

ESTRUTURA DO SOLO AGRÍCOLA SOB COMPACTAÇÃO

Emmanuelle Albara Zago^{1*}; Deonir Secco¹; Francisco de Assis Guedes Junior¹; Luana Salete Celante¹; Natália Pereira¹; Natacha Barchinski Galant¹; Robson Andrei Sanches de Almeida¹

¹ Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Curso de Pós-Graduação Strictu Sensu em Engenharia de Energia na Agricultura.
Rua Universitária, 2069 – Jardim Universitário. CEP: 85819-110, Cascavel PR - Brasil. *E-mail: manu_zago@msn.com

RESUMO: Ao se trabalhar com um solo agrícola deve-se planejar a melhor forma de manejo. Com a evolução da tecnologia utilizada em campo pode-se otimizar as práticas de plantio e aprimorar os estudos relacionados a essa área. Contudo, o crescente tráfego de maquinário e implementos agrícolas, aliado à comum ausência ou precariedade de preparo do solo, causam impacto sobre a estrutura do solo. Esse acréscimo de tensões, aliado a outros fatores, causam compactação ao solo, alterando a sua qualidade e interferindo na produção agrícola. Nesse contexto, faz-se necessário o estudo dos impactos causados pela compactação na estrutura do solo, bem como as maneiras de minimizar ou reverter esses danos.

PALAVRAS-CHAVE: qualidade do solo; compactação; estrutura do solo; produção agrícola.

STRUCTURE OF COMPACTED AGRICULTURAL SOIL

ABSTRACT: Working with an agricultural soil should be planned a better way of management. With the evolution of technology used in the field they can be optimized the planting practices and improve the studies related to this area. However, the growing traffic of agricultural machinery and implements with the common absence or insufficiency of tillage, cause impact on the soil structure. The increase of tension, combined with other factors, cause soil compaction too, changing its quality and interfering in the agricultural production. In this sense, it is necessary to study the impacts of compaction on soil structure, well as the ways to minimize or reverse those damages.

KEY WORDS: soil quality; compaction; soil structure; agricultural production.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Introdução

Ao se pensar em qualidade física do solo, relacionam-se o conhecimento de propriedades e processos relativos à habilidade do solo em manter efetivamente os serviços ambientais ou serviços ecossistêmicos essenciais à saúde do ecossistema. O

estudo desses fatores é realizado através de indicadores físicos da qualidade do solo responsáveis pela avaliação da sua estrutura (Stefanoski, 2013).

A agricultura atual sofre grande impacto com o avanço tecnológico, que pode otimizar a prática de plantio e permite avaliar com maior exatidão o efeito das práticas de manejo. Dessa maneira, pode-se estudar o impacto que o tráfego de maquinário agrícola exerce sobre o solo.

Segundo Secco (2003), as cargas impostas devido ao tráfego de máquinas e implementos agrícolas exercem tensões compactantes sobre o solo, condicionando maior grau de orientação de partículas. Com isso, a densidade do solo aumenta ao passo que há redução do espaço poroso, principalmente os macroporos. Esse efeito está aliado à condição de umidade do solo. Quando acima do limite de friabilidade e próximo ao limite plástico, o solo se torna mais sensível à compactação.

As propriedades físico-mecânicas do solo, como umidade, temperatura, resistência mecânica à penetração e temperatura também interferem na sua suscetibilidade a compactação. Essas propriedades dependem do tipo de solo e presença de água, que, aliadas ao estado estrutural, o tornam mais ou menos suscetível aos efeitos da compactação.

Assim, as propriedades intrínsecas do solo, quando aliadas às condições do meio e presença de tensões oriundas de cargas externas, ajudam a determinar o grau de compactação de uma parcela de solo. Esse nível de compactação de um determinado solo é, portanto, variável ao longo do tempo. O nível de compactação atual de um determinado solo é denominado “estado de compactação”.

