
Efeitos do plantio direto na qualidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo: uma abordagem integrada

Silvane de Almeida Campos, Acácio Radael de Assis, Dyllan Rodrigues Rocha, Atanásio Alves do Amaral, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-34-3.c6>

Resumo

O Sistema de Plantio Direto (SPD) tem se consolidado como uma prática conservacionista fundamental para a sustentabilidade da agricultura brasileira, especialmente em regiões de solos tropicais, como o Argissolo Vermelho-Amarelo. Esta revisão teve como objetivo analisar os efeitos do SPD sobre atributos físicos e químicos do solo, considerados indicadores essenciais de sua qualidade. Foram abordadas variáveis como textura, dispersão de argila em água, umidade na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, além de pH, matéria orgânica e micronutrientes. Os estudos consultados evidenciam que o SPD favorece a melhoria da estrutura do solo, a estabilidade dos agregados, o aumento da retenção e disponibilidade de água, bem como a elevação dos teores de matéria orgânica e nutrientes na camada superficial. Essas modificações contribuem para intensificar a atividade biológica e aprimorar a fertilidade do solo, resultando em maior produtividade agrícola e na conservação dos recursos naturais. Conclui-se que o SPD é uma estratégia eficaz para a manutenção e recuperação da qualidade do solo, sendo altamente recomendada para o manejo sustentável de áreas agrícolas degradadas ou suscetíveis à erosão.

Palavras-chave: Plantio direto. Qualidade do solo. Matéria orgânica. Conservação do solo. Atributos edáficos. Sustentabilidade agrícola.

1. Introdução

Sendo um conceito originalmente brasileiro, o termo Sistema de Plantio Direto (SPD) surgiu em meados dos anos da década de 1980, aproximadamente 11 anos após a introdução do Plantio Direto (PD), prática importada dos Estados Unidos e da Inglaterra, que se apresentava, inicialmente, como um método alternativo de preparo reduzido do solo (Fernandes; Tejo; Arruda, 2019; Pinto, 2020).

Segundo Salomão (2022), a agricultura conservacionista (AGRC) compreende um conjunto de técnicas adaptadas às condições edafoambientais das regiões tropical e subtropical do Brasil. Nessa perspectiva, o PD, por si só, não contempla todos os critérios necessários para ser considerada uma prática conservacionista plena, sendo necessária sua adaptação ao contexto de um sistema de manejo agrícola — é nesse cenário que se consolida o SPD.

De acordo com o IBGE (2017), o Brasil possui, segundo o último Censo Agropecuário, cerca de 33 milhões de hectares cultivados sob plantio direto. Com o avanço das tecnologias de manejo associadas ao SPD e a crescente demanda por práticas que promovam a conservação hídrica, estima-se que essa área tende a aumentar nos próximos anos.

O SPD tem se mostrado eficiente no controle da erosão, sendo amplamente adotado em áreas de culturas anuais suscetíveis à degradação, com o objetivo de alcançar altas produtividades sem comprometer a sustentabilidade do uso agrícola dos solos (Campos; Galvão; Lima, 2018). Além disso, representa uma estratégia importante para a manutenção e recuperação da capacidade produtiva de solos anteriormente manejados de forma convencional ou já degradados (Hanke *et al.*, 2022).

Os princípios que norteiam a agricultura conservacionista e que fundamentam o SPD incluem: o revolvimento mínimo do solo, restrito à cova ou sulco de plantio; a manutenção da cobertura do solo com resíduos vegetais; a diversificação de espécies por meio da rotação, sucessão ou consorciação de culturas; a redução do intervalo entre a colheita e a semeadura; e o aporte contínuo e qualificado de matéria orgânica, de modo a manter o solo permanentemente coberto (Denardin; Kochhann; Faganello, 2011).

A interação entre esses preceitos promove melhorias gradativas nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Segundo Costamilan *et al.* (2012), a consolidação do SPD está fortemente associada à diversificação de culturas, o que contribui para o aumento da rentabilidade, benefícios fitossanitários e a eficiência na ciclagem de nutrientes.

Entre as vantagens do SPD destacam-se: a redução do uso de máquinas, a melhoria da estrutura do solo, o aumento da infiltração e retenção de água, a diminuição da evaporação e do escoamento superficial, o desenvolvimento mais eficiente do sistema radicular das plantas, o controle de plantas daninhas, a redução da erosão e do impacto das chuvas, e o aumento da eficiência no uso da água pelas plantas (Breda Júnior e Factor, 2009).

2. Sistemas de manejo e qualidade do solo

Embora cerca de dois terços da superfície do planeta Terra estejam cobertos por água, é o solo que ocupa a maior parte dos ecossistemas terrestres, desempenhando um papel essencial na sustentação da vida. Trata-se de um recurso natural dinâmico, complexo e repleto de vida, abrigando uma imensa biodiversidade de organismos, além de uma diversidade significativa de compostos orgânicos e inorgânicos. O solo atua como filtro natural, armazena água, carbono e nutrientes essenciais como o nitrogênio, sendo, por isso, um elemento-chave na regulação de ciclos biogeoquímicos e no equilíbrio da biosfera terrestre (Hanke *et al.*, 2022).

A funcionalidade do solo está diretamente relacionada à sua qualidade, que pode ser definida como a capacidade de funcionar como um sistema vivo dentro dos limites do ecossistema, sustentando a produtividade vegetal e animal, mantendo ou melhorando a qualidade da água e do ar e promovendo a saúde dos organismos vivos (Doran; Parkin, 1994). Assim, um solo de boa qualidade é capaz de resistir a distúrbios, responder positivamente a práticas de manejo e manter sua capacidade produtiva ao longo do tempo.

