

## AGREGAÇÃO DO SOLO COMO INDICADOR DE QUALIDADE DE SISTEMAS AGRÍCOLAS

Fernando Luiz da Cruz Balena<sup>1</sup>, Deonir Secco<sup>1</sup>, Reginaldo Ferreira Santos<sup>1</sup>, Carlos Henrique Fornasari<sup>1</sup>, Pablo Chang<sup>1</sup>, Vitória Regina Morello Gongora<sup>1</sup>, Vitória Fenilli Vidaletti<sup>1</sup>, Natasha Barchinski Galant Lenz<sup>1</sup>, Maikon Lucian Lenz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia na Agricultura. Rua Universitária, 2069, CEP: 85819-110, Jardim Universitário, Cascavel, PR. E-mail: fernando.balena@unioeste.br

**RESUMO:** A matéria orgânica tem implicações sobre o comportamento físico do solo, o entendimento do seu papel na agregação é de fundamental importância para a definição de estratégias sustentáveis de manejo do solo. No desenvolvimento de práticas que buscam a melhoria estrutural dos solos, alguns aspectos são de relevante importância no âmbito dos agregados, responsáveis por sua formação e pela estabilidade após formação. Agregados com elevado teor de matéria orgânica são mais estáveis do que aqueles com baixo teor deste componente. A preservação do carbono, em classes de macroagregados, está relacionado à redução das emissões dos gases de efeito estufa (GEE), bem como, ganhos no sistema de cultivo adotado, servindo como indicador da qualidade. Em virtude das frequentes demandas frente à administração estrutural do solo, será apresentado estudo de preservação e melhoria da agregação dos solos pela matéria orgânica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Macroagregados, preservação do carbono, estratégias sustentáveis.

## SOIL AGGREGATION AS A QUALITY INDICATOR OF AGRICULTURAL SYSTEMS

**ABSTRACT:** Organic matter has implications for the physical behavior of the soil, understanding its role in aggregation is of fundamental importance for the definition of sustainable soil management strategies. In the development of practices that seek the structural improvement of soils, some aspects are of relevant importance in the context of aggregates, responsible for their formation and stability after formation. Aggregates with a high content of organic matter are more stable than those with a low content of this component. The preservation of carbon, in macro-aggregated classes, is related to the reduction of greenhouse gas (GHG) emissions, as well as gains in the adopted cultivation system, serving as an indicator of quality. Due to the frequent demands regarding the structural management of the soil, a study on the preservation and improvement of soil aggregation by organic matter will be presented.

**KEY WORDS:** Macro-aggregates, carbon preservation, sustainable strategies.

## INTRODUÇÃO

O aumento gradual da diversidade vegetal, por meio de práticas de restauração e processos sucessórios, garante maior deposição de resíduos vegetais de composição variada, importante para manutenção da resiliência dos sítios (Novak et al., 2019).

Dos efeitos diretos e indiretos da matéria orgânica do solo (MOS), os efeitos diretos estão relacionados à capacidade de influenciar alguns fenômenos físicos e químicos, pela elevada área superficial específica e grande quantidade de cargas superficiais. Indiretamente, por seus efeitos sobre agregação e consistência do solo, atuando na formação de agregados; portanto, na distribuição do tamanho de poros, assim como da sua estabilidade (Braidá et al., 2011).

Agregados maiores e mais estáveis estão associados ao aumento da atividade biológica, incluindo o crescimento de raízes e hifas fúngicas, bem como a presença dos restos culturais, insetos e outros organismos (Salton et al., 2014). Nessas condições, formam-se estruturas mais complexas, incluindo macroagregados (Novak et al., 2019).

Lopes et al. (2017) constataram que a deposição de palhada, sobre o solo ocasionou maior agregação, com aumento dos agregados de maior diâmetro. Em contrapartida, fluxos reduzidos de energia e carbono no solo, levam a níveis mais baixos de organização, com estrutura do solo mais simples e predomínio de microagregados (Salton et al., 2014).

