

ASPECTOS RELEVANTES DA SEMEADURA DIRETA NA QUALIDADE DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS

Data de aceite: 01/12/2021

Maurilio Fernandes de Oliveira

DSc. Produção Vegetal, Pesquisador Embrapa
Milho e Sorgo
Sete Lagoas, MG

Raphael Bragança Alves Fernandes

DSc. Solos e Nutrição de Plantas, Professor
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa, MG

Onã da Silva Freddi

Dsc. Produção Vegetal, Professor Universidade
Federal Mato Grosso
SINOP, MT

Camila Jorge Bernabé Ferreira

DSc. Agronomia, Professora Universidade de
Rio Verde
Rio Verde, GO

Rose Luiza Moraes Tavares

DSc. Engenharia Agrícola, Professora
Universidade de Rio Verde
Rio Verde, GO

RESUMO: O uso de diferentes tecnologias na produção de grãos no Brasil nas últimas décadas proporcionou expressivos incrementos na produtividade. A adoção da semeadura direta foi marcante, mas ainda existem áreas que adotam as práticas do sistema convencional, com a aração e a gradagem (IBGE, 2017). Neste levantamento, o uso de preparo de solo não está caracterizado por tamanho de propriedades ou locais de adoção, todavia esta prática parece

estar associada a propriedades de tamanho pequeno ou médio. Esta redução de área de preparo convencional tem sido caracterizada por crescimento da área de sistema plantio direto (Llanillo, 2013), ainda que uma das premissas desta técnica seja frequentemente não adotada. A estimativa IBGE em 2006 dava conta da existência de 25,6 milhões de hectares de plantio direto na palha no Brasil, estudo realizado por Llanillo et al. (2013) indicou que, para o mesmo ano, de acordo com tabulações avançadas do Censo Agropecuário, tal área era de 17,8 milhões de ha. Ainda pelo Censo Agropecuário 2006, foram totalizados 3,8 milhões de ha em cultivo mínimo, 3,1 milhões de ha em sistemas mistos de cultivo mínimo e preparo convencional e 11,8 milhões de ha em preparo convencional, nos 36,6 milhões de ha de lavouras temporárias no país (Llanillo, 2013). Estima-se que atualmente, cerca de apenas 10% das áreas sob sistema plantio direto seguem corretamente os seus preceitos de não revolvimento do solo, manutenção de palhada e rotação de culturas (EMBRAPA, 2015). O que tem se observado é a “simplificação” das lavouras para semeadura sem revolvimento integral do solo, sendo verificadas muitas áreas de sucessão de culturas (Ex.: soja/pousio, soja/milho safrinha e soja/trigo) devido a sua maior rentabilidade e facilidade de cultivo. Em função disso, muitos agricultores não têm investido na produção de plantas de cobertura, um dos pilares do sistema plantio direto. Na realidade o que se observa é a semeadura da cultura diretamente sobre a palhada da cultura anterior e de plantas espontâneas previamente dessecadas. Ainda assim, incrementos no

rendimento das culturas têm sido observados. Entretanto, a adoção completa do sistema plantio direto com a introdução de culturas de cobertura num esquema de rotação aumenta consideravelmente o sucesso da prática, com reflexos potencialmente positivos sobre a produtividade das culturas e melhoria do ambiente edáfico. Apesar dos benefícios já conhecidos da adoção da semeadura direta, recentemente, a literatura tem descrito impactos não esperados decorrentes da prática. Variações nos rendimentos anuais ou mesmo sua redução em algumas áreas são exemplos desses impactos, o que frequentemente é associado à compactação do solo (Embrapa, 2020). Estas variações são mais acentuadas em anos de precipitações irregulares ou menores que a média anual local. Outro impacto relatado tem sido a concentração de nutrientes na camada superficial do solo em função do não revolvimento do solo. Este capítulo discute esses impactos não esperados, associando sua gênese, principalmente, à falta de investimento no pilar cobertura do solo/cultura de inverno no plantio direto adotado em algumas áreas do país. Em adição, o capítulo descreve e discute novos resultados obtidos numa área de produção de grãos no Latossolo Vermelho distrófico argiloso em uma unidade da Embrapa, em Sete Lagoas-MG, que, durante 26 anos, tem sido manejada com diferentes métodos de preparo do solo. Apesar da falta de estimativa da representatividade deste Latossolo nas áreas produtoras de grãos, há similaridade da textura em relação aos outros Latossolos (Manzatto et al., 2002). Embora as observações e conclusões obtidas possam não ser aplicadas para generalizações para outros tipos de Latossolos e outras regiões, os resultados são relevantes para a reflexão e tomada de decisão dos que acreditam na viabilidade e sucesso do sistema plantio direto no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas preparo de solo.

O uso de diferentes tecnologias na produção de grãos no Brasil nas últimas décadas proporcionou expressivos incrementos na produtividade. A adoção da semeadura direta foi marcante, mas ainda existem áreas que adotam as práticas do sistema convencional, com a aração e a gradagem (IBGE, 2017). Neste levantamento, o uso de preparo de solo não está caracterizado por tamanho de propriedades ou locais de adoção, todavia esta prática parece estar associada a propriedades de tamanho pequeno ou médio.