A formação de camadas compactadas interfere no crescimento da vegetação naquele solo. Associa-se o estado de compactação do solo ao crescimento radicular, o que se deve ao fato de que um solo mais adensado oferecer maior restrição ao crescimento das raízes através de seus vazios. Com a diminuição da macroporosidade devido a compactação há redução no espaço pelo qual as raízes das plantas podem penetrar, o que interfere no crescimento das mesmas.

De um modo geral, o solo apresenta características adequadas para crescimento de vegetação quando em estado natural. Essa condição possibilita que o volume de solo explorado pelas raízes seja relativamente grande. Conforme o solo vai sendo submetido ao uso agrícola, suas propriedades físicas sofrem alterações. Muitas vezes essas alterações são desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal (Spera et al., 2004).

Dessa maneira, o estado de compactação do solo interfere diretamente no cultivo agrícola. Há possibilidade de interferência sobre o grau de compactação através de práticas adequadas de manejo, como intervenção mecânica através de maquinário adequado ou plantio direcionado para alterar a estrutura do solo. Assim, pode-se obter certo controle sobre a estrutura do solo, que depende do seu estado de compactação.

Estrutura do solo

Para Carvalho (2014), a estrutura do solo é uma das propriedades mais importantes do ponto de vista agrícola. Define-se estrutura do solo como a disposição geométrica de partículas; Essas partículas podem ser primárias, que são isoladas, ou secundárias, caracterizadas por um conjunto de primárias dentro de um agregado e mantido por agentes cimentantes. Os principais agentes cimentantes são ferro, sílica e matéria orgânica (EMBRAPA, 2003).

A estrutura do solo, portanto, definida pelo tipo, tamanho e grau de desenvolvimento das partículas, define a porosidade total do solo e a distribuição relativa entre macro e microporos (Ghidin, 2006). O padrão de qualidade estrutural do solo associa-se ao arranjo de suas partículas, constituindo um ambiente dinâmico. A alteração desse ambiente determinará um novo comportamento dos processos que ocorrem no solo (Ferreira, 2010).

Considera-se a estrutura uma boa indicadora da qualidade do solo, devido a sua sensibilidade às práticas de manejo adotadas. De maneira geral, o solo mantido em estado natural, sob vegetação nativa, apresenta características físicas como estrutura, permeabilidade, densidade e porosidade do solo adequadas ao desenvolvimento normal das plantas. Ao passo que se intensifica o uso agrícola, os atributos físico-hídricos do solo sofrem alterações, geralmente adversas ao crescimento vegetal. Essas alterações se tornam mais nítidas quando os sistemas de uso são comparados com o estado do solo ainda sob vegetação natural (Santos et al., 2011, Spera et al., 2004).

De acordo Aguiar (2008), pode se avaliar a estrutura através de parâmetros como densidade do solo, macro e microporosidade, estabilidade de agregados, resistência à penetração e infiltração da água no solo. Já para Reinert et al. (2006), avalia-se estrutura pelos atributos que lhe dão forma, que são densidade do solo, geometria, tamanho e continuidade de poros, capacidade de infiltração, retenção de água e aeração.

Normalmente, as determinações de densidade e de porosidade do solo são as avaliações mais comuns e difundidas para identificar camadas compactadas no solo (Lanzanova et al., 2007). Há diversas maneiras de avaliar esses valores, sendo a análise da

densidade e porosidade duas das mais importantes. A densidade do solo se relaciona com sua estrutura, visto que é dependente do arranjo e orientação das partículas do solo, bem como da quantidade e geometria dos espaços porosos. (Aguiar, 2008). Para Reinert e Reichert (2006), a densidade expressa a relação entre a quantidade de massa de solo seco por unidade de volume do solo. Na definição de volume do solo é incluído o volume de sólidos e o de poros do solo. Entretanto, havendo modificação do espaço poroso haverá alteração da D_s . A densidade do solo é utilizada como indicador da compactação, assim como para medir alterações da estrutura e porosidade do solo. A textura do solo também relaciona-se com sua densidade. Solos arenosos apresentam maiores valores de textura, da faixa de 1,35 a 1,85 kg dm^{-3} . Por sua vez, solos argilosos apresentam-se entre 0,96 a 1,25 kg dm^{-3} . (Araujo et al., 2004a; Araujo et al, 2004b). Beutler et al. (2007) afirmaram que a densidade ótima deve ser da ordem de 1,23 Mg m^{-3} .