Entretanto, o manejo inadequado do solo, especialmente em sistemas agrícolas convencionais, tem levado à perda significativa de suas funções ecológicas (Figura 1). A utilização excessiva de aração, a ausência de cobertura

vegetal, a monocultura e o uso intensivo de insumos químicos são práticas que podem comprometer seriamente a qualidade do solo. Entre os impactos mais frequentes estão: erosão, compactação, selamento superficial (impermeabilização), redução da matéria orgânica, acidificação, salinização e contaminação por resíduos químicos. Esses processos comprometem não apenas a produtividade agrícola, mas também a conservação da biodiversidade e a disponibilidade de recursos hídricos (Hanke *et al.*, 2022).



Figura 1. Pastagem degradada no município de Guaçuí, ES. Fonte: Acervo Acácio Radael 2023.

Por outro lado, os sistemas de manejo conservacionistas, como o SPD, vêm sendo amplamente reconhecidos por sua capacidade de preservar e restaurar a qualidade do solo. Tais sistemas favorecem o acúmulo de matéria orgânica, estimulam a atividade biológica, aumentam a estabilidade estrutural e melhoram a infiltração e retenção de água. A presença contínua de cobertura vegetal, combinada à rotação de culturas, contribui para uma maior resiliência do solo frente às mudanças climáticas e ao uso intensivo da terra, promovendo um uso mais sustentável e equilibrado dos recursos naturais.

Dessa forma, compreender a relação entre os diferentes sistemas de manejo e a qualidade do solo é fundamental para o desenvolvimento de práticas agrícolas que sejam ao mesmo tempo produtivas e ambientalmente

responsáveis. A adoção de práticas que conservem ou melhorem os atributos físicos, químicos e biológicos do solo deve ser prioridade em qualquer estratégia de desenvolvimento rural sustentável.

Como já comentado, o solo constitui o principal recurso natural relacionado à produção agropecuária, sendo a base física e funcional para o crescimento das plantas e, conseqüentemente, para a segurança alimentar. A conservação ou a melhoria da qualidade do solo é, portanto, essencial para a sustentabilidade da atividade produtiva ao longo do tempo. No entanto, o uso inadequado e intensivo do solo tem sido apontado como a principal causa de sua degradação, resultando, entre outros efeitos, na redução do teor de matéria orgânica, com alterações negativas em suas propriedades físicas, químicas e biológicas (Jakelaitis *et al.*, 2008; FAO, 2020).

Segundo Oliveira *et al.* (2021), a qualidade do solo é um atributo fundamental para o desenvolvimento da biota edáfica e para a manutenção sustentável das culturas, sendo que o manejo impróprio pode comprometer, de forma até irreversível, as funções ecossistêmicas do solo. Esse comprometimento ocorre porque há uma inter-relação dinâmica entre os diferentes atributos edáficos — físicos, químicos e biológicos — que controlam os processos de formação e funcionamento do solo e sua variação no tempo e no espaço (Carneiro *et al.*, 2009). Alterações em um desses aspectos, tais como a compactação ou a perda de nutrientes, pode afetar diretamente a estrutura do solo, sua atividade microbiológica e a fertilidade, com impacto negativo na produtividade das culturas.

Com base em Aratani *et al.* (2009), a avaliação da qualidade do solo agrícola deve considerar três dimensões complementares: os atributos físicos, químicos e biológicos. Essa abordagem integrada é fundamental para mensurar o grau de degradação ou de recuperação do solo, bem como para indicar a sustentabilidade dos sistemas de manejo adotados.

De acordo com Vezzani e Mielniczuk (2009), os sistemas agrícolas que promovem a melhoria da qualidade edáfica são aqueles que mantêm o solo coberto, com mínima perturbação mecânica, e que cultivam uma diversidade de espécies vegetais, como ocorre no SPD (Figura 2).



Figura 2. Solo sob sistema convencional de plantio e solo sob SPD. Fonte: <https://www.laborgene.com.br/sistema-de-plantio/>, 2023.

Nesse contexto, Streck *et al.* (2008) destacam que a qualidade física do solo influencia diretamente os processos químicos e biológicos, manifestando-se, por exemplo, na capacidade de infiltração e retenção de água, na resistência à erosão, no crescimento radicular e na troca de gases com a atmosfera. A qualidade física, portanto, pode ser entendida como a capacidade do solo em exercer suas funções ecológicas e produtivas, garantindo a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Matias *et al.*, 2012; Blanco-Canqui; Ruis, 2018).

Do ponto de vista químico, o SPD geralmente está associado à rotação de culturas e ao aumento do aporte de resíduos orgânicos ao solo, o que pode resultar em melhorias significativas nos teores de matéria orgânica, nos níveis de macro e micronutrientes, e na capacidade de troca catiônica (Murage *et al.*, 2007; Lal, 2020). Lourente *et al.* (2011) observam que a substituição de vegetação nativa por sistemas agrícolas pode alterar drasticamente as propriedades químicas do solo, mesmo no primeiro ano de cultivo.

Aratani *et al.* (2009) identificaram, em seus estudos, que áreas com mata nativa apresentavam melhor qualidade física do solo em comparação com áreas agrícolas, incluindo aquelas manejadas sob SPD, SPD irrigado, SPD de

sequeiro, sistemas de integração lavoura-pecuária e cultivo convencional. Essa constatação reforça a importância da vegetação permanente na preservação dos atributos físicos e biológicos do solo (Figura 3).



Figura 3. Solo sempre coberto por plantas em desenvolvimento e por resíduos vegetais. Fonte: <https://www.laborgene.com.br/sistema-de-plantio/>, 2023.