A redução na utilização do preparo convencional pelos agricultores tem sido caracterizada pelo aumento do uso do sistema plantio direto (LLANILLO, 2013), ainda que uma das premissas desta técnica, que é o plantio sobre palhada seja frequentemente não adotada. Segundo levantamento do IBGE existiam em 2006 cerca de 25,6 milhões de hectares utilizando o sistema plantio direto no Brasil. Em estudo realizado por Llanillo et al. (2013) indicou que, para o mesmo ano, de acordo com tabulações avançadas do Censo Agropecuário, tal área era de 17,8 milhões de ha. Segundo esses autores, foram totalizados 3,8 milhões de ha em cultivo mínimo, 3,1 milhões de ha em sistemas mistos de cultivo mínimo e preparo convencional e 11,8 milhões de ha em preparo convencional, nos 36,6 milhões de ha de lavouras temporárias no país. Estima-se que cerca de apenas 10% das áreas sob sistema plantio direto seguem corretamente os seus preceitos de não revolvimento do solo, manutenção de palhada e rotação de culturas (EMBRAPA, 2014). O

que tem se observado é a “simplificação” das lavouras para semeadura sem revolvimento integral do solo, sendo verificadas muitas áreas de sucessão de culturas (Ex.: soja/pousio, soja/milho safrinha e soja/trigo) devido a sua maior rentabilidade e facilidade de cultivo.

Em função disso, muitos agricultores não têm investido na produção de plantas de cobertura, um dos pilares do sistema plantio direto. Na realidade o que se observa é a semeadura da cultura diretamente sobre a palhada da cultura anterior e de plantas daninhas previamente dessecadas. Ainda assim, incrementos no rendimento das culturas têm sido observados. Entretanto, a adoção completa do sistema plantio direto, com a introdução de culturas de cobertura num esquema de rotação aumenta consideravelmente o sucesso da prática, com reflexos potencialmente positivos sobre a produtividade das culturas e melhoria do ambiente edáfico.

Atualmente as principais plantas de cobertura pertencem a família das leguminosas e gramíneas. As leguminosas são caracterizadas por possuir uma relação C/N baixa que confere uma rápida decomposição e liberação de nutrientes. As gramíneas destacam por sua elevada relação C/N que confere a palhada uma longevidade ao solo e portanto, maior proteção à erosão do solo.

A palhada produzida no SPD é vantajosa para o sistema, através das melhorias nas propriedades do solo, principalmente na região Centro-Oeste. Isto por se tratar de uma região tropical com distribuição de chuvas não uniforme e temperaturas elevadas quase o ano todo, o que acelera a decomposição da palhada, e dependendo do tipo de resíduo vegetal, pode deixar o solo descoberto e exposto. Este fato pode afetar funções do solo como o armazenamento de água, principalmente no período mais seco do ano (abril-setembro) podendo a safrinha pegar este período quando do plantio atrasado.

Apesar dos benefícios já conhecidos da adoção da semeadura direta, recentemente, a literatura tem descrito impactos não esperados decorrentes da prática. Variações nos rendimentos anuais ou mesmo sua redução em algumas áreas são exemplos desses impactos, o que frequentemente é associado à compactação do solo (EMBRAPA, 2020). Estas variações são mais acentuadas em anos de precipitações irregulares ou menores que a média anual local. Outro impacto relatado tem sido a concentração de nutrientes na camada superficial do solo em função do não revolvimento. Este capítulo discute esses impactos não esperados, associando sua gênese, principalmente, à falta de investimento no pilar cobertura do solo/cultura de inverno no plantio direto adotado em algumas áreas do país.

Em adição, o capítulo descreve e discute novos resultados obtidos numa área de produção de grãos no Latossolo Vermelho distrófico argiloso na Embrapa, em Sete Lagoas-MG, que, durante 26 anos, tem sido manejada com diferentes métodos de preparo do solo. Embora as observações e conclusões obtidas possam não ser aplicadas para generalizações para outros tipos de Latossolos e outras regiões, os resultados são relevantes para a reflexão e tomada de decisão dos que acreditam na viabilidade e sucesso

do sistema plantio direto no Brasil.

CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A compactação em solos agrícolas e cultivados intensivamente por máquinas que exercem maior pressão sobre o solo tem limitado a produtividade das culturas anuais (HAMZA & ANDERSON, 2005).

A compactação excessiva caracteriza-se por aumento da densidade do solo, redução da porosidade, muitas vezes, da macroporosidade, e aumento na resistência do solo à penetração (FREDDI et al., 2007; CAMPOS, 2016; NGOLO, 2019), diminuição do volume de solo explorado pelas raízes em busca de água e nutrientes, redução na infiltração da água no solo podendo limitar a disponibilidade de oxigênio às raízes. Isto pode limitar a absorção de nutrientes pelas plantas, a infiltração e a redistribuição de água no solo, as trocas gasosas e o desenvolvimento do sistema radicular no perfil do solo (BICKI; SIEMENS, 1991), causando potencialmente perdas de produção, aumento da erosão e incrementos na energia necessária para o preparo do solo (SOANE, 1990).

Estima-se que, as perdas produtivas decorrentes da compactação do solo podem representar até 50 sacas de milho e 30 sacas de soja por hectare, sendo que, dependendo das condições climáticas esses números podem ser ainda mais elevados (FEBRAPD, 2019). Contrariamente, resultados de Oliveira et al. (2014) e Campos (2016) descrevem produtividades de milho similares nos sistemas de preparo convencional e na semeadura direta, 20 anos após a instalação do experimento. Para Bergamin et al. (2015) não há consenso geral sobre o grau de compactação do solo que afeta a produtividade das culturas.