Solos argilosos apresentam menores valores de densidade devido a microagregação das partículas de argila, o que aumenta a porosidade intra-agregado, diminuindo a densidade. Solos arenosos, por sua vez, apresentam maiores valores de densidade devido ao maior peso específico das partículas de quartzo, que compõem a fração areia. Aliado a isso existe um menor valor de matéria orgânica, verificado normalmente nesses solos (Aguiar, 2008). Reichert et al. (2009) notaram uma relação linear inversa entre a densidade crítica e o teor de argila.

Outro fator que determina a estrutura do solo é a porosidade. Os poros são determinados através do arranjo e geometria das partículas, diferindo quanto à forma, comprimento, largura e tortuosidade. Baseando-se no diâmetro dos poros, os mesmos se distinguem entre macro e microporos do solo. Essa formação é associada aos ambientes onde ocorrem processos de aeração, drenagem e retenção de água nos solos (Aguiar, 2008). Por possuírem partículas maiores, solos arenosos apresentam espaço poroso constituído por macroporos, poros de maior diâmetro. Entretanto, a porosidade total destes solos é menor quando comparados aos argilosos, onde a formação de microagregados pelas partículas de argila aumenta e microporosidade e a porosidade total (Klein, 2005 apud Aguiar, 2008). A macroporosidade, então, é outro importante indicador do estado de compactação, visto que a porosidade regula várias propriedades ecológicas do solo (Reichert et al., 2009). Valores de macroporosidade entre 0,05 e 0,10 $m^3 m^{-3}$ foram reportados como restritivos ao rendimento das culturas (Beutler e Centurion, 2004). Entretanto, para Reichert et al. (2009), restrições ao desenvolvimento radicular, previstas com base em atributos físicos, não necessariamente se refletem em redução no rendimento, uma vez que as culturas apresentam diferente tolerância

à compactação e existe uma complexa interação com as condições climáticas e edáficas (Girardello, 2011).

Compactação do solo

Pode-se definir compactação do solo como o processo que descreve o decréscimo do volume de solo não saturado ao acréscimo de uma determinada pressão externa, que pode ser causada por tráfego de máquinas agrícolas, equipamentos de transporte ou animais. (Lima, 2004). Trata-se de um processo antrópico resultante da compressão induzida pela pressão de implementos agrícolas e de animais. A compactação causa alteração da estrutura, com redução do volume de ar do solo e aumento da densidade aparente (Silva et al., 2010 apud Girardello, 2011).

Uma das causas da compactação é o acentuado tráfego de máquinas e equipamentos sobre o solo, em condições inadequadas de umidade aliado ao alto peso por eixo. Entretanto, o maior ou menor incremento da compactação depende do estado inicial de compactação, da textura e da umidade que se encontra o solo no momento das atividades agrícolas (Secco et al., 2009). As práticas de manejo alteram a estabilidade dos agregados (Portella et al., 2012). A sucessão de cultivos, com vários ciclos de movimentação de máquinas e implementos, calagens, adubações e maior exposição do solo à ação da chuva e a ciclos de umedecimento e secagem, promovem redução dos agentes cimentantes, em especial da matéria orgânica, alterando a estabilidade dos agregados (Vasconcelos et al., 2010).