Atualmente, diversos sistemas de manejo agrícola vêm sendo pesquisados com o objetivo de manter a fertilidade do solo e controlar os processos erosivos, reduzindo os custos operacionais e promovendo a rentabilidade de forma sustentável (Moreti *et al.*, 2007; Godfray *et al.*, 2019). Assim, o sistema de manejo adotado deve priorizar práticas conservacionistas que garantam a melhoria ou, no mínimo, a conservação da qualidade do solo, assegurando produtividade das culturas no longo prazo. O SPD destaca-se como uma alternativa viável, mas sua eficácia depende de uma implementação correta, que inclua a cobertura vegetal, a diversificação de culturas e o monitoramento contínuo dos atributos edáficos (FAO, 2021; Derpsch *et al.*, 2023).

3. Atributos físicos e químicos do solo como indicadores da sua qualidade

Indicadores de qualidade do solo são características mensuráveis, expressas de forma quantitativa ou qualitativa, que permitem avaliar os impactos de diferentes sistemas de uso e manejo. O estudo desses atributos possibilita

mensurar a magnitude e a duração das alterações provocadas por práticas agrícolas ao longo do tempo (Silva *et al.*, 2020). Em um contexto de crescente demanda por alimentos, fibras e energia, torna-se fundamental ampliar o conhecimento sobre as propriedades físicas e químicas do solo, aprimorando a capacidade de gestão sustentável desse recurso essencial (Dotto *et al.*, 2014; Lehmann *et al.*, 2020).

Os atributos do solo, quando analisados ao longo do tempo e em diferentes contextos de uso, revelam-se ferramentas sensíveis para avaliar se o solo está em processo de degradação ou recuperação em relação a sua condição original ou climática (Reichert *et al.*, 2009). A análise desses indicadores é, portanto, fundamental para monitorar a saúde do solo e orientar intervenções corretivas ou preventivas.

O conhecimento das alterações químicas causadas pelo uso contínuo e intensivo do solo fornece subsídios valiosos para a adoção de práticas agrícolas que aumentem a eficiência produtiva e promovam a conservação do agroecossistema (Freitas *et al.*, 2014). Tais práticas devem priorizar a melhoria da fertilidade, a manutenção do teor de matéria orgânica e a redução de impactos ambientais, visando à sustentabilidade dos sistemas produtivos (Zuber *et al.*, 2021).

Entre os principais indicadores da qualidade do solo destacam-se os atributos físicos, como a densidade do solo, porosidade, condutividade hidráulica, estabilidade de agregados, resistência à penetração e estrutura, e os atributos químicos, como o pH, teor de matéria orgânica, capacidade de troca catiônica (CTC), disponibilidade de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) e a saturação por bases. A sensibilidade desses parâmetros permite a detecção precoce de alterações decorrentes de diferentes práticas de manejo (Tóth *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2022).

Adicionalmente, o monitoramento contínuo desses indicadores possibilita uma abordagem preventiva na gestão dos solos, contribuindo para práticas agrícolas mais resilientes às mudanças climáticas e à intensificação do uso da terra. A integração de atributos físicos e químicos com parâmetros biológicos tem sido, inclusive, recomendada em avaliações mais abrangentes da qualidade do solo (Bünemann *et al.*, 2018).

3.1. Textura

A textura do solo se refere à proporção relativa das frações de areia, silte e argila, cuja determinação é feita por meio da análise granulométrica. Este atributo, amplamente estudado pela física do solo, apresenta aplicações práticas em estudos relacionados à infiltração e retenção de água, drenagem, suscetibilidade à erosão, e capacidade de armazenamento de nutrientes. Além disso, pode fornecer indícios sobre a origem do solo e o grau de desgaste sofrido durante o transporte dos sedimentos (Araújo; Bicalho; Tristao, 2015).

Por se tratar de uma característica determinada principalmente pelo material de origem e pelos processos pedogenéticos, a textura é considerada um atributo estático do solo, não sendo alterada por práticas de manejo (Suzuki *et al.*, 2008; Dalmago *et al.*, 2009). No entanto, sua influência sobre a estrutura, porosidade, compactação e retenção hídrica torna-a fundamental para interpretar o comportamento físico do solo sob diferentes usos.

A textura também interfere na resposta do solo a pressões antrópicas. Solos mais argilosos, por exemplo, tendem a apresentar maior resistência à compactação e melhor capacidade de retenção de água, enquanto solos arenosos são mais suscetíveis à erosão e lixiviação. Seybold *et al.* (1999) destacam que o efeito do manejo sobre os atributos físicos do solo depende diretamente da textura e da mineralogia, condicionando a resiliência do solo a determinadas práticas agrícolas.

Embora a textura em si não sofra modificações com o uso agrícola, sua interação com outros atributos — como matéria orgânica e estrutura — influencia significativamente a dinâmica física do solo e sua capacidade de sustentar a atividade produtiva (Oliveira; Silva; Gomes, 2022).

3.2. Argila dispersa em água

A fração de argila dispersa em água (ADA) constitui um importante indicador físico da qualidade do solo, uma vez que sua presença excessiva está diretamente associada à susceptibilidade à compactação, selamento superficial, formação de crostas e à redução da infiltração de água, comprometendo a estrutura e a produtividade dos solos (Santos *et al.*, 2010). O teor de ADA está

ligado à estabilidade dos agregados e ao grau de floculação das partículas, podendo indicar o nível de degradação física em áreas cultivadas (Figura 4).



Figura 4. Selamento superficial do solo. Fonte: www.manaragro.com.br.