Segundo Montanha et al. (2016), a necessidade dos agricultores de enfrentar os problemas de compactação dos solos faz com que eles dependam do uso, cada vez mais frequente de implementos de mobilização do solo, como escarificadores e subsoladores (SPERA et al., 2018a). Contudo, deve ser levado em consideração que essas práticas são de elevado custo operacional e cujos efeitos no solo podem ser de curta duração (NUNES et al., 2019).

Acredita-se que o efeito da compactação possa ser revertido com o aumento do tempo de adoção do sistema plantio direto principalmente quando o manejo envolve incremento de matéria orgânica via palhada, rotação de culturas, uso de plantas de cobertura, etc. Altman (2010) sugere que para instalação do SPD é necessário, como primeiro passo, realizar a correção química (calagem/adubação) e física (descompactação) do solo em profundidade. Isto confere nos primeiros anos (0-5 anos) instabilidade do sistema com flutuações na produtividade, pois o solo encontra-se em franca evolução, com reordenamento de suas partículas e intensa atividade microbiana.

No período de 5-10 anos o solo encontra-se com partículas mais agregadas com maior acúmulo de palhada e carbono no solo, com recuperação da produtividade. Nesta

fase, maior adensamento do solo é notado e dependendo do manejo, a ocorrência de forte compactação.

Enquanto que em 10-20 anos observa-se o período considerado consolidado com melhorias nos aspectos físicos, químicos e biológicos do solo. Neste período, há tendência de maior ciclagem de nutrientes, armazenamento de água e diminuição dos níveis de compactação do solo, através do incremento de carbono via palhada e descompactação biológica por plantas de cobertura. E por fim, a fase de manutenção, com mais de 20 anos de adoção do sistema, o qual tende a apresentar estabilidade e fortes sinergismos dos fatores de produção em sincronia com os agentes naturais e as necessidades da planta (Altman, 2010).

Sabe-se, porém, que a maioria das áreas agrícolas, principalmente no Centro-Oeste não conseguiram atingir este padrão evolutivo de produção, pois nos primeiros sinais de compactação, o solo geralmente é revolvido, interrompendo o sistema e retornando à sua fase inicial.

O diagnóstico da compactação e de outras variáveis da qualidade do solo tem sido avaliado pelo produtor rural por meio de observações a campo do aspecto visual das plantas cultivadas, principalmente do sistema radicular dessas culturas. Este tipo de avaliação, quando feita pelo agricultor, já não é mais passível de diagnóstico para uma tomada de decisão assertiva, já que a cultura encontra implementada e em pleno cultivo.

Do exposto acima, observa-se que outros fatores, que não as modificações dos atributos físicos do solo, relacionam-se com a variabilidade na produtividade das culturas. Em algumas situações, erroneamente, estes fatores são associados à compactação.

Há carência de resultados que descrevam os atributos físicos, de fertilidade e biológicos dos solos de textura argilosa, média e arenosa, além da caracterização dos sistemas produtivos das culturas sob estes solos, com e sem compactação. Com base nos atributos de solo avaliados juntamente com as informações fitotécnicas dos sistemas produtivos pode-se realizar o diagnóstico da compactação nos diferentes tipos de solos.

Com isso, será possível fazer o detalhamento dos efeitos da compactação no solo e no sistema produtivo, além da possibilidade de isolar os efeitos não relacionados à compactação.

Técnicas que integram maior número de variáveis permitirão um diagnóstico prévio e assertivo e contribuirá de maneira eficiente para os produtores rurais, reduzindo perdas e aumentando a lucratividade. Com adoção de técnicas usando muitas variáveis, espera-se a integração dos fatores limitantes à produção agrícola, de forma fácil e interpretativa, por meio de programas computacionais e aplicativos. Todavia, esta camada compactada parece ser equivocadamente diagnosticada em algumas situações, a exemplo quando da mensuração da resistência do solo à penetração em períodos de baixa precipitação pluvial ou após a colheita das culturas.

Além disso, tem-se sido comum a descrição da instabilidade na produtividade

das culturas em áreas com maior disponibilidade de nutrientes somente na superfície. Isto porque a não correção do perfil do solo adequadamente, como a distribuição superficial de corretivos em condições de semeadura direta e a não incorporação deste subsequentemente acarreta perfil do solo com camada corrigida superficialmente e a permanência da acidez em subsuperfície (SPERA et al. 2018b; NGOLO, 2019). Isto promove condição para crescimento do sistema radicular em superfície. Nesta condição de solo, havendo irregularidades na distribuição da precipitação no período de desenvolvimento há disponibilidade da água somente superficialmente e não em profundidade. Desta maneira, há condição de disponibilidade de água abaixo da exigência da cultura, conseqüentemente, condição para a redução na produtividade de grãos em condições de irregularidades na distribuição da precipitação.

Aliado a isto, áreas manejadas com semeadura direta são caracterizadas por aumento no teor de matéria orgânica do solo superficialmente. Este aumento superficial relaciona com aumento nos valores de capacidade de troca catiônica, disponibilidade de nutrientes, especialmente os nutrientes imóveis no solo como fósforo o que promove também camadas superficiais mais férteis e mais favoráveis ao acúmulo de raiz na superfície (EMBRAPA, 2014; NGOLO, 2019).

A recomendação do escarificador ou do subsolador para corrigir camadas compactadas em subsuperfície em solos de textura argilosa, com altos teores de ferro, como Latossolo Roxo encontrado nas regiões do Sul do país, é prática que apresenta resultados positivos no rompimento desta camada (em geral com resistência à penetração superior a 2,0 MPa) (TORMENA et al., 1998). Isto desde que a camada compactada seja corretamente diagnosticada e identificada.