A matéria orgânica exerce grande influência na formação e estabilidade dos agregados (Bayer e Mielniczuk, 2008), a diminuição de seu conteúdo no solo pela não utilização de práticas conservacionistas nos cultivos é uma das maiores causas de deterioração da estrutura do solo (Wendling et al., 2005). A conversão da vegetação nativa para o preparo agrícola, baseado em arado e gradagem, rompe os agregados do solo, promove a dispersão das partículas de argila e microagregados, reduzindo a formação de novos agregados (Soares et al., 2018).

Diferentes sistemas de manejo resultarão em distintas condições de preservação da matéria orgânica e do equilíbrio físico do solo, que poderão ser favoráveis ou não, à sua conservação e à produtividade das culturas (Argenton et al., 2005; Rozane et al., 2010). Adoção de sistemas de manejo que mantenham a proteção do solo pelo contínuo aporte de resíduos orgânicos é essencial para manutenção e, ou, melhoria da estrutura do solo (Rauber et al., 2012; Betioli Júnior et al., 2012; Stefanoski et al., 2013; Ferreira et al., 2018).

Atualmente, são crescentes as preocupações com impactos ambientais negativos, gerados por atividades ineficientes. Os sistemas de produção devem prever as boas práticas agrícolas, com desempenho superior em termos de qualidade ambiental e menor emissão dos gases de efeito estufa (GEE) por unidade de produção; ao mesmo tempo, eficientes em termos produtivos, garantindo a sustentabilidade.

O encapsulamento do carbono orgânico do solo, dentro dos agregados, é um dos principais mecanismos para sequestro de carbono em longo prazo, formação e estabilidade de macroagregados (Tivet et al., 2013; Ferreira et al., 2018).

Nessa revisão, objetivou-se abordar aspectos relacionados à preservação e melhoria da estrutura granular dos solos pela matéria orgânica, e sua importância no sequestro de carbono, contribuindo para uma análise abrangente acerca da qualidade física dos solos e sua relação com sistema de manejo empregado.

## **ESTABILIDADE DE AGREGADOS E ADMINISTRAÇÃO ESTRUTURAL DOS SOLOS**

### *AGREGADOS E A ESTRUTURA DO SOLO*

O processo de formação de agregados chamada agregação (Agregação = flocculação + cimentação) é a primeira etapa no desenvolvimento da estrutura do solo (Lal e Shukla, 2004). A estrutura do solo pode ser definida como resultado da agregação das suas partículas primárias (areia, silte e argila) e outros componentes como, a matéria orgânica, os calcários, os sais, podendo reunir-se originando formas definidas, os agregados estáveis, também chamados elementos estruturais ou unidades estruturais (Kiehl, 1979).

Agregados são unidades naturais secundárias, ligadas entre si por agentes cimentantes, os mais comuns incluem: substâncias orgânicas, sesquióxidos ( $\text{FeO}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ), carbonatos, sílica e a própria argila (Lal e Shukla, 2004; Santos et al., 2015). A MOS umedecida, com suas longas cadeias poliméricas e carga elétrica balanceada, por cátions polivalentes, é uma agente cimentante muito eficaz. Hifas fúngicas e subprodutos microbianos também são agentes cimentantes (Lal e Shukla, 2004).

Aglutinadas por agentes cimentantes, as partículas estão sujeitas a outros fenômenos como umedecimento e ressecamento alternados, causando expansão e contração da massa de solo que, por sua vez, provoca o surgimento de rachaduras em superfícies de fraqueza. A penetração das raízes e as galerias cavadas por pequenos animais também podem agir e provocar fendilhamento, em ambos os casos, tais rachaduras estão associadas à aglomeração de partículas, formando agregados (Lepsch, 2010).

Para Fernandes et al. (2017), os agregados do solo são formados por duas vias distintas: a fisiogênica, relacionada a ciclos de umedecimento/secagem e adição de matéria orgânica; e biogênica, associada à ação dos organismos da macrofauna e de raízes.

Os mecanismos de agregação podem ser resumidos na Figura 1, em que A denota agregação e D dispersão.