De acordo com Almeida *et al.* (2009), o aumento do teor de ADA, geralmente acompanhado pela diminuição do índice de floculação, decorre de pressões mecânicas intensas, como o tráfego de máquinas e práticas de preparo inadequadas, que desestabilizam a interação entre as partículas minerais. Esse processo facilita a dispersão da fração argilosa, principalmente em solos de textura média a argilosa, favorecendo a compactação e a degradação estrutural.

Estudos têm demonstrado a variabilidade da ADA em função dos sistemas de uso e manejo. Matias *et al.* (2012), ao avaliarem um Latossolo Vermelho Distroférico com textura argilosa, observaram que os menores valores de ADA ocorreram no sistema com siringueira, em todas as profundidades analisadas, destacando sua menor interferência na estrutura do solo em comparação aos sistemas de plantio direto, convencional e à mata nativa, que não diferiram significativamente entre si.

De forma semelhante, Pragana *et al.* (2012) constataram que o solo sob Cerrado nativo apresentou os menores teores de ADA nos horizontes A e AB, quando comparado às áreas cultivadas, indicando que a conversão do uso natural para uso agrícola pode aumentar significativamente a dispersão da argila e comprometer a qualidade física do solo.

Pesquisas mais recentes, como a de Barbosa, Santos e Menezes (2022), reforçam que práticas conservacionistas e o uso de sistemas agroflorestais podem contribuir para a redução dos teores de ADA e para a melhoria da estabilidade dos agregados, promovendo maior resiliência física dos solos (Figura 5).



Figura 5. Práticas agrícolas sustentáveis, como agrofloresta e permacultura, visam criar sistemas agrícolas produtivos e resilientes. Fonte: <https://www.tempo.com/noticias/ciencia/agrofloresta-como-aumentar-a-qualidade-das-colheitas-com-sustentabilidade.html>.

3.3. Umidade do solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente

A água é um recurso essencial para o crescimento e desenvolvimento das culturas, sendo determinante nas flutuações de produtividade, especialmente em sistemas de sequeiro e em regiões sujeitas a períodos de déficit hídrico. Nesse contexto, a conservação da água no solo torna-se um fator estratégico para a sustentabilidade da agricultura, contribuindo para o uso eficiente desse recurso e para a preservação ambiental (Knies, 2010).

A busca por tecnologias e práticas de manejo que favoreçam o equilíbrio hídrico no solo é cada vez mais necessária. Entre essas práticas, destaca-se o SPD, que, por meio da manutenção da cobertura vegetal e do mínimo revolvimento do solo, promove a conservação da umidade, reduzindo a

evaporação e atenuando as variações de temperatura e umidade na camada superficial do solo (Knies, 2010) (Figura 6).



Figura 6. À esquerda solo retirado em camada superficial, local desprovido de vegetação. À direita, em camada superficial com cobertura vegetal, apresentando umidade, Sítio Jaqueira Agroecologia, Alegre, ES. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2024.

A retenção e a disponibilidade de água para as plantas são influenciadas por diversos atributos do solo, como a textura, estrutura e, especialmente, o teor de matéria orgânica. Solos ricos em matéria orgânica apresentam maior capacidade de retenção hídrica, já que esse componente atua diretamente na disponibilidade de água nos horizontes superficiais (Costa *et al.*, 2013). Segundo Streck *et al.* (2008), a estrutura do solo influencia a permeabilidade e a quantidade de água disponível, ao controlar o arranjo dos poros e a retenção hídrica contra a ação da gravidade

Por sua vez, o manejo do solo afeta diretamente a disponibilidade hídrica, influenciando o crescimento das plantas (Costa *et al.*, 2009). A água disponível às plantas é compreendida entre os limites da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente, sendo um parâmetro prático para o planejamento do uso agrícola do solo (Silva *et al.*, 2014). No entanto, é importante destacar que maior retenção de água não implica necessariamente em maior disponibilidade para as plantas, pois parte dessa água pode estar fortemente retida nos microporos, não sendo acessível às raízes.

De acordo com Rós *et al.* (2013), práticas que minimizam o revolvimento do solo, como o plantio direto com palha, contribuem para a redução das perdas por erosão hídrica e favorecem a manutenção da umidade no perfil do solo. Dalmago *et al.* (2009) também observaram que, em Argissolo Vermelho Distrófico típico com horizonte B textural, os sistemas sob plantio direto apresentaram maior retenção e disponibilidade de água nas camadas superficiais do que os submetidos ao preparo convencional.

Estudos recentes, como o de Ferreira, Oliveira e Farias (2021), reforçam que o manejo conservacionista promove melhorias significativas na retenção de água e na estabilidade estrutural do solo, contribuindo para sistemas agrícolas mais resilientes às variações climáticas.

3.4. Micronutrientes

A adoção de diferentes sistemas de manejo tem sido amplamente estudada com o objetivo de conservar a fertilidade do solo, reduzir perdas por erosão, minimizar custos operacionais e, conseqüentemente, ampliar a rentabilidade das atividades agrícolas, promovendo uma agricultura mais sustentável (Moreti *et al.*, 2007).

O plantio direto, quando comparado ao cultivo convencional, promove modificações significativas no perfil do solo, especialmente relacionadas à acidez, à disponibilidade de nutrientes e à matéria orgânica. Tais alterações afetam diretamente o manejo da fertilidade. Nesse sistema, a aplicação superficial de corretivos e fertilizantes leva à formação de gradientes de concentração de nutrientes no solo, cuja profundidade e intensidade variam de acordo com a mobilidade dos elementos químicos e o tempo de adoção do manejo (Anghinoni, 2007). Além disso, o aumento do teor e da qualidade da matéria orgânica na superfície do solo contribui para melhorar a eficiência na ciclagem de nutrientes.