Contudo, a prática da escarificação é considerada de elevado custo operacional e cujos efeitos no solo podem ser de curta duração (de 6 a 18 meses) caso não seja realizado o manejo adequado para evitar a recompactação do solo (EMBRAPA, 2020). Em estudo Freddi et al. (2006) valores de RP entre 0,90 a 2,00 MPa em Latossolo Vermelho de textura argilosa não afetaram a produtividade do milho. Similarmente, as produtividades de milho no Latossolo Vermelho com RP próximas de 2 MPa tem sido similares às produtividades no mesmo Latossolo com valores de RP bem inferiores a 2 MPa em áreas experimentais na Embrapa Milho e Sorgo. Rosseti e Centurion (2017) descrevem que se deve levar em consideração que o crescimento de raízes pode ser inibido com valores de resistência a penetração (RP) inferiores a 1 MPa em solos secos, contudo, com umidade suficiente, pode haver crescimento de raízes de milho com RP variando entre 4 e 5 MPa.

Por outro lado, a recomendação generalizada do uso do escarificador ou subsolador, em algumas condições, como em áreas com solo arenoso, com teores de areia acima de 85 % nos primeiros 50 cm de profundidade, não apresenta fundamentação em conhecimentos técnicos, sendo desnecessárias ou inefetivas. Isto porque nestas condições de textura, a macroporosidade permanece elevada mesmo sob forte efeito de compressão mecânica, além

de haver baixa coesão entre as partículas de areia, que torna o solo friável sob umidades relativamente baixas.

Contudo, valores de referência para a umidade de friabilidade, faixa de densidade crítica e estratégias de manejo para melhoria do perfil em solos arenosos precisam ser determinados com bases em padrões regionais, que levem em conta as características edafoclimáticas e dos sistemas de produção das áreas de produção.

Alguns indicadores que podem ser utilizados para avaliar a qualidade do solo:

a) Grau de compactação:

O grau de compactação tem sido utilizado como um indicador para quantificar os impactos do uso e manejo na qualidade física do solo. O grau de compactação do solo é a expressão da densidade relativa (DR) do solo em percentagem (BEUTLER et al., 2005; HAKANSSON; LIPIEC, 2000; KLEIN, 2006, 2008; KRZIC et al., 2003; SANTOS et al., 2005). A DR compreende a relação entre a densidade aparente do solo, que pode ser determinada por diferentes métodos (Teixeira et al, 2017), e a densidade máxima do solo (D_{max}) ou densidade de referência (D_{ref}), que pode ser determinada pelo ensaio de Proctor Normal (VARGAS, 1977) ou a partir de compressão uniaxial da amostra disposta em anéis de aço inox (HÅKANSSON, 1990). Este parâmetro elimina as influências da composição granulométrica, da mineralogia e da matéria orgânica do solo, facilitando a sua utilização no estudo e comparação de sistemas de uso e manejo dos solos. Os resultados do grau de compactação são expressos em base de percentagem, sendo que valores acima de 86%, na maioria dos anos, são considerados elevados e prejudiciais ao desenvolvimento das culturas, devido aos aumentos de densidade do solo, redução de macroporosidade e mudanças em outras propriedades do solo como condutividade hidráulica, permeabilidade e resistência do solo à penetração. Entretanto, valores abaixo de 80% também podem afetar negativamente a produtividade das culturas, pelo aumento da macroporosidade e conseqüentemente, diminuição da retenção de água pelo solo. Tendo estes valores como referência, os resultados podem ser comparados entre os diferentes sistemas de manejo, tipos de solos e graus de compactação.

A compactação determinada pela densidade do solo é de difícil interpretação devido a influência das características do solo: influência da composição granulométrica, da mineralogia e da matéria orgânica do solo (MARCOLIN e KLEIN, 2011).

Em estudo de compactação do solo em laboratório, o ensaio de Proctor normal é um dos mais usados. Com os resultados deste ensaio, Raghavan et al. (1990) observaram qual a umidade crítica de compactação, que indica o momento em que o trator começa a derrapar, o que contribui significativamente para o aumento da compactação do solo. Os mesmos autores observaram que o solo torna-se mais susceptível a compactação à medida que o teor de argila dos solos aumenta, devido a uma maior organização destas partículas no solo. Desta forma, estudos com solos de diferentes texturas são necessários para um melhor entendimento de como o grau de compactação afeta a retenção e a dinâmica de

água no solo.

b) Avaliação visual da estrutura do solo:

A avaliação visual da estrutura do solo (VESS) é um método de análise de solo realizado no campo, de forma prática e simples, considerada uma ferramenta confiável para avaliar a qualidade estrutural dos solos no mundo inteiro (FRANCO et al., 2019).

O método VESS consiste na amostragem de um solo não perturbado com o auxílio de uma pá reta para retirada de um bloco de solo de 25 cm profundidade, 10 cm espessura e 20 cm de largura. Em seguida, é revelando os agregados do solo manualmente através de seu ponto de fratura. A presença de raízes, juntamente com o tamanho, forma, cor, porosidade visível e resistência à ruptura dos agregados do solo são avaliados através de um diagrama para auxiliar, os diferentes usuários, a dar notas (Escores) à estrutura do solo. Esse diagrama foi desenvolvido por Ball et al. (2007) e aprimorado por Guimarães et al. (2011) para avaliação da estrutura do solo.