<i>Partículas de Argila</i>	A ⇌ D	Ponto de Carga Zero (PCZ)	A ⇌ D	Domains/ Quase crystals/ Assemblages.	A ⇌ D	Flóculo	A ⇌ D	Agregado Primário	A ⇌ D	<b>Agregado secundário</b>
-----------------------------	-------------	---------------------------	-------------	---	-------------	---------	-------------	-------------------	-------------	----------------------------

**Figura 1** – Formação de agregados: da partícula de argila aos macroagregados. Fonte: Adaptado de Rengasamy et al. (1984); Fontes et al. (2001); Lal e Shukla (2004).

Segundo Rengasamy et al. (1984), partículas de montmorilonita arranjam-se em quase-cristais (*quase-crystals*), formando poros entre 1-4 nanômetros de diâmetro. Ilitas formam domínios (*domains*) e com poros de cerca de 10 nanômetros. Finalmente, a caulinita se organiza em assembléias (*assemblages*), pouco ordenadas, com poros que podem chegar a 100 nanômetros.

O menor componente é o domínio ou quase-cristal ou assembléias. Estes são, essencialmente, flóculos cimentados por diferentes agentes. O maior componente é o agregado <5 mm. Qualquer coisa >5 mm refere-se à estrutura composta ou torrão (Lal e Shukla, 2004).

No entanto, em ambientes tropicais e subtropicais, com cultivo sob sistema plantio direto (SPD) e onde o distúrbio do solo é mínimo, podem ser encontrados macroagregados de tamanho grande e extragrande, que possuem, pois, diâmetro variando de 2-8 mm e 8-19 mm, respectivamente (Tivet et al., 2013; Ferreira et al., 2018).

Segundo Lal e Shukla (2004) a compreensão dos mecanismos de agregação (Figura 1), e o desenvolvimento de estratégias de manejo que impulsionem essa reação para o lado direito, são extremamente importantes para produção agropecuária (alimento, fibras e energia) e a segurança alimentar global.

Doravante, a disposição dos poros e agregados, definida pela estrutura do solo, possui grande influência sobre a retenção e movimento d'água, aeração, transferência de calor e porosidade (Costa, 2011). Algumas práticas afetam diretamente a estrutura do solo,

principalmente nos horizontes superficiais, como desmatamento, aração, cultivo, tráfego, drenagem, calagem e adição de matéria orgânica (Brady e Weil, 2013).

Lopes et al. (2017) avaliaram o impacto da aplicação de diferentes níveis de palhada de cana-de-açúcar sobre a agregação e distribuição de carbono orgânico ( $C_{org}$ ), em classes de agregados, de um Latossolo Vermelho em Paranaíba-PR. Doravante, constataram que a aplicação de 7,55 e 14,85 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de palhada, aumentou a proporção de agregados de maior diâmetro (4-2 e 2-1 mm), associados a teores mais elevados de  $C_{org}$  do solo (14,4 e 13,2 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente); sendo nível de palha adequado para manter, sobre a superfície do solo, visando manutenção de sua estrutura.

A classificação mais generalizada da estrutura do solo, no campo, é a utilizada segundo Soil Survey Manual (2017), onde os tipos de estrutura normalmente encontradas, são: em forma esferoidal (granular e grumosa), em forma de blocos (angulares e subangulares), em forma prismática (prismática e colunar), em forma laminar (não possui subtipos).

As agregações mais convenientes são as grumosas e as granuladas médias e finas (Costa, 2011). A preservação e melhoria desse tipo peculiar de estrutura consistem em um dos mais importantes aspectos do solo em áreas cultivadas (Brady, 1983).

Em solos de granulometria mais grossa, com elevado teor de areia, desprovida de cargas em superfície, a matéria orgânica é um dos principais agentes cimentantes das partículas do solo (Lopes et al., 2017). De maneira geral, nos climas mais úmidos são preferíveis às agregações grumosa ou granulada média (agregados com cerca de 2-5 mm de diâmetro); nos mais secos, granulada fina (agregados com cerca de 1-2 mm de diâmetro) (Costa, 2011).