Segundo Wastowski *et al.* (2010), a fertilidade do solo é extremamente sensível às práticas de uso e manejo. Em áreas sob plantio direto, nas quais os fertilizantes são aplicados na superfície, torna-se necessário compreender melhor a dinâmica dos nutrientes, a fim de aperfeiçoar as recomendações de

adubação e calagem. Isso é ainda mais relevante quando se utiliza adubação orgânica com resíduos animais, os quais apresentam composição variável e, frequentemente, não balanceada. A aplicação intensiva e prolongada desses resíduos, em sistemas sem revolvimento do solo, levanta dúvidas quanto aos efeitos de longo prazo, sendo essencial monitorar os atributos químicos do solo para garantir a sustentabilidade do sistema (Scherer *et al.*, 2007).

A experiência com ecossistemas naturais, como as matas nativas, demonstra que, mesmo em solos pobres, não se observam sintomas de deficiência nutricional nas plantas. Isso se deve à eficiente reciclagem de nutrientes promovida pelo sistema, que mantém o equilíbrio entre oferta e demanda (Rachwal *et al.*, 2007). Assim, práticas agrícolas que favoreçam essa reciclagem, como o uso de cobertura vegetal permanente e o manejo adequado da matéria orgânica, são fundamentais para a sustentabilidade dos sistemas produtivos (Salomão, 2022).

Os micronutrientes, embora exigidos em menores quantidades pelas plantas em comparação aos macronutrientes, são essenciais para o seu crescimento e desenvolvimento (Abreu *et al.*, 2007). Em estudo comparando diferentes sistemas de uso do solo, Wastowski *et al.* (2010) observaram que, embora as concentrações médias de elementos não tenham diferido significativamente nos perfis avaliados, os teores de metais como Zn, Cu e Mn variaram entre os sistemas. A mata nativa apresentou os maiores valores de Zn na camada de 0–10 cm e de Cu, Zn e Mn na profundidade de 10–20 cm, indicando a importância da complexidade ecológica e do equilíbrio biogeoquímico na manutenção da fertilidade dos solos naturais.

3.5. pH

Os solos, de modo geral, apresentam caráter levemente ácido, sendo que apenas uma fração dessa acidez encontra-se dissociada na fase líquida. Essa fração é denominada acidez ativa e refere-se à atividade dos íons H_3O^+ na solução do solo (Rossa, 2006). A acidez do solo influencia diretamente a disponibilidade de nutrientes e a toxicidade de elementos como o alumínio (Al) e

o manganês (Mn), sendo, portanto, um fator determinante na fertilidade do solo e no crescimento das plantas.

A redução da acidez — ou seja, o aumento do pH — provoca a precipitação do alumínio e do manganês, reduzindo seus efeitos tóxicos às plantas. Além disso, favorece a disponibilidade de fósforo e molibdênio, ao mesmo tempo em que pode diminuir a disponibilidade de micronutrientes como zinco (Zn), manganês (Mn), cobre (Cu) e ferro (Fe), cuja solubilidade é maior em pH ácido (Sousa *et al.*, 2007).

A matéria orgânica desempenha papel fundamental na dinâmica do pH do solo. Sua decomposição é favorecida em ambientes com pH mais elevado, o que promove maior mineralização e liberação de nutrientes. O acúmulo gradual de matéria orgânica também contribui para a neutralização da acidez, interferindo na toxidez por Al e na dinâmica de diversos nutrientes (Anghinoni, 2007).

Estudos têm evidenciado que sistemas de manejo conservacionistas e orgânicos podem promover melhorias no pH do solo. Por exemplo, Cardozo *et al.* (2008), ao avaliarem áreas sob manejo orgânico em Argissolo Vermelho-Amarelo em Nova Friburgo (RJ), constataram valores mais elevados de pH em comparação a áreas com floresta secundária, evidenciando o efeito positivo do manejo orgânico na neutralização da acidez.

De forma semelhante, Leite *et al.* (2010) verificaram que a adoção do sistema de plantio direto em Latossolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense promoveu aumento significativo no pH, quando comparado ao sistema convencional de preparo. Resultado semelhante foi observado por Lourente *et al.* (2011) em Latossolo Vermelho distrófico típico de Dourados (MS), onde o plantio direto proporcionou pH mais elevado que o manejo convencional, demonstrando o potencial desse sistema em melhorar as condições químicas do solo.

3.6. Matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) é um dos principais indicadores da qualidade e da sustentabilidade dos sistemas agrícolas, sendo influenciada diretamente pelo sistema de cultivo adotado (Matias *et al.*, 2012). A utilização de

fontes orgânicas, sejam de origem vegetal ou animal, tem demonstrado efeitos positivos sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, especialmente em áreas sob manejo orgânico de produção (Loss *et al.*, 2009a; Silva *et al.*, 2020).

Sistemas de manejo que promovem a adição contínua de resíduos orgânicos, especialmente vegetais, favorecem o acúmulo de carbono orgânico no solo, o que contribui para a melhoria da estrutura do solo, aumento da capacidade de retenção de água e sequestro de carbono atmosférico, resultando em ganhos ambientais e agrônômicos (Loss *et al.*, 2011; Lal, 2020). Além disso, tais sistemas colaboram para a mitigação das mudanças climáticas, ao reduzir a emissão de CO₂ para a atmosfera.

O SPD destaca-se por permitir o acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo, promovendo o enriquecimento da MOS. Culturas que geram elevada produção de matéria seca e apresentam baixa relação C/N tendem a proporcionar maior incorporação de matéria orgânica ao solo (Andrade; Stone; Silveira, 2009). A composição da MOS é altamente variável, dependendo da espécie vegetal, do estágio de desenvolvimento e do estado nutricional da planta (Laurindo *et al.*, 2009).

