II + Soja	0,81 a	451,39 a
	T5 - SoSe = Milheto + Soja	0,76 a	457,20 a

** - significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F. * - significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Interação do fator tempo entre as coletas de solo na área cultivada com soja

De acordo com a (Tabela 6) somente a BMS diferiu-se estatisticamente quando comparado as duas avaliações dos atributos biológicos na área cultivada com a soja, sendo a maior BMS encontrada na avaliação final. Isso pode ter ocorrido por conta da temperatura, uma vez que a elevação da temperatura do ar e da precipitação pluviométrica, no verão, acarreta condições favoráveis ao aumento da biomassa microbiana do solo (Lourente et al., 2011).

Já em relação a RMS, tivemos resultados semelhantes entre as duas avaliações área cultivada com a soja (Tabela 6). Dessa forma acredita-se que nessa área a microbiota aumentou, porém com uma decomposição lenta dos resíduos orgânicos, indicando que os nutrientes poderão ficar imobilizados temporariamente, resultando em menores perdas dos nutrientes no sistema solo-planta e demandando mais tempo para se tornarem disponíveis a cultura.

Diferenças estatísticas também não estavam presente entre os tratamentos na área cultivada com a soja no que diz a respeito à RMS (Tabela 6). E os valores encontrados nesse estudo para essa variável expressam uma comunidade microbiana com baixa atividade respiratória, o que evidencia a pequena taxa de carbono na forma de CO₂ perdida do solo pela RMS, o que estaria estreitamente relacionada à lenta ciclagem dos resíduos culturais (Freire, 2023).

No que diz a respeito da biomassa microbiana do solo, os tratamentos foram semelhantes entre si na área cultivada com a soja (Tabela 6). A BMS é a principal responsável pela decomposição da MOS além de agir como intermediária controlando o tipo e a quantidade de C que é liberado para a atmosfera, e o que fica estocado no solo (Rasid; Chowdhury; Osman, 2016). Portanto, não é apenas um agente de transformação e ciclagem da MOS, mas também um dreno e/ou fonte de nutrientes para as plantas.

Tabela 6. Atributos biológicos do solo (Respiração microbiana do solo – RMS e Biomassa microbiana do solo –BMS) na cultura soja com fator período de coleta

		RMS	BMS
		C-CO ₂ mg kg ⁻¹ h ⁻¹	µg C g ⁻¹
P>F	Tratamentos (T)	0,46	0,23
	Período de Coleta (PC)	0,74	0,03*
	T*PC	0,99	0,78
CV (%)		37,52	40,37
Tratamentos		Tukey	
	T1 - Soja SC	0,85 a	419,22 a
	T2 - SeSi = Mulato II cv1+ Soja	0,80 a	329,40 a
	T3 - SoSe = Crotalária + Soja	0,60 a	511,66 a
	T4 - SoSe = Mulato II+ Soja	0,79 a	358,04 a
	T5 - SoSe = Milheto + Soja	0,79 a	389,88 a
Período de Coleta			
	Avaliação inicial	0,78 a	344,48 b
	Avaliação final	0,75 a	458,80 a

** - significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F. * - significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Atributos biológicos do solo em diferentes sistemas de cultivo na cultura do milho

Em referência a RMS, na primeira avaliação na área cultivada com milho, os tratamentos apresentaram diferenças estatísticas (Tabela 7), onde os tratamentos (T17) milho com semeadura simultânea com mulato II e o tratamento (T20) milho com sobressemeadura com milheto foram superiores aos demais na área estudada, mas não foram diferentes entre si nem entre o tratamento (T18) milho com sobressemeadura com crotalária. Isso é um indicativo de rápida decomposição dos resíduos orgânicos, maior mineralização e mobilização de nutrientes nesses tratamentos.

Os menores valores de médias encontrados nesse experimento foram verificados nos tratamentos (T16) milho no sistema convencional e tratamento (T19) milho com sobressemeadura com milheto e crotalária (Tabela 7), indicando assim que esses tratamentos possuem uma decomposição de resíduos orgânicos mais lentas, com isso levará um maior tempo para os nutrientes se tornarem disponíveis a cultura. Essa diferença estatística pode ser explicada,

porque após o preparo do solo ocorreu perturbações, onde o solo e as populações microbianas provavelmente foram afetados, com isso ocorreu o aumento dos valores de respiração microbiana do solo. Na segunda avaliação na área cultivada com milho, a variável RMS indica não haver semelhanças entre os tratamentos testados (Tabela 8).

Sobre os resultados obtidos na biomassa microbiana do solo (BMS), em ambas as épocas de avaliação não foi observado diferença significativa entre os tratamentos na área cultivada com milho (Tabelas 7 e 8). Deve ser levado em consideração que a biomassa microbiana do solo é importante para os atributos físicos do solo, tanto na colonização, quanto na decomposição da MOS, os microrganismos contribuem para a estabilidade de agregados dos solos (Lourente et al., 2011). Silva et al. (2007) identificaram que a interação das culturas de cobertura e cultura do milho foi significativa ($p < 0,01$) para a biomassa microbiana do solo, sendo um resultado divergente do encontrado no presente estudo.

