

## MANEJO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO EM LAVOURA SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO

Robson Andrei Sanches de Almeida<sup>1\*</sup>; Deonir Secco<sup>1</sup>; Flávio Gurgacz<sup>1</sup>, Emmanuelle Albara Zago<sup>1</sup>; Francisco de Assis Guedes Junior<sup>1</sup>; Luana Salette Celante<sup>1</sup>; Natália Pereira<sup>1</sup> e Natasha Sarchinski Galani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Curso de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na Agricultura.  
Rua Universitária, 2069 – Jardim Universitário  
CEP: 85819-110 - Cascavel PR – Brasil \*E-mail: robsonandrei@hotmail.com

*RESUMO: A busca incessante para elevar os níveis de produtividade das lavouras tem sido decisiva para permanência do produtor rural na atividade. Com a chegada do plantio direto trazendo novos métodos de manejo do solo, foi grande responsável pela elevação dos níveis de produção, além de conservação dos principais recursos naturais. Entretanto, com o passar do tempo, o mau uso deste sistema trouxe sérias consequências para atividade. Um dos principais problemas é a compactação da camada imediatamente abaixo da superfície do solo, que impede o aprofundamento das raízes, diminuindo a absorção de água e trocas gasosas, limitando consequentemente a produtividade. Assim, o objetivo deste trabalho é relatar os principais problemas que levam a compactação de um solo agrícola, e alternativas mecânicas e biológicas que podem promover sua descompactação.*

*PALAVRAS-CHAVE: densidade do solo, porosidade, escarificação, mecanização agrícola.*

**MANAGEMENT OF SOIL COMPACTION IN THE AREA UNDER TILLAGE SYSTEM**  
*ABSTRACT: the relentless pursuit to raise levels of productivity of crops has been decisive for the rural producer. With the arrival of zero tillage bringing new methods of soil management, was largely responsible for the high levels of production, as well as conservation of key natural resources. However, with the passage of time, the misuse of this system has brought serious consequences for activity. One of the main problems is the compression of the layer immediately below the soil surface, which prevents the development of roots, decreasing the absorption of water and gas exchange, limiting therefore productivity. Thus, the aim of this paper is to report the main problems that lead to agricultural soil compaction, and mechanical and biological alternatives that can promote the decompression.*

*KEY WORDS: bulk density of soil, porosity, scarification, agricultural mechanization.*

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Introdução

A agricultura moderna está cada vez mais avançada e dinâmica, onde a busca constante para atingir altas produtividades por área é fator decisivo para a lucratividade e a permanência do agricultor na atividade agrícola. É sabido que o advento do sistema de plantio direto sobre a palha foi uma grande inovação para a agricultura Brasileira e trouxe métodos revolucionários de manejo, com projetos de conservação dos principais recursos naturais

como o solo e a água. Elevou a produtividade das culturas, melhorou a receita líquida dos agricultores, com isso explorou-se novas fronteiras agrícolas e colocou o Brasil a patamares competitivos com os grandes produtores e exportadores mundiais.

Entretanto, com o passar dos tempos, tem surgido alguns problemas de manejo que vem se agravando a cada ano em muitas propriedades, comprometendo a utilização do principal recurso natural que é o solo, sendo explorado e manejado de forma irregular por diversos agricultores e tem posto em xeque o equilíbrio deste sistema e a exploração da atividade agrícola nestas propriedades. Um dos principais problemas enfrentados por estes, é o adensamento e compactação das primeiras camadas de solo, tanto no sistema de plantio direto quanto no manejo ainda convencional. Com o processo de mecanização intensiva das culturas, os solos ficam vulneráveis ao maior adensamento, tornando-se compactados. Estes fatores são mais intensos principalmente em solos mais pesados e mais estruturados, de textura argilosa, quando manejados inadequadamente com alto teor de umidade e fora da faixa de friabilidade, constantemente explorados nas operações com máquinas de grande porte, dimensionadas incorretamente que imprimem excesso de carga sobre o solo. Estes fatores diminuem a porosidade destes solos, tornando-os mais coesos e resistentes, criando barreiras físicas impedindo o crescimento radicular, deixando o solo degradado trazendo uma série de problemas que refletem diretamente no desenvolvimento das plantas e consequentemente limitando o potencial produtivo das culturas ali exploradas.