A análise do teor de matéria orgânica tem recebido maior atenção, pois está positivamente relacionada a atributos físicos essenciais à qualidade do solo, como aumento da resistência à erosão, maior taxa de infiltração de água, e estímulo à atividade biológica do solo (Matias *et al.*, 2012; Wendling *et al.*, 2021).

A matéria orgânica atua ainda na agregação do solo, aumentando a estabilidade estrutural, por meio da ação cimentante dos ácidos húmicos e fúlvicos, da presença de polissacarídeos microbianos e da atuação de hifas fúngicas (Lourente *et al.*, 2011). Seus efeitos incluem ainda melhoria na porosidade, aeração do solo, retenção de água, redução da densidade aparente e menor evaporação da umidade (Vasconcelos *et al.*, 2010; Blanco-Canqui, 2018) (Figura 7).



Figura 7. Matéria orgânica do solo. Fonte: <https://agro.genica.com.br/2020/07/22/microbiota-do-solo/>, 2023.

Flores *et al.* (2008) observaram que o preparo convencional reduziu significativamente os teores de MOS e a estabilidade dos agregados em Argissolo Vermelho derivado de granito, ao passo que o SPD, mesmo após cinco anos, resultou em leve aumento da MOS superficial, porém com significativa elevação na estabilidade dos agregados, atingindo valores semelhantes aos de áreas com vegetação nativa.

Resultados divergentes foram encontrados por Aratani *et al.* (2009) em Latossolo Vermelho acriférico de Guaira (SP), onde o SPD não promoveu aumento expressivo nos teores de MOS, mas favoreceu a melhor estruturação do solo, com índices superiores de agregação quando comparados ao sistema convencional.

Tavares Filho, Barbosa e Ribon (2010) constataram que áreas sob mata nativa, em Latossolo Vermelho distrófico psamítico no norte do Paraná, apresentaram maior teor de MOS em comparação a usos agrícolas como pastagem de *Brachiaria decumbens*, cana-de-açúcar e culturas anuais em SPD — que, entre si, não apresentaram diferenças significativas.

De forma geral, o retorno contínuo de resíduos orgânicos ao solo, aliado a práticas de manejo conservacionistas, é essencial para a manutenção e

incremento dos teores de matéria orgânica, promovendo a qualidade e funcionalidade do solo em longo prazo (Oliveira *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2023).

4. Considerações

O Sistema de Plantio Direto (SPD) consolidou-se como uma prática conservacionista essencial para a agricultura sustentável, especialmente em solos tropicais como os do Brasil. Fundamentado em três princípios básicos — ausência de revolvimento do solo, cobertura permanente com resíduos vegetais e rotação diversificada de culturas —, o SPD visa reduzir os impactos negativos do preparo convencional do solo, como a compactação provocada por maquinários e a intensificação dos processos erosivos. Essa abordagem favorece a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, contribuindo para a sua qualidade e produtividade em longo prazo.

Inicialmente, o plantio direto era entendido apenas como a manutenção da cobertura do solo com plantas vivas ou restos culturais. No entanto, a adaptação ao contexto edafambiental brasileiro — caracterizado por elevada pluviosidade, solos altamente intemperizados e grande diversidade climática — impulsionou a evolução do sistema para um modelo mais complexo, integrando princípios agroecológicos, diversificação de espécies e tecnologias adequadas ao uso racional dos recursos naturais.

O SPD, além de reduzir custos operacionais e uso de insumos, promove benefícios ecológicos e econômicos. A cobertura vegetal permanente protege o solo contra impactos diretos da chuva, minimiza perdas por erosão hídrica e térmica, e regula a temperatura e umidade da superfície, favorecendo a atividade da microbiota edáfica. Organismos como fungos micorrízicos e bactérias fixadoras de nitrogênio desempenham funções vitais, como a decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e agregação do solo, promovendo maior estabilidade estrutural e retenção de água.

A qualidade do solo, nesse contexto, é um conceito multifatorial que envolve aspectos físicos, químicos e biológicos. A textura, por exemplo, influencia diretamente na capacidade de retenção de água e na suscetibilidade à compactação. A argila dispersa em água (ADA) é um indicador importante da

estabilidade estrutural e do potencial de floculação, refletindo o efeito das práticas de manejo sobre a formação de agregados.

A matéria orgânica do solo (MOS) destaca-se como um dos principais indicadores de qualidade, desempenhando papel fundamental na fertilidade, estrutura e capacidade de retenção de água. Sua decomposição origina substâncias húmicas com alta capacidade de troca catiônica (CTC), que atuam como agentes ligantes das partículas do solo, promovendo a formação de agregados estáveis. A presença contínua de resíduos vegetais no SPD incrementa o teor de MOS, especialmente nas camadas superficiais, resultando em maior porosidade, menor densidade aparente, maior infiltração de água e aumento da biodiversidade edáfica.

Além disso, ao contribuir para o sequestro de carbono atmosférico, o SPD tem papel estratégico na mitigação das mudanças climáticas, ao reduzir emissões de gases de efeito estufa, especialmente o CO₂, associando-se diretamente às metas de sustentabilidade pactuadas em acordos internacionais.

Dessa forma, diante do crescimento da demanda global por alimentos, fibras e energia, torna-se imperativa a adoção de práticas agrícolas sustentáveis que preservem os recursos naturais e garantam a produtividade. O SPD surge como uma estratégia eficaz para conciliar produção agrícola e conservação ambiental, sendo o estudo contínuo dos atributos do solo — textura, estrutura, MOS, CTC, microbiota, entre outros — fundamental para orientar o uso racional do solo e promover sua resiliência e multifuncionalidade.

