



Compactação do solo em Sistema de Plantio Direto na palha

Altamir Mateus Bertollo¹, Renato Levien²

Resumo - O presente estudo tem como objetivo desenvolver uma revisão bibliográfica de pesquisas que abordam as modificações na estrutura do solo e produção de grãos em áreas compactadas pela ação do tráfego de máquinas em Sistema de Plantio Direto na palha. Com base nos estudos analisados, considera-se que o solo é composto por frações minerais, orgânicas e pelo espaço de vazios. A organização dos componentes influencia na capacidade de condução e armazenamento de ar e água no sistema. As práticas de manejo alteram a estrutura do solo, seja pela ação de compactação imposta pelo tráfego ou pela ação de revolvimento resultante dos mecanismos sulcadores das semeadoras e, em condição de manejo intensivo do solo, pela aração/escarificação. Quando o crescimento do sistema radicular das plantas encontra restrição pela presença de camadas compactadas, seu desenvolvimento é prejudicado. A estrutura de poros do solo pode ser formada pela ação do sistema radicular das plantas sucessoras, fauna do solo e/ou de implementos mecanizados. Em condições de sistemas de uso conservacionistas, a rotação de culturas possibilita a formação de poros contínuos, importantes para a condutividade hidráulica e troca de gases com a atmosfera. Por fim, a rotação de culturas proporciona proteção da superfície do solo e possibilita melhores condições estruturais ao solo.

Palavras-chave: Estrutura do solo. Porosidade. Desenvolvimento radicular.

Soil compaction in no-tillage system

Abstract - This study aims to develop a bibliographic review of researches that address the changes in soil structure and grain yield in areas compacted by the action of machine traffic in no-tillage system. Based on the studies analyzed, it is considered that the soil is composed of mineral, organic fractions and void space. The arrangement of components influences the air and water conduction and storage capacity of the system. Management practices change the soil structure, either by compaction action imposed by traffic or by the tillage action resulting from sowing mechanisms and, under intensive soil management, by plowing/chiseling. When plant root system growth is restricted by the presence of compacted layers, its development is impaired. The structure of soil pores can be formed by the action of the root system of successor plants, soil fauna and / or mechanized implements. Under conditions of conservation use systems, crop rotation enables the formation of continuous pores, important for hydraulic conductivity and gas exchange with the atmosphere. Finally, crop rotation provides soil surface protection and enables better soil structural conditions.

Keywords: Soil Structure. Porosity. Root development.

¹ Analista Agropecuário – Eng. Agr. Dr. em Ciência do Solo, Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural. Av. Getúlio Vargas, 1384, sala 07. altamir-bertollo@agricultura.rs.gov.br

² Professor Eng. Agr. Dr. em Mecanização agrícola – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 7712, renatolevien@ufrgs.br



O solo é um recurso natural de fundamental importância para a produção de alimentos e matérias-primas. Por ser um sistema trifásico (sólido, líquido e gasoso) e dinâmico, é essencial que suas características químicas, físicas e biológicas sejam preservadas. Para isto, se faz necessário o uso de técnicas de manejo conservacionistas, que incrementem na qualidade do sistema.

Para o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (*United States Department of Agriculture – USDA*), qualidade do solo é definida como a capacidade que o solo possui para desempenhar as funções agrícolas e a capacidade de preservação dessas funções para o uso futuro (USDA, 2016). Em uma publicação de 1997, a Sociedade Americana de Ciência do Solo (*Soil Science Society of America – SSSA*) (KARLEN et al., 1997) elaborou um material para estimular a discussão entre seus membros do tema qualidade do solo. E, em uma metáfora, os integrantes da SSSA conceituaram a qualidade do solo como um “banco de três pernas”, onde a função e equilíbrio dos três componentes principais o sustentam, por meio da conservação da atividade biológica, da qualidade do ambiente e da saúde das plantas e animais.

A qualidade do solo é geralmente considerada levando-se em conta aspectos físicos, químicos e biológicos. É uma forma de avaliação do grau de degradação do solo e, também, para distinção entre práticas de manejo. Dexter (2004) caracteriza como exemplos de má qualidade física do solo quando há na área um ou mais dos seguintes parâmetros: baixa infiltração de água no solo, escoamento superficial, densidade elevada, aeração reduzida e pouco desenvolvimento radicular.