As estruturas recebem escores (Sq) variando de 1 (alta qualidade estrutural do solo) a 5 (baixa qualidade estrutural do solo) (Fig. 1). Solos com escores entre 4 e 5 sugerem danos à estrutura qualidade do solo e geralmente estão associados a uma deficiência capacidade desses solos para a produção agrícola (BALL et al., 2017).

Qualidade Estrutural	Tamanho e aparência dos agregados	Porosidade visível e raízes	Aparência depois do manuseio: vários solos	Aparência depois do manuseio: mesmo solo diferentes manejos	Característica distintiva	Aparência e descrição de agregados naturais ou fragmento reduzido de ~1,5 cm de diâmetro
Qe1 Friável Agregados quebram facilmente com os dedos	Maioria < 6 mm após a quebra	Alta porosidade Raízes por todo solo			 Agregados pequenos	 A ação de quebrar o bloco é suficiente para revelá-los. Agregados grandes são compostos por agregados menores, presos pelas raízes.
Qe2 Intacto Agregados quebram facilmente com uma mão	Uma mistura de agregados porosos e redondos entre 2 mm – 7 cm	Maioria dos agregados são porosos Raízes por todo solo			 Agregados altamente porosos	 Agregados quando obtidos são redondos, muito frágeis, despedaçam muito facilmente e são altamente porosos.
Qe3 Firme Maioria dos agregados quebram com uma mão	Uma mistura de agregados porosos entre 2mm -10 cm; menos de 30% são <1 cm. Alguns torrões angulares não porosos podem estar presentes	Macroporos e fissuras presentes Porosidade e raízes: ambas dentro dos agregados			 Agregados com baixa porosidade	 Fragmentos de agregados são razoavelmente fáceis de serem obtidos. Apresentam poucos poros e são arredondados. Raízes geralmente crescem através dos agregados.
Qe4 Compacto Quebrar agregados com uma mão requer esforço considerável	Maioria > 10 cm e são sub-angulares não porosos; possibilidade de horizontalização; menos que 30% são <7 cm	Poucos macroporos e fissuras Raízes agrupadas em macroporos e ao redor dos agregados			 Macroporos bem distintos	 Fragmentos de agregados são fáceis de serem obtidos quando o solo está úmido, em forma de cubo muito angulosos e pontudos e apresentam fissuras internamente.
Qe5 Muito compacto Difícil quebra	Maioria são maiores que > 10 cm, muito poucos < 7 cm, angular e não poroso	Porosidade muito baixa. Macroporos podem estar presentes. Pode conter zonas anaeróbicas Poucas raízes e restritas a fissuras			 Cor azul-acinzentada	 Fragmentos de agregados são fáceis de serem obtidos quando o solo está úmido, no entanto, considerável força é necessária. Geralmente não apresentam poros ou fissuras.

Figura 1 – Diagrama de Avaliação Visual da Estrutura do Solo – VESS (Adaptado por Guimarães et al., 2011).

O método DRES é uma adaptação do VESS, desenvolvido por Ralisch et al. (2017). Nas amostras, são observados o tamanho e a forma dos agregados e torrões, presença ou não de compactação ou outra modalidade de degradação do solo, forma e orientação das fissurações, rugosidade das faces de ruptura, resistência à ruptura, distribuição e aspecto do sistema radicular, e evidências de atividade biológica. A partir desses critérios, atribui-se uma pontuação de 1 a 6, na qual "6" é indicativo de melhor condição estrutural, e "1" representa o solo totalmente degradado.

c) Fracionamento da matéria orgânica e do fósforo no solo:

O fósforo caracteriza-se como nutriente pouco móvel no solo, muito complexado, com pequena fração lábil, e muito indisponível. Por isto, este nutriente é usualmente aplicado no sulco de plantio. Em grandes áreas de plantio, este nutriente é aplicado em superfície, e mais recentemente, antes do plantio agilizando o processo de semeadura. Esta prática adotada em semeadura direta promove concentração deste na camada de 0-0,10 m.

O aparecimento de camadas compactadas aumenta a imobilidade, reduz a biodisponibilidade e a difusibilidade deste nutriente no solo. Algumas plantas utilizadas em sistemas de produção proporcionam o aporte de carbono no solo. Devido a isso, pode ocorrer o aumento de fósforo orgânico lábil, e que dependendo da microbiologia do solo, resultar em melhor disponibilidade de fósforo para as plantas.

Há indícios de que substâncias liberadas no processo de mineralização da matéria orgânica podem amenizar os mecanismos de fixação do fósforo pelos colóides do solo, principalmente os óxidos. Todavia, permanece o problema da concentração deste nutriente na camada superficial.

A avaliação da matéria orgânica fracionada gera indícios da qualidade do manejo e é um dos indicadores da atividade microbiológica do solo (NOGUEIRA e HUNGRIA, 2013).

A matéria orgânica do solo pode ser definida como uma soma de todos os compartimentos de substâncias orgânicas, composta por uma mescla de resíduos animais e vegetais, em diversos estágios de decomposição (BRITO et al., 2018). Determinar o carbono do solo associado a diferentes frações da MOS permite avaliar a capacidade de sequestro e armazenamento do carbono em diferentes sistemas de manejo do solo e por isso é excelente indicativo de qualidade do solo (NGOLO et al., 2019), o que possibilita recomendar o melhor manejo.