Tabela 7. Avaliação inicial dos atributos biológicos (Respiração microbiana do solo – RMS e Biomassa microbiana do solo –BMS) do solo na cultura do milho

P>F	Tratamentos	RMS	BMS
		C-CO ₂ mg kg ⁻¹ h ⁻¹	µg C g ⁻¹
		0,00013**	0,70
CV (%)		18,55	38,12
Tratamentos		-----Tukey-----	
	T16 - Milho SC	0,42 b	395,43 a
	T17 - SeSi = Mulato II + Milho	0,79 a	435,75 a
	T18 - Sose = Crotalaria + Milho	0,57 ab	457,78 a
	T19 - SoSe = Crotalaria + Milheto + Milho	0,42 b	340,39 a
	T20 - SoSe = Milheto + Milho	0,70 a	496,70 a

** - significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F. * - significativo a 5% de probabilidade pelo Teste. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 8. Avaliação final do atributos biológicos (Respiração microbiana do solo – RMS e Biomassa microbiana do solo –BMS) do solo na cultura do milho

P>F	Tratamentos	RMS	BMS
		C-CO ₂ mg kg ⁻¹ h ⁻¹	µg C g ⁻¹
		0,65	0,37
CV (%)		32,12	27,62
Tratamentos		-----Tukey-----	
	T16 - Milho SC	0,82 a	568,69 a
	T17 - SeSi = Mulato II + Milho	0,77 a	498,89 a
	T18 - Sose = Crotalaria + Milho	0,59 a	449,97 a
	T19 - SoSe = Crotalaria + Milheto + Milho	0,81 a	392,17 a
	T20 - SoSe = Milheto + Milho	0,76 a	423,73 a

** - significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F. * - significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Interação do fator tempo entre as coletas de solo na área cultivada com milho

De acordo com a (Tabela 9) somente a variável RMS constatou-se diferença significativa quando comparado as duas avaliações dos atributos biológicos na área cultivada com o milho, sendo a maior respiração verificada na avaliação final. Este aumento na respiração microbiana do solo também foi observado por Della Bruna et al. (1991) que mostraram que a adição de serrapilheira pode aumentar cerca de cinco vezes a atividade biológica nos solos, sendo o aumento da atividade microbiana uma característica desejável, já que pode significar

rápida transformação de resíduos orgânicos em nutrientes para as plantas.

Quando foi avaliada a BMS, tivemos resultados idênticos entre as duas avaliações na mesma área (Tabela 9). A biomassa microbiana do solo por ser sensível a alterações de manejo do solo, esse atributo não fornece informações sobre a atividade da comunidade microbiana do solo, fazendo-se necessárias outras análises, como exemplo a respiração microbiana do solo, o metabolismo e a produção de enzimas, o que permitem avaliar a atividade biológica do solo.

Tabela 9. Atributos biológicos do solo (Respiração microbiana do solo – RMS e Biomassa microbiana do solo –BMS) na cultura do milho com fator período de coleta

		RMS	BMS
		C-CO ₂ mg kg ⁻¹ h ⁻¹	µg C g ⁻¹
P>F	Tratamentos (T)	0,25	0,83
	Período de Coleta (PC)	0,01*	0,54
	T*PC	0,09	0,83
CV (%)		29,84	48,01
Tratamentos		-----Tukey-----	
T16 - Milho SC		0,62 a	482,06 a
T17 - SeSi = Mulato II + Milho		0,78 a	467,32 a
T18 - Sose = Crotalaria + Milho		0,58 a	453,87 a
T19 - SoSe = Crotalaria + Milheto + Milho		0,62 a	366,28 a
T20 - SoSe = Milheto + Milho		0,73 a	460,21 a
Período de Coleta			
Avaliação inicial		0,58 b	425,21 a
Avaliação final		0,75 a	466,69 a

** - significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F. * - significativo a 5% de probabilidade pelo Teste. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

CONCLUSÃO

A mudança do uso do solo não afetou os atributos físicos do solo, bem como os tratamentos testados. Indicando que o indicador físico não é sensível para detectar diferenças no manejo, pelo menos não em curto prazo.

Em contrapartida, para os atributos biológicos isso não acontece. Neste trabalho foram detectadas diferenças entre os tratamentos testados bem como diferenças entre a primeira e a segunda coleta, indicando que os indicadores biológicos são mais sensíveis a mudança do uso do solo.

Nos tratamentos relacionados à cultura da soja quando se compara a interação do fator tempo entre as duas coletas percebe-se que a biomassa microbiana do solo apresentou um maior valor na segunda coleta (antes da colheita) indicando aumento da comunidade microbiana no solo.