A estrutura do solo é o resultado de um arranjo sistematizado entre seus componentes sólidos, minerais e orgânicos. É no seu sistema físico onde ocorrem as interações entre os gases e a solução do solo (SOUZA et al., 2014), em que a sua estrutura está mais suscetível a ações de manejo ou práticas culturais que resultem em degradação do sistema. Sequinatto et al. (2014) avaliaram a qualidade de um Argissolo, em SPD, submetido a práticas de manejo recuperadoras de sua estrutura física, dentre estas o uso de plantas de cobertura. Os autores observaram que a densidade e a porosidade do solo são sensíveis às mudanças do manejo do solo, os quais foram considerados bons indicadores da qualidade do solo.

Uma técnica de manejo que contribui para a melhoria da estrutura do solo é por meio do uso de plantas, que proporcionam a formação de bioporos com variados tamanhos, os quais auxiliam na difusão de gases no solo, na movimentação de água e no crescimento das raízes. O desenvolvimento radicular destas plantas auxilia na melhoria do estado de agregação do solo. Em “Uma visão sobre qualidade do solo”, Vezzani e Mielniczuk (2009) destacam que os sistemas agrícolas que favorecem a qualidade do solo são aqueles que utilizam plantas intensamente, de preferência de espécies diferentes, sem o revolvimento do solo. Desta forma, é possível constatar a importância do SPD para o ambiente solo.



doi: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253208-218>

A degradação do solo está associada ao manejo inadequado dos recursos naturais. No setor agrícola, as causas que mais contribuem para esta degradação são o monocultivo, queimadas da cobertura florestal e vegetação nativa, práticas de manejo que não proporcionam a proteção adequada ao solo e degradam a estrutura (aração e gradagem), o excesso de tráfego de máquinas e o manejo de animais acima da capacidade de suporte de carga nas áreas de pastagens (CHAVES et al., 2012).

A prática de manter os resíduos culturais na superfície do solo, sem incorporação, traz benefícios para o ambiente. Para as propriedades físicas, contribui na proteção da estrutura do solo ao impedir a ação direta das gotas de chuva sobre a superfície e auxiliar na regulação térmica (FURLANI et al., 2008). Devido à reflexão e absorção de energia solar incidente, diminuindo as perdas de água por evaporação (GILL et al., 1996), colabora nas propriedades químicas e biológicas, por meio da liberação de nutrientes e exsudatos ao se decomporem.

Através da rotação de culturas, tem-se uma diversidade de resíduos que são depositados na superfície do solo. A taxa decomposição destes materiais varia entre as diferentes culturas, principalmente em razão da sua composição química quanto aos teores de lignina, hemicelulose, celulose e polifenóis, e às relações entre constituintes, como carbono e nitrogênio (C/N) (AITA; GIACOMINI, 2003). Quando permanecem na superfície do solo, os resíduos apresentam menor decomposição do que quando são incorporados ao solo (ALCÂNTARA et al., 2000).

Ao comparar diferentes tempos de adoção do SPD, Mazurana (2015) constatou que houve modificações na estrutura do solo. Estas variações não foram passíveis de identificação pela análise das variáveis físicas isoladas, e sim pela análise de variáveis físicas que atuam em processos, como fluxos de água e ar. Tais modificações ocorreram nas camadas superficiais do solo, onde se concentra a maior parte do sistema radicular das culturas.

No entanto, associado aos benefícios que o SPD traz ao solo, há relatos de formação de camadas compactadas, provocadas por um conjunto de negligências, de forma que ocorrem modificações no desenvolvimento radicular das culturas.

A compactação do solo é a redução do volume de uma massa de solo, reduzindo o volume de poros. No entanto, nem todos os poros são reduzidos de forma semelhante. Os poros maiores são reduzidos primeiro em tamanho, e a compactação cessa quando o solo se torna suficientemente forte para suportar o esforço aplicado (RICHARD et al., 2001). Esta diminuição do tamanho e da distribuição dos maiores poros altera a característica de retenção e fluxo de água e ar.

A estrutura do solo e o estado de compactação são fatores importantes que influenciam o crescimento radicular das plantas. A estrutura do solo é heterogênea, tanto espacial como temporariamente, devido aos



doi: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253208-218>

efeitos do meio ambiente, manejo do solo e crescimento da planta. A compactação do solo é um fenômeno que envolve inter-relações significativas entre as propriedades físicas e biológicas mais reconhecidas dos solos (VERECKEN et al., 2016). O espaço dos poros do solo, a resistência mecânica e a disponibilidade de nutrientes são todos modificados pela compactação do solo. As raízes que crescem nos solos geralmente experimentam uma mistura de solo desestruturado e com compactação (WHITMORE; WHALLEY, 2009).