No processo de compactação ocorre uma concentração das partículas sólidas, decorrente da expulsão do ar contido nos poros. Isso faz com que o solo sofra adensamento e perda de sua porosidade (Souza et al., 2009). Lanzasova et al. (2007), ao estudar atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto, observaram que a microporosidade do solo não foi significativamente alterada pelos sistemas de manejo das pastagens nas camadas de solo estudadas. Entretanto, a macroporosidade e a porosidade total sofreram influência do pisoteio bovino na camada superficial, ambas diferindo da área não pastejada. Em melhores condições, porosidade de um solo deve estar em torno de 50%, com 17% de macroporos, responsáveis pela infiltração de água no solo e 33% de microporos, responsáveis pelo armazenamento de água no solo (Assis et al., 2009).

Decorrentes da compactação, há aumento da resistência mecânica do solo à penetração e redução da porosidade, principalmente da macroporosidade, como também da continuidade dos poros. Observa-se também diminuição da permeabilidade e da disponibilidade de água e nutrientes (Streck, 2004). Durante o processo de compactação, observou-se que a deposição

de argila nas paredes dos poros e sobre os grãos de quartzo, principalmente em solos argilosos cuja argila está em maior grau de dispersão, ocasiona um arranjo mais compacto de partículas, aumentando o adensamento das camadas subsuperficiais (Silva et al., 2005).

Conforme Richart et al. (2005), o processo de compactação depende de fatores internos e externos. Os fatores internos são a umidade do solo, histórico de tensões, textura, estrutura, teor de carbono e densidade inicial do solo. Já dentre os fatores externos caracterizam-se pelo tipo, intensidade e frequência de carga aplicada.

Efeito da compactação no solo agrícola

Existe atualmente um aumento nas áreas agrícolas com problemas relacionados a compactação, o que gera grande preocupação. Tal fenômeno se deve, em grande parte, às operações mecanizadas. Esse fato está relacionado com o intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas, principalmente em condições de umidade favorável à compactação. (Souza et al., 2009). No processo de avaliação da estrutura do solo deve-se, entretanto, levar em conta que este atributo pode ser extremamente variável no tempo, em função, principalmente, das práticas de manejo utilizadas (Salton et al., 2012). Para Mazurana et al. (2011), métodos de preparo reduzido de solo, semeadura direta e escarificação esporádica vem sendo adotados no lugar de métodos convencionais, em áreas de lavoura. O intuito disso é mitigar problemas de degradação do solo.

A estrutura do solo ideal para o cultivo de plantas deve permitir uma maior exploração do sistema radicular no perfil do solo, que deve apresentar um espaço poroso suficiente e contínuo para o movimento da água e dos gases, e resistência do solo à penetração não impeditiva para o crescimento das raízes (Richart et al., 2005)

O sistema de plantio direto, ademais, tem provocado a compactação superficial do solo, devido ao tráfego de máquinas agrícolas e falta de revolvimento do solo. Em áreas manejadas sob sistema de plantio direto, a compactação do solo reduz sua qualidade estrutural e limita o rendimento de grãos das culturas, principalmente em solos argilosos. (Secco et al., 2009).

Ainda, avaliando em campo, detecta-se em muitas áreas de cultivo através de plantio direto a presença de uma camada mais densa localizada entre as profundidades de 0,08 e 0,15 m, em comparação à camada superficial (0-0,05 m), que tem menor densidade e elevada porosidade total (Secco et al., 2009). Nessas áreas, estudos têm indicado que a presença de camadas compactadas logo abaixo da superfície pode restringir o crescimento radicular das plantas e até mesmo confinar as raízes em pequeno volume de solo superficial, causando

redução do crescimento da parte aérea e do rendimento das culturas (Reichert e Reinert, 2007).