Desta forma, o balanço de carbono no solo em áreas agrícolas consiste na entrada de carbono pelos resíduos das culturas e pela quantidade de carbono armazenado no solo (Ngolo, 2019). Para a manutenção dos estoques de carbono no solo, a MOS necessita estar em frações quimicamente mais estáveis e que apresentam maior tempo de resposta às mudanças no uso do solo. Desta forma, a MOS é composta das seguintes frações: C ligado a fração mineral do solo (C-MIN), C da fração particulada (C-PMO) e C da fração

leve (C-FL) (CAMBARDELLA e ELLIOT, 1992).

Além disso, a avaliação da atividade microbiana como componente microbiológico do solo gera importantes informações sobre a saúde do solo, visto que são indicadores bastantes sensíveis capazes de detectar as mudanças ocorridas no solo de forma mais eficiente do que atributos físicos e químicos do solo.

Recentemente, buscando preencher esta lacuna, a Embrapa (2018) lançou o BioAS que é tecnologia que agrega o componente biológico às análises de rotina de solos. Consiste na análise das enzimas arilsulfatase envolvida na liberação de íons sulfato no solo e β -glicosidase (hidrolase) envolvida na degradação da matéria orgânica do solo.

Tecnologias envolvendo a rotação de culturas têm avançado para a qualidade do solo, melhorando a estrutura do solo e a dinâmica da matéria orgânica, beneficiando atributos químicos e microbiológicos do solo.

Contudo em sistema plantio direto, podem existir solos compactados que proporcionam menor desenvolvimento e distribuição do sistema radicular mas que em contrapartida, devido ao grande aporte de resíduos vegetais e preservação de agregados refletem em maior estoque de carbono. Pois nesses sistemas menos perturbados ocorre mineralização da MOS mais lentamente, devido à proteção física que proporciona menor contato do material orgânico com a microbiota do solo (SARKER et al. 2018). Contrariamente ao descrito na literatura, Ngolo (2019) encontrou maior estoque de carbono no sistema de preparo com arado de disco em relação a semeadura direta. Isto devido às sucessivas incorporações em profundidade dos restos culturais ao longo de décadas.

Além do aumento de C no solo, outro efeito da palhada é a atenuação da energia de compactação, pois a palhada na superfície dissipa a energia de compactação. Isto foi verificado em estudo de Braidia et al. (2006) que detectaram 30% de dissipação da energia de compactação sobre o solo.

Os resíduos vegetais deixados sobre o solo, principalmente na entressafra, atuam favorecendo culturas semeadas em sucessão, proporcionando avanços satisfatórios nas propriedades químicas como aumento e mineralização da MOS, físicas como diminuição da compactação e maior agregação de partículas e biológicas pelo aumento da atividade dos microrganismos no solo (COSTA et al., 2015).

Como ressaltado por Manfre et al. (2019) a manutenção da palhada diminui a evaporação de água do solo, melhorando a infiltração e armazenamento de água, diminuindo assim as variações térmicas no solo, favorecendo o desenvolvimento das plantas e organismos vivos, além de diminuir processos erosivos, com diminuição do escoamento superficial e menor desagregação do solo. A retirada de resíduo vegetal acarreta redução do carbono orgânico do solo (JESUS et al., 2015) afetando a qualidade do solo.

A dinâmica da MOS também é influenciada pela propriedade física do solo como a textura. Solos com maiores porcentagens de argila possuem maior capacidade de estabilizar o carbono devido às ligações organominerais (REIS et al. 2014). Por isso, estes

solos apresentam maior capacidade de estocar carbono e que por sua vez pode contribuir para formação de agregados, em que microagregados dentro de macroagregados contribuem mais para a proteção física e consequente estabilização da MOS (SIX et al., 2004) e estruturação do solo.

CONCLUSÃO

A adequada recomendação de técnicas para a recuperação de áreas compactadas necessita diferir para os solos em função da sua classe textural.

Em solos argilosos, a compactação tem sido caracterizada pelo aparecimento de camada superficial e subsuperficial com alta densidade e resistência a penetração, e redução na infiltração de água no solo. Nestas condições, a solução para mitigar a compactação tem sido priorizar adoção de técnicas que promovam o aumento a infiltração de água no solo. Para tanto, o uso do escarificador tem efeito positivo tanto para destruir a camada compactada em subsuperfície quanto para melhorar a infiltração de água no solo, no entanto, a prática é considerada de alto custo e o efeito de curta duração.

Outra opção para estas condições tem sido o cultivo, em sistema de rotação, de plantas com sistema radicular de crescimento profundo para melhoria do perfil do solo. Por outro lado, a compactação em solo de textura média e arenosa tem sido caracterizada pela redução da infiltração, todavia, nesta condição, devido ao rearranjo de partículas do solo, proveniente da frágil estrutura do solo após o uso e a baixa capacidade de retenção de água deste. Nestes casos, o aumento nos teores de matéria orgânica do solo parece recomendação mais adequada, buscando manter a estrutura do solo e a aumento da retenção de umidade.

O uso de escarificador em solos textura média ou arenosa, comum no Brasil Central, deve ser evitado tanto pela inocuidade da técnica quanto pela redução de custos. Todavia, não há literatura disponível que subsidie ou oriente sobre a recomendação técnica nessa condição.

Uma importante ação no SPD é a manutenção da palhada na superfície do solo. Este efeito beneficia o solo, pois a palhada atua na dissipação da pressão exercida sobre o solo pelo tráfego de máquinas pesadas e por ser fonte de matéria orgânica, com decomposição gradativa e liberação de nutrientes ao solo, promovendo maior estabilidade do sistema agrícola.