Assim o manejo da compactação dos solos em áreas de sistema de plantio direto tornou-se um dos principais desafios e tem sido amplamente estudado por órgãos de pesquisas e agricultores dispostos a encontrar alternativas para conciliar as exigências de manejo adequado do sistema, com a demanda veloz e dinâmica do processo produtivo de cada cultura. Desta forma, o objetivo deste trabalho busca trazer os principais problemas que levam a compactação de um solo agrícola, e alternativas mecânicas e biológicas que promovem a descompactação, criadas e estudadas por diversos pesquisadores e órgãos de pesquisa relacionados com a ciência do solo, imprescindível na agricultura.

### **O solo e o processo de compactação**

O solo é o resultado de constantes exposições a intemperismos químicos, físicos e biológicos, e fatores pedogenéticos, e pelas suas características de formação apresentam grande variabilidade espacial de suas propriedades. Segundo Santi et al. (2012) o manejo Antrópico, visando explorar produção agrícola, também contribui para o incremento da variabilidade espacial de atributos. A qualidade do solo é definida quando o solo permite o pleno

desenvolvimento das plantas, e pode ser estimada avaliando atributos indicadores físicos, químicos ou biológicos deste solo (Beutler et al., 2009).

A introdução maciça da mecanização, sem qualquer adaptação prévia aos diferentes tipos de solo pode ocasionar rápida e contínua degradação deste recurso natural (Reis et al., 2007). A compactação do solo de áreas de cultivo não é uniforme porque depende de fatores externos como: tipo, intensidade e frequência de carga aplicada e também de fatores internos como: umidade, textura, estrutura, teor de carbono, densidade inicial do solo e histórico de tensões ao solo (Richart et al., 2005). Reichert et al., (2007) afirmam que a profundidade de compactação é variável de acordo com o sistema de manejo do solo, sendo superficial para o sistema de plantio direto (8 a 15 cm) e subsuperficial para os sistemas de preparo mínimo e convencional (>20 cm).

De acordo com Amado et al., (2007) a compactação geralmente se manifesta de forma regionalizada, com ocorrência mais severa nas zonas de maior trânsito de máquinas e equipamentos. Essas zonas, geralmente, localizam-se nas extremidades da lavoura, diminuindo sua severidade em direção ao centro da área, ainda nos locais com maior umidade, ou com histórico de pressões recorrentes, chamadas zonas de manobras (Girardello et al., 2014). As aplicações de cargas dinâmicas ao solo, causadas pela interface solo/pneu e solo/implemento provocam a aglutinação das partículas primárias do solo, mudanças em propriedades físicas relacionadas ao volume de espaço vazio do solo, redução do crescimento e da distribuição de raízes e suas consequências (Silva et al., 2004). Girardello et al., (2014) cita que, o manejo localizado constitui no fundamento da agricultura de precisão, visando aumentar a eficiência no processo produtivo das culturas onde se pode intervir de maneira regionalizada em um determinado talhão, respeitando a variabilidade e limitações de planta e solo.

A resistência mecânica à penetração das raízes, a porosidade, a aeração, a retenção de água e a temperatura são os atributos físicos que interferem diretamente no crescimento das plantas (Beutler et al., 2006b). O manejo do solo no sistema de plantio direto leva a transformações morfológicas e reorganização da estrutura do perfil, reduzindo a macroporosidade, refletindo no volume de solo explorado pelas raízes das plantas, quando comparados com o sistema de preparo convencional (Cardoso et al., 2006). O desenvolvimento radicular das plantas se dá através dos macroporos ou dos espaços vazios entre os agregados (Abreu et al., 2004). O prolongamento desses espaços vazios, muito importante para o aprofundamento das raízes, é devido a presença de estruturas mais frágeis, fendas originadas dos movimentos de expansão e contração dos colóides do solo e de canais