De maneira sucinta, a degradação do solo ocorre da seguinte forma: o pisoteio animal sobre o solo molhado ou o tráfego de máquinas causa o aumento da densidade do solo e selamento superficial. Com isso, a capacidade vegetativa das plantas é reduzida, portanto elas passam a produzir menos biomassa. A redução da biomassa aumentará a susceptibilidade do solo ao impacto da gota de chuva e ao escoamento superficial. Esses fatores iniciam o processo de erosão, diminuirá a qualidade do solo tornando-o mais pobre, reduzindo sua produção de biomassa e aumentando sua susceptibilidade (Mello, 2002 apud Andreolla, 2010).

Em solos agrícolas, a compactação ocasionada devido ao manejo do solo é um fator limitante para o aumento do rendimento de grãos e para a sustentabilidade deste sistema, especialmente em solos argilosos, que são mais propensos à compactação (Silva, 2003). Quando o volume de macroporos é inferior a 10% e a densidade do solo está entre 1,25 e 1,3 Mg m⁻³, em solo com textura argilosa, há indícios que pode ocorrer restrições ao crescimento radicular e afetar a produtividade das culturas (Reichert et al., 2009). Porém, há obstáculos para a determinação de valores críticos para os atributos físicos do solo, visto que estes não são determinantes diretos do crescimento das plantas, diferentemente dos fatores abióticos como ar, água e temperatura, que influenciam diretamente as culturas (Bonini, 2011).

Apesar da disponibilidade de água para a planta depender de diferentes fatores, também pode ser prejudicada devido a compactação. Devido a ela, pode-se perceber modificações na retenção de água do solo, decorrentes de alterações sofridas na distribuição do diâmetro de poros, principalmente redução da macroporosidade (Figueiredo et al., 2009).

Um atributo importante do solo é a sua resistência mecânica a penetração, que se relaciona ao grau de compactação. Embora varie com o solo e com a espécie cultivada, a resistência do solo à penetração pode ser ocasionada por atividades antrópicas, de forma continuada e mal planejada (Stefanoski, 2013). De acordo com Marchão et al. (2007), o grau de umidade de uma porção de solo apresenta relação inversamente proporcional aos valores de resistência à penetração obtidos em condições de campo. Valores críticos de resistência à penetração podem variar de 1,5 MPa a 4,0 Mpa. De maneira geral, valores próximos a 2 MPa são aceitos como impeditivos ao crescimento radicular (Blainski et al., 2008). Em seu trabalho Beutler et al. (2007) verificaram, para a cultura da soja, redução na produtividade de grãos em solos com intervalo de resistência à penetração entre 1,30 e 1,64 Mpa. Dessa

maneira, a compactação em razão do sistema de manejo do solo e das culturas pode implicar em alterações físicas que determinam condições ideais ou limitantes ao desenvolvimento vegetal (Collares et al., 2008).

A caracterização física do solo pode ser determinada de diversas maneiras, como a capacidade de infiltração de água, a aeração, a redução do sistema radicular e a dificuldade de mecanização do solo. Esses atributos caracterizam problemas físicos, que podem se manifestar diversa ou simultaneamente, determinando a qualidade física do solo (Andrade e Stone, 2008).

Esses sintomas são relacionados a alterações estruturais no solo. Com a degradação da estrutura do solo, o desenvolvimento de plantas pode ser comprometido, dessa maneira prejudicando a produção agrícola (Richart et al., 2005). Sendo assim, deve-se planejar e executar as práticas de manejo e de conservação do solo e da água a fim de manter, ou mesmo melhorar, seus atributos de modo a aumentar a capacidade do solo em sustentar uma produtividade competitiva, sob aspectos físicos, químicos e biológicos, sem comprometer a qualidade do solo e da água (Stefanoski et al., 2013).