Já para os tratamentos que envolveram a cultura do milho, percebemos que em relação à respiração microbiana do solo, a segunda coleta (antes da colheita) foi superior a primeira, indicando o aumento da atividade microbiana (uma característica desejável) já que pode significar rápida decomposição de resíduos orgânicos em nutrientes para as plantas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albuquerque, J.A.; Sangoi, L.; Ender M. (2001). Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 25: 717 - 723.

Alef, K. (1995). Estimation of soil respiration. In: Alef, K.; Nannipieri, P. **Methods in soil microbiology and biochemistry**. New York: Academic. p. 464 - 470.

Anderson, J.P.E; Domsch, K.H. (1978). A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry** 10: 215 - 221.

Andreola, F.; Costa, L.M.; Olszewski, N. (2000). Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 24: 857 - 865.

Balota, E. L. (1997). Alterações microbiológicas em solo cultivado sob o plantio direto. In: Peixoto, R.T.G.; Ahrens, D.C.; Samaha, M.J. (eds). **Plantio direto: caminho para uma agricultura sustentável**. Ponta Grossa: IAPAR,PRP/PG. p. 222 - 233.

- Balota, E.L.; Colozzi-Filho, A.; Andrade, D.S.; Hungria, M. (1998). Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 22: 641 - 649.
- Cunha, E.Q.; Stone, L.F.; Moreira, J.A.A.; Ferreira, E.P.B.; Didonet, A.D.; Leandro, W.M. (2011). Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I - Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35: 589 - 602.
- Della Bruna, E.; Borges, A.C.; Fernandes, B.; Barros, N.F.; Muchovej, R.M.C. (1991). Atividade da microbiota de solos adicionados de serrapilheira de eucalipto e de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 15(1): 15 - 20.
- Doran, J.W.; Parkin, T.B. (1994). **Defining and assessing soil quality**. In: Doran, J.W.; et al. (eds). *Defining soil quality for sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of America. p. 3 - 21.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2011. 230p.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.
- Ferreira, E.A; Maia, J.C.S.; Bianchini, A.; Vaz, B.K.M. (2022). Condutividade hidráulica de um Latossolo em diferentes sistemas de uso e manejo do solo. **Research, Society and Development** 11(16).
- Ferreira, E.P.B.; Stone, L.F.; Didonet, C.C.G.M. (2017). População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agrônômica** 48(1).
- Freire, T.M. (2023). **Desempenho de cultivares de soja em Latossolos Amarelos distróficos e Plintossolos Pétricos concrecionários**. (Mestrado em Agroenergia). Universidade Federal do Tocantins. Palmas, TO, Brasil p. 102.
- Grisi, B.M.; Gray, T.R.G. (1986). Comparação dos métodos de fumigação, taxa de respiração em resposta à adição de glicose e conteúdo de ATP para estimar a biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 10: 109 - 115.
- Haruna, S.I.; Anderson, S.H.; Udawatta, R.P.; (2020). Improving soil physical properties through the use of cover crops: A review. **Agrosystems, Geosciences & Environment** 3(1).
- Lourente, E.R.P.; Mercante, F.M.; Alovise, A.M.T.; Gomes, C.F.; Gasparini, A.S.; Nunes, C.M. (2011). Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 41(1): 20- 28.
- Oliveira, D.M.S.; Lima, R.P.; Verburg, E.E. J. (2015). Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquido suíno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 19(3): 280 - 285.
- Pinheiro, R.J.B.; Nummer, A.V.; Baroni, M.; Schneider, I.T. (2018). Avaliação da Condutividade Hidráulica das Unidades Geológico - Geotécnicas de Santa Maria (RS) com a Utilização de Piezômetros. **Anuário do Instituto de Geociências** 41(1): 212 - 221.
- Qiao, J.; Zhu, Y.; Jia, X.; Huang, L.; Shao, M. (2018). Estimating the spatial relationships between soil hydraulic properties and soil physical properties in the critical zone (0 - 100 m) on the Loess Plateau, China: a state - space modeling approach. **Catena** 160: 385 - 393.
- Ramos, M.R.; Dedeczek, R. A.; Silva, T.R; Freire, T.M. (2017). Atributos físicos do solo no horizonte superficial em diferentes usos. **Revista Agri-Environmental Sciences** 3(1).
- Rasid, M.M.; Chowdhury, N.; Osman, K.T. (2016). Effects of Microbial Biomass and Activity on Carbon Sequestration in Soils under Different Planted Forests in Chittagong, Bangladesh. **International Journal of Agriculture and Forestry** 6(6): 197 - 205.
- Seixas, J.; Roloff, G.; Ralisch, R. (2005). Tráfego de máquinas e enraizamento do milho em plantio direto. **Ciência Rural** 35(4): 794 - 798.
- Silva, M.B.; Kliemann, H.J.; Silveira, P. M.; Lanna, A.C. (2007). Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 42(12): 1755 - 1761.

Unger, W.P.; Kaspar, T.C. (1994). Compaction and root growth: a review. **Agronomy Journal** 86: 759 - 766.