formados pelas raízes em decomposição e pela atividade biológica da microbiota do solo e estes processos estão diretamente associados ao manejo do solo nas operações de preparo, rotação de culturas e atividades de descompactação (Torres e Saraiva, 1999). Conforme citado por Cardoso et al., (2006) devido ao realocação das partículas de solo, pela compactação, as raízes tendem a concentrar-se na camada superficial do solo, em até 10 cm de profundidade. Em solos compactados, a densidade do solo ( $d_s$ ) é aumentada, a porosidade e a permeabilidade diminuem (Reichert et al., 2007). Essas alterações refletem na adsorção, na translocação e no fornecimento de água (Reichert et al., 2011). Com isso, os mecanismos que conduzem o fluxo de nutrientes no solo e sua absorção pelas plantas são alterados (Medeiros et al., 2005). Além do mais, conforme citado por Silva et al., (2014) a redução dos poros diminui as trocas gasosas e a quantidade de oxigênio disponível na rizosfera, prejudicando o metabolismo das plantas, a transpiração e o acúmulo de matéria seca. A compactação do solo, embora seja um antigo problema agrícola, ainda é encontrada em solos manejados sob plantio direto na camada de aproximadamente 5 a 20 cm (Genro Junior et al., 2004), despontando-se em uma das principais causas limitantes da maximização do rendimento das plantas cultivadas (Suzuki et al., 2008). Nos casos em que a compactação é severa, a produtividade das culturas pode ser seriamente prejudicada, especialmente em sistemas com mínima mobilização do solo (Nicoloso et al., 2008; Amado et al., 2009).

### **Avaliação do estado de compactação do solo**

O grau de compactação tem sido utilizado para caracterizar a relação entre compactação e o crescimento das culturas (Collares et al., 2008). Secco et al., (2009) ressalta que a dimensão dos efeitos da compactação do solo é determinada principalmente pela sua classe textural, pelos sistemas de rotação de culturas utilizados na área, pelo período de uso dos diferentes sistemas de manejo e pela condição de umidade do solo em que são realizadas as operações mecanizadas no campo. Dos atributos físicos do solo utilizados para avaliar o grau de compactação, destacam-se: densidade do solo, resistência à penetração, macroporosidade, infiltração de água e, mais recentemente, a pressão de pré-consolidação que é a pressão máxima que o solo suporta sem ocorrer compactação adicional (Pacheco e Cantalice, 2011).

A densidade do solo ( $d_s$ ) frequentemente tem sido usada como medida da qualidade do solo devido às suas relações intrínsecas com outros atributos, como porosidade, umidade do solo, condutividade hidráulica entre outros (Costa et al., 2007; Martins et al., 2009). De acordo com Reichardt e Timm, (2008) a  $d_s$  possa ser usada como um índice do grau de

compactação de um solo, pois como o solo é um material poroso, a mesma massa pode ocupar um volume menor, se sofrer compressão. Isto afeta a sua estrutura, o arranjo e volume dos poros e as características de retenção de água e aeração. Ao se coletar amostras de solo, a variabilidade dos resultados é atribuída, comumente, a erros de metodologia na amostragem e a sua heterogeneidade no perfil. Segundo Pires et al., (2011) a interferência nos resultados de ds pode estar relacionada aos fatores erros na amostragem, heterogeneidade, em profundidade e no sentido horizontal. Ele comparou diferentes métodos de determinação da ds, e comprovou na experiência que, se a amostragem for feita cuidadosamente, a principal fonte de variação é a heterogeneidade do solo, necessitando de um maior número de amostras para se ter um resultado mais confiável. Por isso vários métodos de determinação da ds foram desenvolvidos para facilitar o processo de amostragem, buscando reduzir estes números de amostras, o esforço e o custo para se planejar sistema de uso e manejo do solo, principalmente na avaliação da variabilidade dos atributos físicos do solo (Timm et al., 2006). A densidade crítica pode variar seus valores de acordo com o tipo de solo. Assim Reichert et al., (2009) reproduziram uma relação linear inversa entre a densidade crítica e o teor de argila.

A resistência do solo a penetração ( $R_p$ ) isoladamente, não consegue indicar se o solo está ou não compactado. Entretanto quando associada com valores de densidade e também com o percentual de macroporosidade deste solo, constituem dados relevante para se determinar o estado estrutural e grau de compactação do solo. A macroporosidade é outro importante indicador do estado de compactação, porque a porosidade regula várias propriedades ecológicas do solo (Reichert et al., 2009). Valores de macroporosidade entre 5 e 10% têm sido apontados como limitantes ao rendimento das culturas (Beutler & Centurion, 2004). Entretanto, restrições ao desenvolvimento radicular nem sempre se refletem em redução no rendimento, uma vez que as culturas apresentam diferente tolerância à compactação (Reichert et al., 2009) existindo complexa interação constante com as condições climáticas e edáficas.