Há evidências de que a estrutura do solo em áreas manejadas sob PD sofre degradação, mas não segue um caminho irreversível de compactação e redução na produção das culturas. Portanto, é necessário estudar e compreender a participação de processos naturais da recuperação da estrutura do solo, bem como as possibilidades de manejar esses processos em escala de lavoura (Gubiani et al., 2015). Para solucionar problemas advindos da compactação excessiva do solo há possibilidade da adoção de algumas práticas de manejo. A técnica de escarificação mecânica pode ser utilizada para atingir as camadas compactadas do solo pois reduz a densidade do solo e responde positivamente à infiltração de água (Nicoloso et al., 2008). Assim, a utilização de práticas mecânicas como a escarificação mecânica permite melhoria na estrutura física do solo. Por outro lado, a maior probabilidade de sucesso na recuperação de um solo se dá quando aplicadas técnicas conservacionistas como o sistema de plantio direto e a rotação de culturas utilizando plantas recuperadoras (SANTOS et al, 2014).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar das vantagens, como agilidade e otimização do processo de plantio, que a mecanização trouxe à prática agrícola, há outros fatores a serem levados em conta. Principalmente com a melhoria do maquinário agrícola, os equipamentos estão se tornando cada vez mais pesados, ou seja, tem aplicado maiores cargas no solo da lavoura. Dessa

maneira o solo é prejudicado sofrendo compactação devido ao excesso de tensões provocadas pela carga aplicada na lavoura.

A compactação gera problemas no solo agrícola, comprometendo a qualidade do mesmo. Dessa maneira dificulta-se o crescimento de plantas, o que limita o rendimento das culturas prejudicando a produção. Esse problema é agravado quando há falta de orientação ao produtor, para que este otimize seu processo de manejo de plantio para melhor aproveitar seu solo. Há práticas que podem reduzir os efeitos da compactação, como escarificação do solo ou rotação de culturas, sendo a primeira caracterizada por seu efeito imediato, enquanto a segunda tem se apresentado mais duradoura. Assim, com um manejo adequado do solo podem-se minimizar os problemas advindos da compactação, bem como controlar os efeitos da compactação sobre a estrutura do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, M.I. de. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 79p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

ANDRADE, R.S.; STONE, L.F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 382-388, 2009.

ANDREOLLA, V.R.M. **Integração lavoura-pecuária: atributos físicos do solo e produtividade das culturas do feijão e milho**. 2010. 139p. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

ARAUJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004.

ARAUJO M.A.; TORMENA C.A.; INOUE T.T.; COSTA A.C.S.; Efeitos da escarificação na qualidade física de um latossolo vermelho distroférrico após treze anos de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 28, n. 3, p. 495-504, 2004.

ASSIS, R.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LANÇAS, K.P.; LAZARINI, G.D. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, 2009.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 581-588, 2004.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P.C.; LEONEL, C.L.; SÃO JOÃO, A.C.G.; FREDDI, O. S. Intervalo hídrico ótimo no monitoramento da compactação e da qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1223-1232, 2007.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; GUIMARAES, R. M.L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 975-983, 2008.

BONINI, A. K.; SECCO, D.; SANTOS, R. F.; REINERT, D. J.; REICHERT, J.M. Atributos físico-hídricos e produtividade de trigo em um Latossolo sob estados de compactação. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 9, p. 1543-1548, 2011.

CARVALHO, M.A.; RUIZ, H.A.; COSTA, L.M.; PASSOS, R.R.; ARAUJO, C.A.S. Composição granulométrica, densidade e porosidade de agregados de Latossolo Vermelho sob duas coberturas do solo. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 18, n. 10, p. 1010-1016, 2014.

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade do feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.933-942, 2008.

EMBRAPA. **Cultivo de Algodão Irrigado**. 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrrigado>>

FERREIRA, M.M. **Caracterização física do solo**. In: Lier, Q. J. van (ed.). Física do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p.1-27.

FIGUEIREDO, C.C. SANTO,G.G.; PEREIRA, S.; NASCIMENTO, J.L. do; ALVES JÚNIOR, J. Propriedades físico-hídricas em Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 146-151, 2009.

GIRARDELLO, V.C.; AMADO, T.J.C.; NICOLOSO, R.S.; HÖRBE, T.A.N.; FERREIRA, A.O.; TABALDI, F.M. & LANZANOVA, M.E. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.35, n. 6, p. 2115-2126, 2011.