As vantagens de estruturas granulares resultam, em grande parte, da permissão à fácil penetração das raízes, são propícias a infiltração da água gravitacional, através dos espaços existentes entre agregados, além da retenção de reservas de água nos espaços intersticiais dentro de cada agregado que, em grande parte, pode ser absorvida pelas raízes (Baver, 1947).

Espaços maiores, entre agregados, garantem também conveniente arejamento; além disso, os agregados são menos facilmente arrastados pelas águas de escoamento superficial ou pelo vento, comparativamente a partículas isoladas, aumentando à resistência do solo a erosão, juntamente com a fácil infiltração da água (Costa, 2011; Brady e Weil, 2013).

O tamanho dos agregados é variável determinante na distribuição do tamanho dos poros do solo. No campo, tem impacto direto na suscetibilidade a erosão (erodibilidade) da superfície

dos solos, pois agregados frequentemente aderem-se uns aos outros, embora não tão tenazmente quanto às partículas dentro de cada agregado (Hillel, 2004).

Os agregados podem ser divididos em cinco classes (<0,2; 0,2-2; 2-20; 20-250; e >2000  $\mu\text{m}$ ) (Tisdall e Oades, 1982), os quais se formariam, sucessivamente, num modelo hierárquico. Estes limites são variáveis conforme o tipo do solo, bem como, os agentes envolvidos na estabilização dos agregados das distintas classes. Entretanto, os limites estabelecidos por Edwards e Bremner (1967), microagregados (<250  $\mu\text{m}$ ) e macroagregados (>250  $\mu\text{m}$ ), tem sido mais amplamente aceito e comprovado em estudos subsequentes; aparentemente, aplicável para distintos tipos de solos (Braida et al., 2011).

#### *ESTABILIDADE DE AGREGADOS*

A estabilidade do agregado depende dos agentes de ligação envolvidos na cimentação das partículas. Por sua vez, estabilidade estrutural é a capacidade de um solo reter seu arranjo de sólidos e espaços vazios, quando forças externas (naturais e antrópicas) são aplicadas (Lal e Shukla, 2004).

Aparentemente há três fatores, principais, que exercem influência sobre a estabilidade dos agregados: (a) ação temporária de aglutinação mecânica dos microrganismos, efeito acentuado quando a matéria orgânica recente é adicionada ao solo; (b) efeito de cimentação dos produtos intervenientes da síntese e da decomposição microbiana, tais como gomas e polissacarídeos, chamado de componentes pré-húmus, eficazes como estabilizadores dos agregados; e (c) efeito de cimentação dos componentes mais resistentes e estáveis do húmus, que proporciona a estabilidade dos agregados por longo prazo (Brady, 1983).

Para Lal e Shukla (2004) os fatores que afetam a resistência dos agregados do solo são o conteúdo de água, textura, minerais de argila, conteúdo de matéria orgânica e tamanho de agregados. A formação e estabilidade dos agregados esta, intimamente, relacionadas à qualidade do solo, contribuindo de maneira significativa na capacidade de estocar carbono e na manutenção de nutrientes (Fernandes et al., 2017).

Solo com boa agregação são mais resistentes à erosão e à compactação, possuindo boa aeração, maior capacidade de infiltração de água e meio apropriados para desenvolvimento e funcionamento das raízes das plantas (Salton e Tomazi, 2014).

Os sistemas conservacionistas, com maior tempo de implantação e menor emprego de práticas culturais, favorecem o acúmulo e a manutenção do carbono no solo, com consequentes aumentos dos valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e de diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados (Lima et al., 2003; Rossi et al., 2016).

Ao analisar a estabilidade de agregados de solos de uma microbacia no município de Santa Cruz do Rio Pardo-SP, Demarchi et al. (2011) constataram que os principais fatores responsáveis pela estabilidade dos agregados, foram: argila, matéria orgânica, cobertura vegetal e tipo de uso e manejo do solo. Sendo este último, capaz de promover diferentes graus de alteração nas propriedades químicas e físicas do solo.