Sobretudo, a infiltração de água é um dos fatores que melhor refletem as condições físicas e hídricas do solo, pois a qualidade estrutural condiciona uma distribuição do tamanho de poros favorável ao crescimento de raízes, à aeração e à infiltração de água no solo (Pott e De Maria, 2003). Os efeitos da microbiota e das raízes sobre a matéria orgânica do solo desempenha papel crucial na dinâmica do solo, sendo conhecida a importância da macrofauna edáfica invertebrada para o equilíbrio e funcionamento do agroecossistema.

### **Fatores que agravam a compactação.**

Após vários anos da adoção do sistema de plantio direto no Brasil, ainda temos observado frustrações de safra ocorridas por déficit hídrico devido ocorrência de pequenos veranicos, até mesmo inferiores a 10 dias (Denardin et al., 2008b). Esse problema está associado à acentuada estratificação do solo na camada superficial de 0 a 20 cm, seja em relação à sua estrutura, ou em relação à distribuição dos nutrientes, limitando o crescimento de raízes apenas a camada superficial do solo (Cavalcante et al., 2007; Denardin et al., 2009). Em solos de textura argilosa, o sistema de plantio direto em monocultivo de soja deposita baixa quantidade de resíduos vegetais na entressafra, apresentando normalmente maior grau de compactação de solo (Camara e Klein, 2005; Silva et al., 2009). Silva et al., (2014) avaliando o crescimento inicial da soja em um Latossolo Bruno com diferentes graus de compactação, encontrou que a partir de 82% de compactação a cultura teve o crescimento inicial restringido.

De acordo com Denardin et al., (2008a), os motivos para o surgimento da degradação do solo e compactação, é devido ao descumprimento de alguns princípios fundamentais da agricultura conservacionista que, em vez de implementar o adequado SPD, recai na adoção simplista do PD como prática de conservação do solo, insuficiente para a sustentação da agricultura nas propriedades do produtivas. Nesse sentido, normalmente se observa o tráfego indiscriminado de máquinas e implementos agrícolas nas lavouras, o uso de semeadoras equipadas somente com discos para abrir os sulcos de semeadura, a fertilização e a calagem apenas na camada de 0 a 5 cm ou excessivamente na superfície, tanto em dose quanto em frequência de aplicação com distribuição irregular criando gradientes de fertilidade no solo. Drescher et al. (2011) relata a simples sucessão de culturas, com pouca produção de resíduos, inferior a demanda biológica do solo, bem como o manejo inadequado do sistema integração lavoura-pecuária, com lotação e pisoteio excessivos nas áreas. Todos estes fatores, aliados a falta de conhecimento dos agricultores carentes de soluções técnicas, favorecem o processo de compactação do solo.

Segundo Nicoloso et al. (2006) o uso da área agricultável no verão intercalado com a pecuária no inverno, conhecido como sistema de integração lavoura-pecuária (SILP) requer manejo adequado, já que o uso da área de lavoura sob pastejo pode ocasionar compactação superficial do solo devido ao pisoteio dos animais e acúmulo reduzido de palha para cobertura do solo prejudicando a implantação da cultura de verão no sistema plantio direto (Veiga et al., 2010). Nas pastagens com gado de leite, Desta maneira, devido ao pastejo rotacionado e

intensivo com alta carga animal em pequena área, resulta em pisoteio excessivo muitas vezes em umidade mais elevada, favorável à deformação do solo resultando em compactação superficial (0,0-0,1 m) (Lanzanova et al., 2007; Figueiredo et al., 2009). Entretanto, Veiga et al., (2013) avaliando os efeitos de duas formas de semeadura e quatro intervalos entre pastejo sobre os atributos físicos do solo, em quatro anos de avaliação, concluiu que o pisoteio aumentou a densidade do solo e reduziu a macroporosidade apenas na camada mais superficial do solo, entre 0,00-0,05 m de profundidade. As áreas destinadas exclusivamente a pecuária, com sistemas intensivos de exploração, exigem utilização de forrageiras com elevada produtividade e qualidade de biomassa, onde durante a produção e conservação utiliza intensivamente máquinas e equipamentos para corte e transporte da biomassa até os animais. Estas atividades muitas vezes são executadas com o solo com umidade elevada, onde os riscos são ainda mais elevados de ocorrer degradação física dos solos, compactação e diminuição de macroporos, trazendo reflexos negativos na produção da forrageira.