A compactação de solo em camadas geralmente limita o crescimento das raízes e a eficiência do uso dos recursos. A variação espacial na resistência mecânica afeta o grau de agrupamento das raízes (GAO et al., 2016). Geralmente, as camadas densas são localizadas nas regiões mais profundas do perfil do solo, devido aos efeitos do preparo anterior ao SPD, e manifestam-se por camadas de solo com maior densidade (MOREIRA et al., 2016).

Nessas condições, os sistemas radiculares que enfrentam zonas compactadas de solo têm a oportunidade de se desenvolver em zonas de solos com menor restrição. Mesmo em solos compactados, áreas de menor impedância mecânica são encontradas devido a fendas de encolhimento, canais formados pela fauna do solo, crescimento radicular de culturas ou vegetação anteriormente cultivada (JIN et al., 2013).

As plantas apresentam capacidade diferenciada de desenvolverem seu sistema radicular em ambientes com solo compactado (JIMENEZ et al., 2008). Quando o solo apresenta uma camada compactada em superfície, ocorrem limitações no desenvolvimento inicial da maioria das plantas, restringindo a germinação das sementes e a implantação das culturas. Na condição de presença de camada compactada em subsuperfície, há limitações no desenvolvimento do sistema radicular das culturas e, conseqüentemente, na absorção de água e nutrientes.

Os cultivos agrícolas são realizados, quase em sua totalidade, de maneira mecanizada, de tal modo que o tráfego de máquinas é intenso e a mobilização do solo é limitada à linha de semeadura sobre ação do mecanismo de sulco (sulcadores tipo facão ou disco duplo). Assim, frequentemente são relatados problemas com compactação do solo em superfície/subsuperfície (SILVA et al., 2004; SILVA et al., 2006; BERGAMIN et al., 2010; VALADÃO et al., 2015).

Trabalhando em Argissolo Vermelho sob tráfego controlado de máquinas, Mazurana et al. (2013), observaram que o tráfego influenciou na densidade do solo e que, em condições onde o solo não foi cultivado (pousio), houve interferência do tráfego de máquinas na macroporosidade do solo até a profundidade de 0,10m. Conforme Braida et al. (2006), a presença dos resíduos culturais na superfície é capaz de dissipar até 30% da energia de compactação da qual o solo é submetido. Por sua vez, Valadão et al. (2015), estudando a compactação do solo no sistema radicular da soja, avaliaram que, onde o solo foi trafegado oito vezes, houve alteração na área do sistema radicular da soja e na distribuição no perfil do solo. Os autores constataram que a



doi: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253208-218>

compactação do solo pelo tráfego de trator reduziu em 23% a área de raiz na camada superficial, não sendo detectado desenvolvimento radicular abaixo de 0,15 m de profundidade. A compactação do solo alterou a estrutura da raiz da soja, com engrossamento das raízes secundárias, alterando o diâmetro médio.

Apesar de ser apontada como uma prática eficiente na redução da compactação do solo (ABREU et al., 2004), a escarificação do solo nem sempre é eficaz nesta tarefa (KUNZ et al., 2013). Por outro lado, Valicheski et al. (2012), estudando o desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja em solo compactado, observaram que o uso de plantas de cobertura antecedendo o cultivo da soja e o uso de sulcadores tipo facão na operação de semeadura minimizam os efeitos de compactação do solo, possibilitando a obtenção de produtividade satisfatória.

Esta prática de cobertura do solo com plantas configura-se como uma alternativa à diminuição da área degradada por compactação. Pois, segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), dos 80% da área com cobertura vegetal, 36% apresentam-se estáveis ou pouco degradados, 8% moderadamente degradados, 25% degradados e 10% em fase de recuperação (FAO, 2011).

Embora a estrutura do solo possa influenciar a distribuição das raízes no solo, as raízes das plantas são capazes de modificar a estrutura do solo para acomodar seu crescimento. As raízes das plantas afetam a estrutura do solo através de uma variedade de mecanismos, incluindo penetração direta, ancoragem, extração de água e exsudação de compostos na rizosfera (BENGOUGH et al., 2016). As raízes podem deformar o solo ao crescer nos poros existentes ou através da matriz do solo e criar altos estresses de compressão (JIN et al., 2013). O diâmetro da raiz está intimamente relacionado com a sua rigidez, o que é importante para a penetração em solos duros (PAEZ-GARCIA et al., 2015).

A pressão radial exercida pelas raízes em crescimento irá comprimir o solo em sua vizinhança e diminuir a porosidade no solo circundante (POPOVA et al., 2016). Os pelos radiculares ajudam na penetração do solo ancorando a superfície radicular para as paredes dos poros (BENGOUGH et al., 2016).