Rocha et al. (2015), avaliaram a influência do reflorestamento com essências nativas, eucalipto e pastagem nos atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo com horizonte A arenoso de áreas degradadas. Constataram que o fragmento florestal pouco perturbado, com maior conteúdo de carbono orgânico ( $C_{org}$ ), apresentou maior DMG, DMP e maior índice de estabilidade dos agregados (IEA). As áreas com menor DMP, DMG e IEA foram de pastagem e reflorestamento (essências nativas aos 4 anos). O teor de  $C_{org}$  do solo apresentou correlação com o DMP ( $r=0,83$ ;  $p<0,001$ ), com o DMG ( $r=0,72$ ;  $p<0,001$ ) e com IEA ( $r=0,64$ ;  $p=0,002$ ), demonstrando a íntima relação entre a MOS e sua agregação.

Segundo os mesmos pesquisadores, a baixa agregação observada nos reflorestamentos, com essências nativas aos 4 e 9 anos, bem como nas áreas de pastagem, deve-se ao manejo intensivo sofrido no passado, necessitando de longo tempo de recuperação. Vale ressaltar que, solos com textura arenosa apresenta menor capacidade de agregação. Além de outros fatores, a argila tem importante papel na agregação e estabilidade dos agregados.

A formação e manutenção de um alto grau de agregação do solo é uma das mais importantes e difíceis tarefas no manejo do solo, pois, alguns agregados são destruídos pelo impacto das gotas de chuva, regas e pelo próprio preparo do solo. Sabe-se, que a formação de agregados na superfície provoca diminuição da densidade e aumento da macroporosidade que, por sua vez, permite maior difusão de gases e a drenagem da água gravitacional (Brady e Weil, 2013). A estabilidade dos agregados é essencial para moderar a qualidade do solo e prevenir a erodibilidade (Zeng et al., 2018).

Em contrapartida, em longo prazo, as operações de subsolagem acarretam efeitos perniciosos aos grânulos superficiais do solo, certamente, por revolver e misturar o solo. A subsolagem acelera a oxidação da MOS; além do mais, tende a destruir os agregados estáveis

do solo e ocasionar a compactação das camadas mais profundas (Brady, 1983; Lal e Shukla, 2004).

Como nos cultivos convencionais, onde agregados expostos, na superfície do solo, estão susceptíveis a ação das gotas da chuva, e das gotas da irrigação por aspersão. Sais presentes na água de irrigação estimulam a dispersão das argilas, que tendem a ser carregadas. Tal material, sem estrutura definida, recobre a superfície do solo obstruindo seus poros, num processo chamado selamento superficial (Brady e Weil, 2013).

Quando soltas, essas partículas são facilmente transportadas pela água que incide sobre o solo, seja pela chuva ou irrigação, para fora do sistema de produção e, ou, carregada em profundidade através da porosidade do solo. Nesse último caso, pode ocasionar entupimento dos poros, formando uma faixa de sedimentos susceptível a compactada, por pressões exercidas e associadas ao peso das máquinas (Trigueiro, 2019).

O entendimento dos processos que envolvem a erosão hídrica e suas relações com perdas de solo e água, em sistemas de produção agrícolas ou florestais, é de grande importância na identificação e escolha de medidas apropriadas. O planejamento deve englobar tais medidas, pois grande parte dos impactos no solo é decorrente da operação de manejo adotada, preparo do solo, os tratos culturais, à colheita mecanizada e à construção e manutenção de estradas. Tendo como agravante, o fato de as florestas comerciais estarem, normalmente, inseridos em ecossistemas sensíveis às perturbações antrópicas, como relevo acidentado, solos com baixa fertilidade natural, antigas área agrícolas e de pastagens degradadas (Cândido et al., 2014).

A presença de cobertura do solo como resíduos vegetais (necromassa, serrapilheira e, ou, restos culturais) é fator preponderante na dissipação da energia de impacto das gotas da chuva na superfície do solo, evitando a desagregação de suas partículas (Bertol et al., 2007; Panachuki et al., 2011).