Uma importante estratégia no processo de descompactação do solo é a adoção de plantas de cobertura com sistema radicular robusto como um importante agente “biodescompactador” do solo, pois com o revolvimento nas camadas superficiais do solo no plantio no SPD, aliado ao peso dos implementos agrícolas, tende a adensar as camadas subsuperficiais, diminuindo o espaço poroso causando a compactação.

A variabilidade dos atributos em cada classe permite indicar o manejo mais adequado em cada situação de solo compactado. A exemplo, o uso do valor de resistência

a penetração de 2 MPa como referência para compactação e produtividade das culturas é indicação de uso para os solos das regiões Sul do país. Este valor não tem sido adequado como referência para o limite à produtividade das culturas nos Latossolos nas regiões Sudeste e Centro Oeste.

Recomenda-se estabelecer valores limites para os atributos físicos e de fertilidade de solo que caracterizem a compactação por classe textural adequados a cada clima e solo. Em adição, o conhecimento dos atributos permite diagnóstico da compactação permitindo recomendação de uso adequada como práticas para o aumento da matéria orgânica no solo, consequentemente aumentando a disponibilidade de fósforo.

REFERÊNCIAS

- ALTMANN, N. **Plantio Direto no Cerrado: 25 anos acreditando no sistema**. Ed. Aldeia Norte. Passo Fundo. 568 p., 2010.
- BALL, B. C., BATEY, T., MUNKHOLM, L. J. Field assessment of soil structural quality: a development of the Peerkamp test. ***Soil Use and Management***, v. 23, p. 329–337, 2007.
- BALL, B. C., GUIMARÃES, R. M. L., CLOY, J. M., HARGREAVES, P. R., SHEPHERD, T. G., MCKENZIE, B. M. Visual soil evaluation: a summary of some applications and potential developments for agriculture. ***Soil and Tillage Research***, v. 173, p. 114–124, 2017.
- BRITO, M. R., TONANI DE SIQUEIRA, F. L., DE SOUSA, I. J. A., & DE SOUSA, R. N. (2018). Estoque de carbono no solo sob diferentes condições de cerrado. **DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, 5, 114-124.
- BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C.T.; SOUZA, F. R.; VENTUROSOS, L. R.; BERGAMIN, L. P. P.; CAMPOS, M. C. C. Relationship of soil physical quality parameters and maize yield in a Brazilian Oxisol. ***Chilean Journal of Agricultural Research***, v 75, n.3, p. 357-365, 2015.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produção de soja. ***Revista Brasileira de Ciência do Solo***, v. 29, n. 6, p. 843-849, 2005.
- BICKI, T. J.; SIEMENS, J. C. Crop response to wheel Tractor soil compaction. ***American Society of Agricultural and Biological Engineers***, v. 34, n. 3, p. 909-913, 1991.
- BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relação com a densidade máxima obtida no ensaio de Proctor. ***Revista Brasileira de Ciência do Solo***, 30:605-614, 2006.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Participate Soil Organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence. ***Soil Science Society of America Journal***, v. 56, p. 777-783, 1992.
- CAMPOS, A. G. de **Sistemas de preparo do solo por 20 anos influenciando as propriedades físicas de um Latossolo**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São João Del-Rei, 83 p., 2016. Disponível em < https://ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/ppgca/Dissertacao%20Adriano%2026_2_16.pdf >. Acesso em 26 out 2021.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; ARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, p. 852-863, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 2020. **Como manter a produtividade na lavoura de grãos**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/53398887/como-manter-a-produtividade-na-lavoura-de-graos>>. Acesso em 26 out 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 2018. **Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnicas/-/produto-servico/6047/bioas--tecnologia-de-bioanalise-de-solo->>. Acesso em 26 out 2021.

RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.; MELO, A. da S.; SANTI, A.; MARTINS, A. L. da S.; DE BONA, F. D. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 2017. **Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES)**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/24645717/pesquisadores-lancam-diagnostico-rapido-da-estrutura-do-solo>>. Acesso em 26 out 2021.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análises de solo**. 3ª ed. Rio de Janeiro; 2017, 574 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 2014 *Simplificação do plantio direto reduz eficiência da lavoura*. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1909275/simplificacao-do-plantio-direto-reduz-eficiencia-da-lavoura>>. Acesso em: 26 out. 2021.

FEBRAPD. **Produtividade compactada**. 2019 Disponível em: <<https://febrapdp.org.br/noticias/681/produtividade-compactada>>. Acesso em: 26 out. 2021.

FRANCO, H. H. S.; GUIMARÃES, R. M. L.; TORMENA, C. A.; CHERUBIN, M. R.; FAVILLA, H. S. Global applications of the Visual Evaluation of Soil Structure method: A systematic review and meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, v. 190, p. 61-69, 2019.

FREDDI, O. S.; CARVALHO, M. P.; VERONESI JÚNIOR, V.; CARVALHO, G. J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. *Engenharia Agrícola*, v.26, p.113-121, 2006.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 627-636, 2007.

GUIMARÃES, R. M. L., BALL, B. C., TORMENA, C. A. Improvements in the visual evaluation of soil structure. *Soil Use and Management*, v. 27, p. 395–403, 2011.

HAKANSSON, I.; LIPIEC, J. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil and Tillage Research*, v. 53, n. 2, p. 71-85, 2000.

HÅKANSSON, I. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. *Soil & Tillage Research*, v.16, p.105-120, 1990.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W.K. Soil compaction in crop systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, v. 82, p. 121-145, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em: < <http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em 26 out 2017.