No sistema de plantio convencional, com o intenso revolvimento das camadas superficiais do solo pela grade aradora seguida de gradagem niveladora, promove assim a fragmentação dos agregados do solo, além de incorporação de material orgânico, deixando a camada superficial do solo extremamente pulverizada. Esta fina camada dos argilominerais ficando exposta a ação de ventos, poderá ocorrer o transporte de colóides para outras regiões, provocando erosão eólica. Também, por sua vez, a exposição deste solo pulverizado as chuvas, o impacto das gotas promove maior desagregação dos agregados do solo, ocasionando o entupimento dos macroporos, impedindo a infiltração de água no do solo, dando início ao processo de erosão hídrica escoamento superficial, que em grau mais acentuado pode transportar grande quantidade de solo da camada fértil depositando em partes mais baixas do terreno ou causando o assoreamento dos rios.

Dentre os fatores que provocam a compactação, diminuindo a porosidade e a permeabilidade do solo comprometendo o crescimento das culturas, o tráfego constante de máquinas e implementos agrícolas nas diversas operações mecanizadas de condução de uma lavoura são os que mais aplicam energia de compactação provocando alterações na estrutura do solo (Silva et. al., 2014).

### **Alternativas para descompactação do solo - manejo mecânico**

Segundo Girardello et al., (2011) a busca por alternativas visando o armazenamento de água no solo para diminuir a susceptibilidade das culturas a períodos de déficit hídricos, tem

sido motivadas pelos constantes períodos de veranicos ocorridos durante o verão. Neste aspecto, uma medida emergencial que tem sido amplamente praticada é a escarificação do solo, que promove o rompimento da camada superficial encrostada e camadas mais profundas adensadas, elevando o volume de macroporos, reduzindo a densidade do solo e consequentemente a resistência do solo a penetração.

A utilização de mecanismos sulcadores do tipo haste tem se mostrado uma alternativa eficaz para romper da camada superficial compactada, gerada pelo sistema de tráfego das máquinas, uma vez que os mesmos são capazes de operarem em maior profundidade e de mobilização do solo (Bordignon, 2005) melhorando o desenvolvimento radicular e vegetativo das culturas, quando comparados ao mecanismo do tipo disco (Germino e Benez, 2006).

A escarificação mecânica do solo favorece o desenvolvimento radicular das plantas, aumenta a rugosidade superficial, elevando a taxa de infiltração e a capacidade de armazenamento de água no solo, resultando assim em maior disponibilidade de água às culturas (Abreu et al., 2004; Camara & Klein, 2005). No entanto, em estudos conduzidos sob solo argiloso, Nicoloso et al. (2008) reportaram que a escarificação apresentou efeito de curta duração na melhoria dos atributos físicos, não ultrapassando o período de uma safra agrícola. Araujo et al. (2004) afirmaram que a escarificação utilizada de forma isolada, como preparo reduzido em áreas sob sistema de plantio direto, não mostrou resultados positivos no rendimento de culturas de grãos. Afirmações similares foram feitas por Veiga et al., (2008), onde a prática de descompactação com escarificação, além de serem custosas, não implicou em aumento de rendimento das culturas, ocasionando muitas vezes, até mesmo redução. A escarificação mecânica é uma operação de grande exigência de potência do trator, alto consumo de combustível e demanda de tempo. Neste contexto, Girardello et al., (2011) sugerem que a escarificação, preferencialmente, deveria ser realizada somente de forma localizada, em zonas de maior severidade, sendo uma alternativa à escarificação generalizada, diminuindo a mobilização do solo na área, evitando prejuízos ao sistema de plantio direto.