Contudo, em regiões tropicais, também é esperada ocorrência de precipitações intensas, em curto espaço de tempo, onde a quantidade de água descarregada sobre o solo excede sua capacidade de infiltração, gerando o escoamento hortoniano (superficial). Nesses casos, a contenção da água por estruturas – terraços – capazes de proporcionar a interrupção do caminamento da água em superfície e, sobretudo, reter maior volume de água possível, faz-se necessário (Pruski et al., 2009; Trigueiro, 2019).

Terraços devem ser mantidos em sistema plantio direto (SPD), pois constituem uma prática eficiente no controle da erosão (Caviglioni et al., 2010), devendo-se realizar



periodicamente o monitoramento das características químicas e físicas dessas áreas agrícolas (Campos et al., 2018).

### **MACROAGREGADOS COMO INDICADORES DA QUALIDADE**

No sistema plantio convencional (SPC), com revolvimento do solo por operações de aração e gradagem, tem-se observado maior presença de microagregados com tamanho variando de 0,25-2 mm de diâmetro. Contudo, em áreas de SPD consolidado, tem-se encontrado macroagregados grandes (2-8 mm) e extragrandes (8-19 mm). Segundo Tivet et al. (2013), o revolvimento do solo promove a quebra dos macroagregados, expondo a MOS, previamente protegida, à processos de decomposição pela biomassa microbiana, com degradação dos estoques de carbono (C) do solo.

Certamente, dentre diversos indicadores de qualidade do solo, a agregação se destaca, pela correlação e sensibilidade a mudanças no uso do solo, e por estar diretamente relacionada ao sequestro de carbono para redução dos GEE (Tivet et al., 2013; Sheehy et al., 2015; Ferreira et al., 2018).

Sales et al. (2016), num Latossolo Vermelho-Amarelo de textura franco-argilo-arenosa do semiárido, constataram que SPD manteve agregação do solo semelhante a vegetação nativa, enquanto o preparo convencional reduziu a agregação e o aporte de carbono no solo.

Como agregação é muito sensível às operações de revolvimento do solo, nas regiões de clima temperado, onde as práticas agrícolas envolvem revolvimento, observa-se forte presença de macroagregados pequenos (0,25-2 mm), cujos estoques de C situam-se na faixa dos 20-36 Mg ha<sup>-1</sup>; bem como, macroagregados grandes (2-8 mm), com estoque de C de 5-18 Mg ha<sup>-1</sup>, na camada superficial (0-20 cm). Contudo, solo sob SPD de longo prazo, e nas condições subtropicais, os macroagregados extragrandes (8-19 mm) podem representar até 75% do total de macroagregados, com estoque de C de até 50 Mg ha<sup>-1</sup> na camada de 0-20 cm (Tivet et al., 2013; Ferreira et al., 2018).

Segundo Pinto et al. (2020), para classe dos macroagregados, tem-se verificado maiores teores de carbono na fração humina. Já para as frações, ácido fúlvico e ácido húmico, mais lábeis, maiores teores são verificados na classe dos microagregados.

Diferentemente das argilas, a cimentação das partículas do solo promovida pela MOS dá origem a agregados menos susceptíveis à deformação ou à desagregação, causada pelo revolvimento do solo e pelo tráfego de máquinas. Esse agente cimentante funciona como uma

esponja, capaz de se deformar sob pressão e retomar forma original quando a pressão cessa – resiliência (Trigueiro, 2019). Portanto, adoção de sistemas de manejo que mantenham a proteção do solo pelo contínuo aporte de resíduos orgânicos é essencial para manutenção e, ou, melhoria da estrutura do solo (Rauber et al., 2012; Betioli Júnior et al., 2012; Stefanoski et al., 2013; Tivet et al., 2013; Ferreira et al., 2018).

## CONCLUSÕES

A formação e manutenção de agregados estáveis é característica essencial, desejável para o crescimento da planta, especialmente nos estádios iniciais críticos de germinação; portanto, ideal para bom estabelecimento das lavouras. Nesse sentido, tanto processos biológicos como físico-químicos estão envolvidos na formação de agregados do solo e sua estabilidade.