As dificuldades na melhoria dos atributos físicos de um solo, em comparação com os atributos químicos, vêm ocasionando um maior cuidado quanto à escolha de práticas conservacionistas de uso e manejo do solo, o que aumenta a importância do uso de plantas de cobertura (SOUZA et al., 2014). Ao final de seu ciclo, as plantas de cobertura disponibilizam na superfície e no interior do solo diferentes quantidades de biomassa, que variam em função da particularidade de cada espécie, período de crescimento, dentre outros fatores. Desta forma, a manutenção permanente de cobertura sobre o solo vai aportar carbono no sistema, mantendo a qualidade do solo, pois as taxas de entrada de energia superam as taxas de perda, de forma análoga ao que ocorre no ambiente natural (MELLO, 2006).



doi: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253208-218>

O acúmulo de matéria orgânica no solo, proporcionado pelo uso de plantas de cobertura, influencia na resistência à compactação do solo, aumentando a umidade crítica para compactação (BRAIDA et al., 2006). O crescimento do sistema radicular das culturas só ocorre quando a pressão exercida pela raiz, que é função do seu diâmetro (MISRA et al., 1986), é superior à resistência do solo à penetração (PASSIOURA, 1991).

Trabalhando com plantas de cobertura e tráfego controlado de máquinas agrícolas em Argissolo, Debiasi et al. (2008) verificaram que o uso das plantas de cobertura de inverno diminuiu a capacidade de suporte de carga e aumentou a susceptibilidade à compactação. Isto ocorreu devido à redução da densidade do solo e incremento na macroporosidade. Os autores destacam que o uso de plantas de cobertura proporcionou melhor estrutura do solo, o que foi constatado mesmo depois de sete tráfegos sobre a área. Na safra 2006/2007, os cultivos com plantas de cobertura reduziram a compactação na camada superficial (0-0,06m) em comparação à área sob pousio e, na condição de baixa disponibilidade hídrica, proporcionaram maior produtividade para o milho e soja (DEBIASI et al., 2010).

Uma das práticas mais utilizadas para remediar a compactação do solo é a escarificação mecânica. No entanto, a eficiência desta prática para a produtividade das culturas tem sido controversa. Para Klein et al. (2008), a escarificação mecânica resultou em aumentos significativos de produtividade para a cultura do trigo. Já Secco et al. (2009) concluem que, mesmo em condição de diferentes níveis de compactação, a escarificação mecânica não resulta no aumento de produtividade da soja. Girardello et al. (2014) verificaram que não houve incremento de produtividade da soja em razão da escarificação mecânica, independentemente do tipo de escarificador utilizado. Para Nicoloso et al. (2008), a escarificação mecânica é eficiente no incremento da produtividade das culturas quando associada ao uso de plantas de cobertura no inverno. Segundo os autores, se for utilizada como uma prática isolada, a escarificação mecânica realizada na véspera da implantação da cultura terá seu efeito reduzido quando esta atingir o seu estágio reprodutivo, considerado como o mais crítico para determinação da produtividade de grãos.

As práticas de manejo alteram o espaço interagregado, e que depois dessa alteração, forças externas e internas aos agregados atuam em conjunto, reorganizando-os em uma estrutura mais densa Or e Ghezzehei (2002). Carvalho et al. (2014), estudando a agregação de solos de Latossolos tropicais, verificaram que os agregados menores apresentaram menor densidade e maior porosidade intra-agregados.

A estrutura do solo pode ser definida como “a forma, o tamanho e a disposição espacial de partículas individuais do solo e grupos de partículas (agregados)”, ou como “a combinação de diferentes tipos de poros com partículas sólidas (agregados)”. A forma do poro, a distribuição do tamanho dos poros e o arranjo dos poros afetam os processos mais importantes no solo, os quais influenciam os desenvolvimentos da planta,



doi: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253208-218>

como armazenamento e movimento de água e gases, movimentos de soluto e facilidade de crescimento radicular.

Assim, o desafio para o sistema produtivo é promover a agricultura com práticas que preserve a estrutura do solo, possibilitando a presença de poros de diferentes tamanhos, capazes de realizarem a aeração do solo e a infiltração/armazenamento de água. Com ambiente favorável ao desenvolvimento do sistema radicular das culturas e à fauna edáfica.

Referências

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 519-531, 2004.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 601-612, 2003.

ALCÂNTARA, F. A et al. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 277-288, 2000.

BENGOUGH, A. G.; LOADES, K.; MCKENZIE, B. M. Root hairs aid soil penetration by anchoring the root surface to pore walls. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 67, p. 1071-1078, 2016.

BERGAMIN, A. C. et al. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 681-691, 2010.