5. Referências

ABREU, C. A. de; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. dos. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.) **Fertilidade do Solo**. 1ª ed. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 645-736.

ALMEIDA, C. X.; CENTURION, J. F.; JORGE, R. F.; ANDRIOLI, I.; VIDAL, A. A.; ERAFIM, R. S. Índice de floculação e agregação de um Latossolo Vermelho sob dois sistemas de colheita da cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 4, p. 123-129, 2009.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de**

Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 411-418, 2009.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R. F.de; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.de; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.) **Fertilidade do Solo**. 1ª ed. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 873-928.

ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho Acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.677-687, 2009.

ARAÚJO, G. S.; BICALHO, K. V.; TRISTAO, F. A. Análise de imagens na determinação da forma e textura de areias. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 1, p. 94-99, 2015.

BARBOSA, L. M.; SANTOS, R. D.; MENEZES, R. S. C. Dispersão da fração argila em diferentes sistemas de manejo e sua relação com a estabilidade estrutural do solo. **Revista de Ciência Agronômica**, v. 53, n. 2, p. e20217531, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20220031>

BLANCO-CANQUI, H.; RUIS, S. J. No-tillage and soil physical environment. **Geoderma**, n. 326, p. 164-200, 2018.

BLANCO-CANQUI, N. Revisão sobre práticas de manejo e implicações na **MOS**. 2018.

BREDA JUNIOR, J. M.; FACTOR, T. L. Oportunidades e dificuldades no plantio direto de hortaliças: o caso de São José do Rio Pardo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, p. S4033-S4035, 2009.

BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DEYN, G. de; GOEDE, R. de. Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, n. 120, p. 105-125, 2018.

CAMPOS, A. S.; SOUZA, M. C.; GALVÃO, C. C. J.; LIMA, C. J. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico sob plantio direto. **Revista Agrarian**, v. 11, n. 41, p. 230-240, 2018.

CARDOZO, S. V.; PEREIRA, M. G.; RAVELLI, A.; LOSS, A. Caracterização de propriedades edáficas em áreas sob manejo orgânico e natural na região serrana do Estado do Rio de Janeiro. **Semina. Ciências Agrárias**, v. 29, p. 517-530, 2008.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. C. de; REIS, E. F. dos; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 147-157, 2009.

COSTA, A. da; ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A. de; COSTA, A. da; LUCIANO, R. V. Pedotransfer functions to estimate retention and availability of

water in soils of the state of Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 889-910, 2013.

COSTA, A. da; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A. da; PÉRTILE, P.; SILVA, F. R. da. Water retention and availability in soils of the State of Santa Catarina-Brazil: effect of textural classes, soil classes and lithology. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 6, p. 1535-1548, 2013.

COSTA, S. E. V. G. A.; SOUZA, E. D. de; ANGHINONI, I.; FLORES, J. P. C.; ANDRIGUETTI, M. H. Distribuição de potássio e de raízes no solo e crescimento de milho em sistemas de manejo do solo e da adubação em longo prazo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1291-1301, 2009.

COSTAMILAN, L. M.; CARRÃO-PANIZZI, M. C.; STRIEDER, M. L.; BERTAGNOLLI, P. F. **Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2012/2013 e 2013/2014**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo e Apassul, 142 p., 2012. (Documentos, 107).

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; KRÜGER, C. A. M. B.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.13, (Suplemento), p.855-864, 2009.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A. 15 de abril: dia nacional da conservação do solo: a agricultura desenvolvida no Brasil é conservacionista ou não? **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 10-15, 2011.

DOTTO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A.; CATEN, A. T.; RUIZ, L. F. C. Mapeamento digital de atributos: granulometria e matéria orgânica do solo utilizando espectroscopia de reflectância difusa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1663-1671, 2014.

FAO. Conservation Agriculture. Disponível em: <https://www.fao.org/conservation-agriculture>. 2021.

FAO. State of the World's Soil Resources – Main Report. Rome: Food and Agriculture Organization. 2020.

FERNANDES, C. H. dos S.; TEJO, D. P.; ARRUDA, K. M. A. Desenvolvimento do Sistema de Plantio Direto no Brasil: histórico, implantação e culturas utilizadas. **Uniciências**, Cascavel, v. 23, n. 2, p. 83–88, 2019. DOI: <https://doi.org/10.17921/1415-5141.2019v23n2p83-88>.

FERREIRA, D. R.; OLIVEIRA, L. F. C.; FARIAS, R. L. Manejo conservacionista do solo e sua influência na retenção de água em sistemas agrícolas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 45, e0200206, 2021. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20200206>.

FLORES, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; PAULETTO, E. A. Recuperação da qualidade estrutural, pelo sistema plantio

direto, de um Argissolo Vermelho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 8, p. 2164-2172, 2008.

FREITAS, L. de; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A. de; SOUZA JÚNIOR, P. R. de; CAMPOS, M. C. C. Análises multivariadas de atributos químicos do solo para caracterização de ambientes. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 8, n. 2, p. 155-164, 2014.

HANKE, D.; BARRETO, A. S. M.; NASCIMENTO, S. G. D. S.; ÁVILA, M. R. D.; BECKER, C. Conservação do solo e da água na Região da Campanha, Estado do Rio Grande do Sul: percepção de produtores rurais. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 9, n. 22, p. 601-617, 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário – 2017**. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro_2017_resultados_preliminares.pdf>. Acesso em: 01 out. 2019.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.

KNIES, A. E. **Temperatura e umidade de um solo franco arenoso cultivado com milho**. 2010. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.

LAURINDO, M. C. O.; NÓBREGA, L. H. P.; PEREIRA, J. O.; MELO, D. de; LAURINDO, É. L. Atributos físicos do solo e teor de carbono orgânico em sistemas de plantio direto e cultivo mínimo. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, MG, v.17, n.5, p.367-374, 2009.