JESUS, G. L.; SILVA, I. R.; ALMEIDA, L. F. J.; SANTOS, M. A.; LEITE, F. P.; NEVES, J. C. L. Produtividade do Eucalipto, atributos físicos do solo e frações da matéria orgânica influenciadas pela intensidade de tráfego e resíduos de colheita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V. 39, p.1190-1203, 2015.

KLEIN, V. A. Densidade relativa: um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. **Revista de Ciência Agroveterinária**, v. 5, n. 1, p. 26-32, 2006.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: Ed. UPF, 2008.

KRZIC, M.; BULMER, C.; TESTE, F.; RAHMAN, S.; DAMPIER, L. Relative measure of bulk density to characterize compaction of forest soils caused by harvest. Vancouver: UBC, 2003. (Final Report R2003-0219). Disponível em: < <https://www.for.gov.bc.ca/HFD/library/FIA/2003/R2003-219.pdf> >. Acesso em 26 out. 2021.

LLANILLO, R. F.; TELLES, T. S.; SOARES JÚNIOR, D.; PELLINI, T. Sistemas de preparo de solo em lavouras temporárias no Brasil: números do Censo Agropecuário de 2006. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3691-3698, 2013.

MANFRE, E. R.; FARIA, A. F.; SANTOS, A. D.; MARTINS, E. A.; MACENA, F. C. O sistema de plantio direto na produção de milho: A importância das plantas de cobertura em lavouras. **ANAI SINTAGRO**, Ourinhos-SP, v. 11, n. 1, p. 329-336, 2019.

MARCOLIN, C. D.; KLEIN, V. A. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. **Acta Scientiarum, Agronomy**, v. 33, n.2, p. 349-354, 2011.

MONTANHA, G. K.; GUERRA, S. P. S.; DENADAI, M. S.; CAMPOS, F. H. Na hora. **Revista Cultivar Máquinas**, n. 159, p.17-19, 2016.

NGOLO, A.O. Alterações na qualidade física de um latossolo vermelho do cerrado brasileiro em resposta aos efeitos de longo prazo no manejo do solo. Tese DSc., UFV, 69p., 2019.

NUNES, M. R., PAULETTO, E. A., DENARDIN, J. E., SUZUKI, L. E. A. S., VAN ES, H. M.. Dynamic changes in compressive properties and crop response after chisel tillage in a highly weathered soil. **Soil and Tillage Research**, v. 186, p. 183–190, 2019.

NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. **Indicadores microbiológicos da qualidade do solo**. SBCS, Núcleo Estadual do Paraná. 2013. Disponível em: < <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/958093/1/Indicadoresmicrobiologicosdaqualidadedosolo.pdf> >. Acesso em 26 out. 2021.

OLIVEIRA, M. F. de; ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C.; OLIVEIRA, A. C. de; COELHO, A. M.; KARAM, D. Sistemas de Preparo do Solo Caracterizando as Propriedades Químicas do Latossolo Vermelho e as Produtividades de Milho em Sete Lagoas, MG. Embrapa Milho e Sorgo, **Comunicado Técnico 209**, 12 p., 2014.

RAGHAVAN, G. S. V.; ALVO, P.; MCKYES, E. Soil compaction in agriculture: A review toward managing the problem. **Advances Soil Science**, v.11, p.1-36, 1990.

ROSSETTI, K. V., CENTURION, J. F. Compactação em Latossolos e suas relações com o crescimento radicular do milho. *Revista Agro@mbiente On-Line*, v. 11, p. 181-190, 2017.

SANTOS, G.A.; DIAS JUNIOR, M.S.; GUIMARÃES, P.T.G.; FURTINI NETO, A.E. Diferentes graus de compactação e fornecimento de fósforo influenciando no crescimento de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivadas em solos distintos. **Ciência & Agrotecnologia**, v.29, n.4, p.740-752, 2005.

SARKER, J.R, SINGH, B.P., COWIE, A.L., FANG, Y., 2018. Agricultural management practices impacted carbon and nutrient concentrations in soil aggregates, with minimal influence on aggregate stability and total carbon and nutrient stocks in contrasting soils. *Soil and Tillage Research*, 178, 209 – 223.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.573- 581, 1998.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo: USP, 1977.

REIS, D. A.; LIMA, C. L. R. de; PAULETTO, E. A. Resistência tênsil de agregados e compressibilidade de um solo construído com plantas de cobertura em área de mineração de carvão em Candiota, RS. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 38 (2): 669-678, 2014.

SOANE, B. D. The role of organic matter in soil compactibility: A review of some practical aspects. **Soil and Tillage Research**, v. 16, p. 179-201, 1990.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S. & DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Till. Res.*, 79:7-31, 2004.

SPERA, S.T.; MAGALHÃES, C.A.S.; CHITARRA, L.G.; GALBIERI, R. Escarificação em áreas de lavouras e pastagens em Mato Grosso: quando e como efetuar. Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril, 2018a. 24p. (Embrapa Agrossilvipastril. Circular Técnica, 4).

SPERA, S.T.; MAGALHÃES, C.A.S.; DENARDIN, J.E.; ZOLIN, C.A.; MATOS, E.S.; SOUZA, L.G.A.; SHIRATSUCHI, L.S. Estratificação química e física em solos manejados com sistema plantio direto em Mato Grosso Entraves à produção das culturas. Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril, 2018b. 34p. (Embrapa Agrossilvipastoril. Documentos, 7).