Contudo, diferentes tipos de uso e manejo do solo são capazes de promover distintos graus de alteração nas propriedades químicas e físicas do solo, impactando diretamente sua agregação. Sistemas de cultivo que prevejam a preservação da MOS, em classes de macroagregados, eleva o potencial de sequestro de C, com redução dos GEE, promovendo maior sustentabilidade agrícola.

## AGRADECIMENTOS

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

## REFERÊNCIAS

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 425-435, 2005.

BAVER, L. D. **Soil physics**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1947. 363 p.

BAYER, C; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Orgs.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre, 2008. p. 7-8.

BERTIOLI JÚNIOR, E.; MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; FERREIRA, C. J. B.; SILVA, Á. P. da; GIAROLA, N. F. B. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um Latossolo

Vermelho após 30 anos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 971-982, 2012.

BERTOL, O. J.; RIZZI, N. E.; BERTOL, I.; ROLOFF, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 781-792, 2007.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983. 623 p.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 685 p.

BRAIDA, J. A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: FILHO, O. K.; MAFRA, Á. L.; GATIBONI, L. C. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo Volume VII**. Viçosa, MG: SBCS, 2011. p. 221-278.

CÂNDIDO, B. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BATISTA, P. V. G. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na bacia do Rio Paraná, no leste do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1565-1575, 2014.

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

CAVIGLIONI, J. H.; FIDALSKI, J.; ARAÚJO, A. G. de; BARBOSA, G. M. de C.; LLANILLO, R. F.; SOUTO, A. R. **Espaçamento entre terraços em plantio direto**. Londrina, PR: Instituto Agrônomo do Paraná, 2010. 59 p.

COSTA, J. B. **Caracterização e constituição do solo**. 8. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2011. 527 p.

DEMARCHI, J. C.; PERUSI, M. C.; PIROLI, E. L. Análise da estabilidade de agregados de solos da microbacia do Ribeirão São Domingos, Santa Cruz do Rio Pardo – SP, sob diferentes tipos de uso e ocupação. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v. 4, n. 2, p. 7-18, 2011.

EDWARDS, A. P.; BREMNER, J. M. Microaggregates in soils. **Jornal os Soil Science**, v. 18, p. 64-73, 1967.

FERNANDES, J. C. F.; PEREIRA, M. G.; SILVA NETO, E. C.; CORRÊA NETO, T. A. Caracterização de agregados biogênicos, intermediários e fisiogênicos em áreas sob domínio de mata atlântica. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 1, p. 59-67, 2017.

FERREIRA, A. de O.; SÁ, J. C. de M.; LAL, R.; TIVET, F.; BRIEDIS, C.; INAGAKI, T. M.; GONÇALVES, D. R. P.; ROMANIW, J. Macroaggregation and soil organic carbon restoration in a highly weathered Brazilian Oxisol after two decades under no-till. **Science of the Total Environment**, v. 621, p. 1559-1567, 2018.

FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O. A. de; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p. 627-646, 2001.

HILLEL, D. **Introduction to environmental soil physics**. Oxford: Elsevier Academic Press, 2004. 494 p.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Ceres, 1979. 262 p.

LAL, R.; SHUKLA, M. K. **Principles of soil physics**. New York: Marcel Dekker, Inc., 2004. 682 p.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 215 p.

LIMA, C. L. R.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; SILVA, J. B. Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 199-205, 2003.

LOPES, I.; ZIVIANI, M. M.; PINTO, L. A. S.; PINHEIRO, E. F. M.; WEBER, H.; PEREIRA, M. G.; LIMA, E.; CAMPOS, D. V. B. Agregação e distribuição do carbono nos agregados de latossolo vermelho sob diferentes níveis de palhada da cana-de-açúcar em Paranavaí (PR). **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 5, p. 1985-1995, 2017.