BRAIDA, J. A. et al. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 605-614, 2006.

CARVALHO, M. A. de et al. Composição granulométrica, densidade e porosidade de agregados de Latossolo Vermelho sob duas coberturas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 10, p.1010-1016, 2014.



doi: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253208-218>

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade de agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 527-538, 1998.

CHAVES, T. de A. et al. **Recuperação de áreas degradadas por erosão no meio rural**. Niteroi: Programa Rio Rural, 2012. 19p.

DEBIASI, H. et al. Capacidade de suporte e copressibilidade de um Argissolo, influenciadas pelo tráfego e por plantas de cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2629-2637, 2008.

DEBIASI, H. et al. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 6, p. 603-612, 2010.

DEXTER, A. R. Soil physical quality Part I. Teory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 201-214, 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZAION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The state of the world's land and water resources for food and agriculture**. Roma: FAO. 2011. 50p.

FURLANI, C. E. A. et al. Temperatura do solo em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 375-380, 2008.

GAO, W. et al. Deep roots and soil structure. **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v. 39, p. 1662-1668, 2016.

GILL, K. S. et al. Tillage, mulch, and irrigation effects on corn (*Zea Mays* L.) in relation to evaporative demand. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 39, p. 213-227, 1996.



doi: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253208-218>

GIRARDELLO, V. C. et al. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em Latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 1234-1244, 2014.

JIMENEZ, R. L. et al. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação de um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, p. 116-121, 2008.

JIN, K. et al. How do roots elongate in a structured soil? **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 64, p. 4761-4777, 2013.

KARLEN, D. L. et al. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, p. 4-10, 1997.

KLEIN, V. A. et al. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 365-371, 2008.

KUNZ, M. et al. Compactação do solo na integração soja-pecuária de leite em Latossolo argiloso com semeadura direta e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1699-1708, 2013.

MAZURANA, M. et al. Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de milho em um Argissolo Vermelho sob tráfego controlado de máquinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1185-1195, 2013.

MAZURANA, M. **Parâmetros de capacidade de suporte de carga em solos com diferentes anos de adoção no sistema de plantio direto**. 2015. 122f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

MELLO, N. A. **Efeito do sistema de manejo nos atributos do solo, movimentação de sedimentos e exportação de carbono orgânico numa microbacia rural sob cultura do fumo**. 2006. 273f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.



doi: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253208-218>

MISRA, R. K.; DEXTER, A. R.; ALSTON, A. M. Maximum axial and radial growth pressures of plants roots. **Plant and Soil**, The Hague, v. 95, n. 3, p. 315-326, 1986.

MOREIRA, W. H. et al. Seasonal changes in soil physical properties under long-term no-tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 160, p. 53-64, 2016.

NICOLOSO, R. S. et al. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 723-734, 2008.

OR, D.; GHEZZEHEI, T. A. Modeling post-tillage soil structural dynamics: a review. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 64, p.41-59, 2002.

PAEZ-GARCIA, A. et al. Root traits and phenotyping strategies for plant improvement. **Plants**, Basel, v. 4, p. 334-355, 2015.

PASSIOURA, J. B. Soil structure and plant growth. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 29, n. 6, p. 717-728, 1991.

POPOVA, L. et al. Plant root tortuosity: an indicator of root path formation in soil with different composition and density. **Annals of Botany**, Oxford, v. 118, p. 685-698, 2016.

RICHARD, G. et al. Effect of compaction on the porosity of a silty soil: influence on unsaturated hydraulic properties. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 52, p. 49-58, 2001.

SECCO, D. et al. Atributos físicos e rendimentos de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 58-64, 2009.

SEQUINATTO, L. et al. Qualidade de um Argissolo submetido a práticas de manejo recuperadoras de sua estrutura física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 344-350, 2014.



doi: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253208-218>

SILVA, G. J.; MAIA, J. C. S.; BIANCHINI, A. Crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, submetidas à irrigação subsuperficial e a diferentes graus de compactação de um Latossolo Vermelho-escuro distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 31-40, 2006.

SILVA, V. R. da; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 399-406, 2004.

SOUZA, L. da S. et al. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: Embrapa, 2014. v.1, 507p.

VALADÃO, F. C. de A. et al. Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 243-255, 2015

VALICHESKI, R. R. et al. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 969-977, 2012.

VERECKEN, H. et al. Modeling soil processes: review, key challenges, and new perspectives. **Vadose Zone Journal**, Madison, v. 15, p. 1-57, 2016.

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

WHITMORE, A. P.; WHALLEY, W. R. Physical effects of soil drying on roots and crop growth. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, p. 2845-2857, 2009.