GHIDIN, A.A.; MELO, V.F.; LIMA, V.C.; LIMA, J.M.J.C. Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná: II - relação entre mineralogia da fração argila e propriedades físicas dos solos. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 307-319, 2006.

GUBIANI, P. I.; VAN LIER, Q.J.; DRESCHER, M.S.; MEZZOMO, H.C.; VEIGA, C.M.C. Relação entre densidade do solo e conteúdo de água em repetidos ciclos de contração e expansão em um latossolo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viços , v. 39, n. 1, p. 100-108, 2015.

KLEIN, V.A. **Propriedades do solo e manejo de agua em ambientes protegidos com cultivo de morangueiro e figueira**. Passo Fundo: ed. UPF, 2005. 61 p.

LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T.; ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C.; REINERT, D.J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1131-1140, 2007.

LIMA, C.L.R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004. 70p. Tese (Doutorado em

Agronomia) – Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MARCHÃO, R.L.; BALBINO, L.C.; SILVA, E.M.; SANTOS JÚNIOR, J.D.G.; SÁ, M.A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.873-882, 2007.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MULLER, J.; CONTE, O. Soil tillage systems: changes in soil structure and crop response. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1197-1206, 2011.

MELLO, A. N. Degradação física dos solos sob integração agricultura-pecuária. In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 1, 2002, Pato Branco. **Anais...** Pato Branco - PR: CEFET: PR, 2002. p. 43-60.

NICOLOSO, R.S.; AMADO, T.J.C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M.R.; GIRARDELLO, V.C.; BRAGAGNOLO, J. 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, n.4, 2008.

PORTELLA, C.M.R.; GUIMARÃES, M.F.; FELLER, C.; FONSECA, I.C.B.; TAVARES FILHO, J. Soil aggregation under different management systems. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1868-1877, 2012.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; KANSSON, I.H. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil Tillage Res.**, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; **Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação**. In: CERETTA C.A.; SILVA, L.S., REICHERT, J.M., editores. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2007. v.5, p.49-134.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O.R.; LLANILLO, R.F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: Causas e efeitos. **Semina**, v.26, p.321-344, 2005.

REINERT, D.J.; REICHERT, D.J.; VEIGA, M.; SUZUKI, L.E.A.S. Qualidade física dos solos. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 16, 2006. Aracaju, **Resumos...** Aracaju: SBCS, 2006.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2006. 18p.

SALTON, J.C.; SILVA, W.M.; TOMAZI, M.; HERNANI, L.C. **Determinação da agregação do solo - Metodologia em uso na Embrapa Agropecuária Oeste**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2012. 8p.

SANTOS, F.S.; ZANÃO JÚNIOR, L.A.; SECCO, D.; DIAS, P.P.; TOMASSONI, F.; PEREIRA, N. A utilização de plantas de cobertura na recuperação de solos compactados. **Acta Iguazu**, v. 3, p. 82-91, 2014.

SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L.; SILVA, E.M.; SILVEIRA, P.M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1339-1348, 2011.

SECCO, D. **Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas**. 2003. 108p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SILVA, V.R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 58-64, 2009.

SILVA, V.R. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**. Santa Maria. 2003. 171p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V.; LIMA, F.W.F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.833-842, 2005.

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; DIAS JUNIOR, M.; IMHOFF, S.; KLEIN, V.A. **Indicadores da qualidade física do solo**. In: JONG van LIER, Q. Física do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 208p.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA G.T.; Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n.1, p. 48-56, 2009.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. **Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade**. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.533-542, 2004.

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**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 755-760, 2004 .

VASCONCELOS, R.F.B.; CANTALICE, J.R.B.; OLIVEIRA, V.S.; COSTA, Y.D.J.; CAVALCANTE, D.M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.309316, 2010.