NOVAK, E.; CARVALHO, L. A. de; SANTIAGO, E. F.; TOMAZI, M. Changes in the soil structure and organic matter dynamics under different plant covers. **Cerne**, v. 25, n. 2, p. 230-239, 2019.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES, T. S.; TARSO, P. S. O. Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistema de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1777-1785, 2011.

PINTO, L. A. da S. R.; PEREIRA, M. G.; SANTOS, O. A. Q. dos; SOUZA, R. S. de; MORAIS, I. de S.; FERREIRA, R.; SILVA JUNIOR, W. F. da; MARTELLETO, L. A. P. Carbono orgânico e agregação do solo em área sob diferentes densidades de plantio da cultura da bananeira. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 10268-10285, 2020.

PRUSKI, F. F.; GRIEBELER, N. P.; SILVA, J. M. A. da; OLIVEIRA, J. R. S. de. Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica em áreas agrícolas. In: PRUSKI, F. F. (Ed.). **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2009.

RAUBER, L. P.; PICCOLLA, C. D.; ANDRADE, A. P.; FRIEDERICHS, A.; MAFRA, Á. L.; CORRÊA, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A. Physical properties and organic carbon content of a rhodic kandiodox fertilized with pig slurry and poultry litter. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1323-1332, 2012.

RENGASAMY, P.; GREENE, R. S. B.; FORD, G. W. The role of Clay fraction in the particle arrangement and stability of soil aggregates – a review. **Clay Research**, v. 3, n. 2, p. 53-67, 1984.

ROCHA, J. H. T.; SANTOS, A. J. M.; DIOGO, F. A.; BACKES, C.; MELO A. G. C. de; BORELLI, K.; GODINHO, O. Reflorestamento e recuperação de atributos químicos e físicos do solo. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 299-306, 2015.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; MOURA, O. V. T. de; ALMEIDA, A. P. C. Vias de formação, estabilidade e características químicas de agregados em solos sob sistemas de manejo agroecológico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1677-1685, 2016.

ROZANE, D. E.; CENTURION, J. F.; ROMUALDO, L. M.; TANIGUCHI, C. A. K.; TRABUCO, M.; ALVES, A. U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um latossolo vermelho distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 1, p. 24-32, 2010.

SALES, R. P.; PORTUGAL, A. F.; MOREIRA, J. A. A.; KONDO, M. K. K.; PEGORARO, R. F. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 47, n. 3, p. 429-438, 2016.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 70-79, 2014.

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. **Sistema radicular de plantas e qualidade do solo**. Dourados, MS: Embrapa, 2014.

SANTOS, R. D.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101 p.

SHEEHY, J.; REGINA, K.; ALAKUKKU, L.; SIX, J. Impacto of no-till and reduced tillage on aggregation and aggregate-associated carbon in Northern European agroecosystems. **Soil na Tillage Research**, v. 150, p. 107-113, 2015.

SOARES, R.; MADDOCK, J. E. L.; CAMPOS, D. V. B.; MADARI, B. E.; MACHADO, P. L. O. A.; SANTELLI, R. E. Avaliação da estabilidade de agregados em marcadores ambientais terrestres do Antropoceno submetidos a diferentes períodos de pousio. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 6, p. 1693-1718, 2018.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Jornal of Soil Science**, v. 33, p. 141-163, 1982.

TIVET, F.; SÁ, J. C. de M.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; BORSZOWSKI, P. R.; SANTOS, J. B. dos; FARIAS, A.; FARIAS, A.; EURICH, G.; HARTMAN, D. da C.; NADOLNY JUNIOR, M.; BOUZINAC, S.; SÉGUY, L. Aggregate C depletion by plowing and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 126, p. 203-218, 2013.

TRIGUEIRO, R. de M. **Ciência do solo: física e conservação do solo e água**. Londrina, PR: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2019. 192 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **Soil Survey Manual: soil science division staff**. Washington: USDA, 2017. 587 p.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 487-494, 2005.

ZENG, Q.; DARBOUX, F.; MAN, C.; ZHU, Z.; AN, S. Soil aggregate stability under different rain conditions for three vegetation types on the Loess Plateau (China). **Catena**, v. 167, p. 276-283, 2018.