A aração também é empregada como prática para diminuição da compactação do solo, desde que os discos consigam profundidade maior do que a camada compactada (Drescher et al., 2011). A aração consiste em aprofundar discos rotativos na camada arável do solo, promovendo a inversão da leiva, trazendo o solo mais profundo para superfície e incorporando os restos culturais presentes sobre do solo, promovendo assim um revolvimento e consequentemente quebra da camada inicial mais adensada. Existem as grades pesadas que promovem um afrouxamento do solo na camada de até 0,2 m com um bom revolvimento deste solo. Entretanto, esta traz algumas desvantagens em relação aos subsoladores, pois



permite operá-la em uma faixa de umidade do solo muito restrita, além de formar camada compactada logo abaixo desta profundidade, pela pressão imposta pelos discos rotativos, formando o chamado “pé-de-grade” impedindo o aprofundar das raízes das plantas e deixando solo vulnerável a erosão hídrica. As grades leves são desenvolvidas para operações secundárias, não promovendo assim descompactação significativa.

Outra alternativa para promover a descompactação de forma mais localizada, é o emprego de semeadoras equipadas com haste sulcadora associado ao disco de corte, promovendo o rompimento da camada mais firme na linha de semeadura, fazendo com que a cultura possa expressar seu potencial produtivo (Conte et al., (2008). Para Drescher et al., (2011) equipamentos nestas configurações permitem a redução da compactação do solo e promove o aumento da porosidade e a redução da densidade e resistência mecânica do solo à penetração no local específico da linha de semeadura, porém essencial onde crescerão as raízes das plantas semeadas, com efeito positivo quando a compactação estiver próximo à camada superficial. Koakoski et al. (2007), estudando dois tipos de mecanismos rompedores em semeadora-adubadora, observou que o mecanismo rompedor tipo facão incrementou em 24 % a porosidade do solo, quando comparado a mecanismos tipo disco duplo. Esses mesmos autores verificaram ainda, que o uso do facão propiciou também, valores menores de resistência à penetração do solo, quando comparado ao disco duplo na linha de semeadura, principalmente na camada de 0,10 a 0,15 m.

### **Alternativas para descompactação do solo - manejo cultural e biológico**

Segundo Drescher et al., (2011) a procura por métodos alternativos para reverter a compactação do solo, diferente dos tradicionalmente empregados, tem sido cada vez mais procurados e estudados. O rompimento das camadas subsuperficiais de solo compactado pode ser realizada implantando na área plantas de cobertura com sistema radicular profundo e agressivo (Abreu et al., 2004; Foloni et al., 2006; Reichert et al., 2007).

Dentre as principais plantas utilizadas para cobertura de solo, podemos relacionar as seguintes espécies: a crotalária, o tremoço, o nabo forrageiro, ervilha, ervilhaca peluda, milheto, entre outras. A utilização de pastagem alternativa no inverno constituída por aveia-preta e azevém, isolada ou em consórcio, tem promovido benefícios na estrutura do solo. É importante dar preferência pelas espécies com elevada relação C:N, para que o efeito de cobertura do solo dure por mais tempo.

Todas estas espécies promovem o aprofundamento de raízes, rompendo a camada compactada, e na ocasião da dessecação ou morte destas, deixam inúmeros canalículos (bioporos) que favorecem a infiltração de água e aeração. Por esse motivo, estas plantas também são conhecidas como espécies recuperadoras de estruturas de solo, além dos benefícios de participar da rotação de culturas na área explorada, deixam grande quantidade de palha recobrando o solo, mantendo por mais tempo a umidade e temperatura da superfície deste solo.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

As diversas operações com máquinas e implementos agrícolas sobre o solo agrícola com maior teor de umidade, tráfego constante e sem critérios, promove a compactação da camada até 0,2 m de profundidade.

Áreas com sistema integrado de lavoura e pecuária, também apresenta certo grau de compactação, embora em menor efeito que aquele promovido por máquinas.

A ausência de cobertura vegetal sobre o solo leva a fragmentação e intemperização dos agregados, ocasionando maior adensamento e entupimento dos macroporos.

Para reverter compactação, medidas mecânicas imediatas, porém de curta duração dos efeitos como a escarificação ou semeadora equipada com haste sulcadora no adubo.

O cultivo de plantas de cobertura, para manutenção e elevação da palha na superfície do solo, promove excelente camada protetora, aumenta os níveis de material orgânico, e melhora a estrutura física, química e biológica deste solo.