LEHMANN, J. *et al.* Soil fertility and sustainability. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 5, p. 391-398, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0501-6>

LEITE, L.F.C.; GALVÃO, S.R.S.; HOLANDA NETO, M.R.; ARAÚJO, F.S.; IWATA, B.F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no CERRADO DO PIAUÍ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1273-1280, 2010.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 68-75, 2009a.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. **IDESIA**, Chile, v. 29, n. 2, p. 11-19, 2011.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.

MATIAS, S. S. R.; CORREIA, M. A. R.; CAMARGO, L. A.; FARIAS, M. T. de; CENTURION, J. F.; NÓBREGA, J. C. A. 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.

MORETI, D.; ALVES, M. C.; VALÉRIO FILHO, W. V.; CARVALHO, M. P. Atributos químicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 167-175, 2007.

MURAGE, E. W.; VORONEY, P. R.; KAY, B. D.; DEEN, B.; BEYAERT, R. P. Dynamics and turnover of soil organic matter as affected by tillage. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, n. 4, p. 1363-1370, 2007.

OLIVEIRA S. M.; SANTOS, M. P.; PAZ S. A. C.; SILVA, R. L. V.; MOURA, I. A. A.; SILVA, R. S.; SILVA COSTA, K. D. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 6853-6875, 2021.

OLIVEIRA, M. J. *et al.* **Estudos em solos tropicais e sistemas agroecológicos**. 2021.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, E. Q.; GOMES, T. F. Influência da textura do solo na resposta às práticas de manejo em sistemas agropecuários. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 46, e0220037, 2022.

PINTO, L. A. S. R. **Matéria orgânica e atributos edáficos de agregados em áreas de sistemas plantio direto no Cerrado mineiro**. 2020. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

PRAGANA, R. B.; RIBEIRO, M. R.; NÓBREGA, J. C. A.; RIBEIRO FILHO, M. R.; COSTA, J. A. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1591-1600, 2012.

RACHWAL, M. F. G.; DEDECEK, R. A.; CURCIO, G. R.; SIMON, A. A. Manejo dos resíduos da colheita de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild) e a sustentabilidade do sítio. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 137-144, 2007.

REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; URACH, F. L.; CARLESSO, R. Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1547-1560, 2009.

REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; RIQUELME, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de ambiente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 3, p. 310-319. 2009.

RÓS, A. B.; TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C. Propriedades físicas de solo e crescimento de batata-doce em diferentes sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 1, p. 242-250, 2013.

ROSSA, U. B. **Estimativa de calagem pelo método SMP para alguns solos do Paraná**. 2006. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006.

SALOMÃO, J. M. A agricultura conservacionista: uma revisão. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, [S. l.], v. 2, n. 7, p. 1–15, 2022.

SALOMÃO, P. E. A.; KRYEBEL, W.; SANTOS, A. A.; MARTINS, A. C. E.; A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, p. e154911870-e154911870, 2020.

SANTOS, L. N. S.; PASSOS, R. R.; SILVA, L. V. M.; OLIVEIRA, P. P.; GARCIA, G. O.; CECÍLIO, R. A. Avaliação de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes coberturas vegetais. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 940-947, 2010.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N. Propriedades químicas de um latossolo vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 123-131, 2007.

SEYBOLD, C. A.; HERRICK, J. E.; BREJDA, J. J. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. **Soil Sci.**, v. 164, p. 224-234, 1999.

SILVA, B. M.; SILVA, É. A. da; OLIVEIRA, G. C. de; FERREIRA, M. M.; SERAFIM, M. E. Plant-available soil water capacity: estimation methods and implications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 464-475, 2014.

SILVA, J. O. *et al.* **Sobre o papel da MOS na saúde do solo e resiliência agroecológica**. 2020/2023.

SILVA, M. O.; VELOSO, C. L.; NASCIMENTO, D. L.; OLIVEIRA, J.; PEREIRA, D. F.; COSTA, K. D. S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. 1ª ed. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 205-274.

SOUZA, R. A.; OLIVEIRA, R. A.; NASCIMENTO, T. G. Atributos físicos e químicos do solo como indicadores de qualidade sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Agro@ambiente**, v. 16, n. 2, p. 45–59, 2022.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; HORN, R. Relações do parâmetro S para algumas propriedades físicas de solos do Sul do Brasil.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 2603-2612, 2008, Número Especial.

SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; LIMA, C. L. R. de. Estimativa da suscetibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 963-973, 2008.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; RIBON, A. A. Physical properties of dystrophic red latosol (oxisol) under different agricultural uses. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 925-933, 2010.

TÓTH, G.; GUICHARNAUD, R. A.; TÓTH, B.; HERMANN, T. Physical and chemical indicators of soil quality in production agriculture. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 3, p. 1-15, 2020.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J.; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 309-316, 2010.

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

WASTOWSKI, A. D.; ROSA, G. M. da; CHERUBIN, M. R.; RIGON, J. P. G. Caracterização dos níveis de elementos químicos em solo, submetido a diferentes sistemas de uso e manejo, utilizando espectrometria de fluorescência de raios-X por energia dispersiva (EDXRF). **Quim. Nova**, v. 33, n. 7, p. 1449-1452, 2010.

WENDLING, M. *et al.* **Análise da estabilidade de agregados e qualidade física**. 2021.

ZUBER, S. M.; NAFZIGER, E. D.; VILLAMIL, M. B. Long-term crop rotation and tillage effects on soil physical and chemical properties in Illinois. **Soil and Tillage Research**, n. 213, p. 105106, 2021.