### REFERÊNCIAS

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

AMADO, T.J.C.; PES, L.C.; LEMAINSKI, C.L. & SCHENATO, R.B. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com o rendimento de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33 p.831-843, 2009.

ARAUJO, M.A.; TORMENA, C.A.; INOUE, T.T. & COSTA, A.C.S. Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico após treze anos de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28 p.495-504, 2004.

AMADO, T.J.C.; PONTELLI, C.B.; SANTI, A.L.; VIANA, J.H.M.; SULZBACH, L. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42 p.1101-1110, 2007.

BEUTLER, A.N. & CENTURION, J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v.39 p.581-588, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; SILVA, A. P. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, p. 787-794, 2006b.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; MENGATTO, L. H.; MENGATTO, L. H.; ALVES, J. B.; WAGNER, G. P. C. Impacto do tráfego de máquinas na qualidade física do solo e produtividade de milho em Argissolo. **Acta Scientiarum Agronomy** v. 31, n. 2, p. 359-364, 2009.

BORDIGNON, J. **Projeto, construção e desenvolvimento de transdutores para medição de esforços em semeadoras-adubadoras**. 2005. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2005.

CAMARA, R.K. & KLEIN, V.A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29 p.789-796, 2005.

CARDOSO, E. G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J. L.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; GUIMARAES, M. F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p.493-501, 2006.

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 de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 32 p.933-942, 2008.

CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, M.C.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z.M. Variabilidade espacial de Mo, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, v.37 p.394-400, 2007.

CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C.R.; MAZURANA, M.; DEBIASI, H. Resistência mecânica do solo e força de tração em hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras em sistema de integração lavoura-pecuária. **Engenharia Agrícola**, v.28, p.730-739, 2008.

CONTE, O.; FLORES, J.P.C.; CASSOL, L.C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C. F.; LEVIEN, R.; WESP, C.L. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.46, n.10, p.1301-1309, 2011.

COSTA, M. J.; ROSA JÚNIOR, E. J.; ROSA, Y. B. C. J.; DE SOUZA, L. C. F.; ROSA, C. B. J. Atributos químicos e físicos de um latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 29, n. 5, p. 701-708, 2007.

DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A. & SANTI, A. Falhas na implementação do sistema plantio direto levam a degradação do solo. **Revista Plantio Direto**, v.18 p.33-34, 2008a.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; BACALTCHUK, B.; SATTLER, A.; DENARDIN, N.D'A.; FAGANELLO, A.; WIETHÖLTER, S. Sistema plantio direto: fator de potencialidade da agricultura tropical brasileira. In: ALBUQUERQUE, A.C.S. & SILVA,

A.G., ed. Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. Brasília, **Embrapa Informação Tecnológica** v.1. p.1251-1273, 2008b.

DENARDIN, J.E.; SCHAEFFER, R.; FAGANELLO, A.; KOCHHANN, R.A. **Heterogeneidade física de um Latossolo argiloso manejado sob sistema plantio direto.** Passo Fundo, Embrapa Trigo, 2009. 16 p. html (Embrapa Trigo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 70 - online). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p\\_bp70.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p_bp70.htm)>

DRESCHER, M.S.; ELTZ, F.L.F.; DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 35 p.1713-1722, 2011.

FIGUEIREDO, C.C.; SANTOS, G.G.; PEREIRA, S.; NASCIMENTO, J.L.; et al. Propriedades físico-hídricas em Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13 p.146-151, 2009.\*

FOLONI, J.S.S.; LIMA, S.L.; BÜL, L.T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.30, n.1, p.49-57, 2006.

GENRO JUNIOR, S.A.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.28 p.477-484, 2004.

GERMINO, R.; BENEZ, S.H. Ensaio comparativo em dois modelos de hastes sulcadoras para semeadoras-adubadoras de plantio direto. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.21, n.3, p.85-92, abr./jun. 2006.

GIRARDELLO, V.C.; AMADO, T.J.C.; NICOLOSO, R.S.N.; 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. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.35 p.2115-2126, 2011.

GIRARDELLO, V.C.; AMADO, T.J.C.; SANTI, A.L.; CHERUBIN, M.R.; KUNZ, J.; TEIXEIRA, T.G. 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 de Solo**, v.38, p.1234-1244, 2014.

KOAKOSKI, A.; SOUZA, C.M.A.; RAFULL, L.Z.L.; SOUZA, L.C.F.; REIS, E.F. Desempenho de semeadora-adubadora utilizando-se dois mecanismos rompedores e três pressões da roda compactadora. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v.42 p.725-731, 2007.

LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T.; ELTZ, F.L.F.; et. al. 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.\*

MEDEIROS, R.D.; SOARES, A.A.; MENDES, G.R. Compactação do solo e manejo da água. I: Efeitos sobre a absorção de N, P, K, massa seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz. **Ciência e Agrotecologia**, v.29 p.940-947, 2005.

NICOLOSO, R.S.; LANZANOVA, M.E.; LOVATO, T. Manejo de pastagens de inverno e potencial produtivo de sistemas de integração lavoura-pecuária no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36 p.1799-1805, 2006.

NICOLOSO, R.S.; AMADO, T.J.C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M.E.; 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 de Solo**, v.32 p.1723-1734, 2008.

PACHECO, E.P. e CANTALICE, J.R.B. Análise de trilha no estudo dos efeitos de atributos físicos e matéria orgânica sobre a compressibilidade e resistência à penetração de um Argissolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.35 p.417-428, 2011.

PIRES, L.F.; ROSA, J.A.; TIMM, L.C. Comparação de métodos de medida de densidade de solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.33, n.1, p.161-170, 2011.

POTT, C.A. e DE MARIA, I.C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.27 p.19-27, 2003.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2008.

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. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.5, p.49-134, 2007.

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 p.242-254, 2009.

REICHERT, J.M.; ALBUQUERQUE, J.A.; GUBIANI, P.I.; KAISER, D.R.; MINELLA, J.P.G. & REINERT, D.J. Hidrologia do solo, disponibilidade de água às plantas e zoneamento agroclimático. In: FILHO, O.K.; MAFRA, A.L. e GATIBONI, L.C., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v.7, p.1-54, 2011.

REIS, G. N.; BIZZI, A.C.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P.; LOPES, A.; GROTTA, D.C.C.G. Avaliação do desenvolvimento da cultura da soja (*Glycine max* (L.Merrill) sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 1, p. 228-235, 2007.

RICHART, A. et al. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v.26, n.3, p.321-344, 2005.

SANTI, A.L.; AMADO, T.J.C.; CHERUBIN, M.R.; MARTIN, T.N.; PIRES, J.L.; DELLA FLORA, L.P. & BASSO, J.C. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitante à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p. 1346-1357, 2012.

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. **Ciência Rural**, v.39 p.58-64, 2009.

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

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BORTOLUZZI, E.C. Soil water dynamics related to degree of compaction of two Brazilian Oxisols under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.33 p.1097-1104, 2009.

SILVA, F.R.; ALBUQUERQUE, J.A.; COSTA, A. Crescimento inicial da cultura da soja em Latossolo Bruno com diferentes graus de compactação. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.38 p.1731-1739, 2014.

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

TIMM, L.C.; PIRES, L.F.; ROVERATTI, R.; ARTHUR, R.J.C.; REICHARDT, K.; OLIVEIRA, J.C.M.; BACCHI, O.O.S. Field spatial and temporal patterns of soil water content and bulk density changes. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 2, p. 55-64, 2006.

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja. **Circular técnica**, 23. Embrapa CNPSo,.. Londrina: Embrapa-CNPSo. 58p, 1999.

VEIGA, M.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & KAISER, D.R. Short and long-term effects of tillage systems and nutrient sources on soil physical properties of a Southern Brazilian Hapludox. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.32 p.1437-1446, 2008.

VEIGA, M.; PANDOLFO, C.; BALBINOT JUNIOR, A.A. Métodos de semeadura, intervalos entre pastejos e adubação nitrogenada da pastagem de inverno em sistema de integração lavoura-pecuária: I. Atributos físicos do solo. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 8, 2010, Santa Maria. **Resumos...** Santa Maria: SBCS-NRS, v.1 p.1-6, 2010.

VEIGA, M.; PANDOLFO, C.; BALBINOT JUNIOR, A.A. Atributos físicos do solo em formas de semeadura da pastagem de inverno associadas a intervalos entre pastejos. In: XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1, 2013, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: CBCS 4p.