

Alterações estruturais de um Latossolo argiloso sob plantio direto induzidas pela intensidade de tráfego de um trator

Diego Mioranza¹, Helton Aparecido Rosa², Eloir José Assmann², Deonir Secco³, Ana Paula Morais Mourão Simonetti², Carlos Roberto Moreira²

¹Engenheiro Agrônomo - Faculdade Assis Gurgacz - FAG, Cascavel – PR. E-mail: mioranzad@gmail.com

²Professor - Faculdade Assis Gurgacz - FAG, Cascavel – PR. E-mail: helton@fag.edu.br; anamourão@fag.edu.br; eloir@fag.edu.br; carlosmoreirahbl@gmail.com

³Professor - Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. E-mail: deonir.secco@unioeste.br

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi avaliar as modificações na porosidade do solo (macro e microporos) e condutividade hidráulica saturada, em um Latossolo argiloso submetido a diferentes níveis de compactação induzidas pela intensidade de tráfego de um trator. O trabalho foi realizado em uma área de produção comercial sob plantio direto de 12 anos. Para compactação adicional utilizou-se um trator com massa total de 6,5t. Os tratamentos foram compostos por: T0 - sem compactação adicional; T1 – duas passagens; T2 - quatro passagens e T3 – seis passagens do rodado do trator. O delineamento experimental utilizado foi DIC (delineamento inteiramente casualizado), com quatro tratamentos e cinco repetições para cada camada de solo analisada. Efetuou-se análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância com o auxílio do software SISVAR. Os dados foram processados no laboratório de física do solo da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Os parâmetros avaliados foram: densidade do solo, espaço poroso e condutividade hidráulica saturada. O tráfego induzido de um trator sobre o solo em condições de alta umidade indicou interferência nas propriedades físicas do solo, ocasionando de maneira geral efeitos principalmente na porosidade total e na condutividade hidráulica saturada do solo.

Palavras-chave: compactação do solo, condutividade hidráulica saturada, espaço poroso.

Abstract

Structural changes of a clayey Oxisol under no-tillage-induced intensity of a tractor traffic. The aim of this study was to evaluate the changes in soil porosity (macro and micropores) and saturated hydraulic conductivity in a clay Oxisol submitted to different levels of pressure-induced intensity of a tractor traffic. The study was conducted in an area of commercial production under no-till 12 years. To further compaction utilized a tractor with total mass of 6,5t. The treatments were: T0 - without additional compaction; T1 - two passes; T2 - four passes and T3 - six wheeled tractor passes. The experimental design was DIC (completely randomized design), with four treatments and five replicates for each soil layer analyzed. We conducted analysis of variance and treatment means were compared by Tukey test at 5% significance with the help of SISVAR software. The data were processed in the soil physics laboratory at the State University of Western Paraná. The parameters evaluated were: bulk density, pore space and saturated hydraulic conductivity. Induced traffic of a tractor on the ground in high humidity conditions indicated interference in the physical properties of the soil, mainly resulting from general effects on total porosity and saturated hydraulic conductivity of the soil.

Keywords: soil compaction, saturated hydraulic conductivity, pore space.

Introdução

O avanço tecnológico no setor agrícola, impulsionado por uma demanda crescente de alimentos em quantidade e qualidade, derivou uma adaptação das máquinas e equipamentos utilizados nos processos produtivos, sendo estas cada vez

maiores e mais pesadas, e associadas a um tráfego intenso no campo em condições onde o solo encontra-se com maior umidade, torna-o mais propenso à compactação, influenciando diretamente nas modificações das propriedades físicas do solo.

Segundo Rosim et al. (2012) os principais efeitos da compactação são: aumento da resistência ao crescimento radicular, redução da aeração e disponibilidade de água no solo, acarretando decréscimo de produtividade e qualidade das culturas.

De acordo com Camargo (1983) e Seixas (1988), a compactação pode ser determinada como sendo a ação mecânica, a qual se atribui à solo diminuição do seu índice de vazios, sendo este definido pela relação entre o volume de vazios e de sólidos.

Estudos realizados por Novak et al. (1992) e Streck et al. (2004), em algumas regiões do Brasil, constataram alterações significativas nas propriedades físicas de alguns solos, isso evidenciado pelo tráfego contínuo de máquinas e equipamentos, especialmente em condições de umidade elevada. Problemas agravados pela falta de revolvimento do solo e do uso de culturas que não beneficiam a melhoria da qualidade estrutural. Seguindo a mesma linha de pesquisa Collares et al. (2006), Dexter et al. (2007), Rossetti e Centurion (2013) e Oliveira (2013) constataram a reorganização dos elementos sólidos do solo, sua desestruturação e a sua compactação, que diminuem principalmente a macroporosidade.

Em ocasiões que se encontram solos com umidade elevada, a compactação vem constituindo-se como a principal causa da sua deterioração física, pela redução do seu espaço poroso (Raper, 2005), principalmente até a profundidade de 0,20 m (Cardoso et al., 2006), sendo que a maior condição de compactação foi verificada próximo de 0,10 m de profundidade (Genro Junior et al., 2004).

As consequências da compactação geram alterações estruturais do solo devido ao fato da reorganização das partículas e de seus agregados, o que aumenta a densidade e a resistência do solo à penetração, reduzindo assim o volume de macroporos, e por subsequência, impedindo o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas, fator limitante para a produtividade das culturas. Entende-se então que para um bom estado de agregação e estabilidade do solo, deve-se existir a manutenção de sua estrutura (Corrêa, 2002; Streck et al., 2004; Collares, 2005, Osunbitam et al. 2005; Collares et al., 2006)

Vasconcelos et al. (2010), indicam que a agregação do solo controla a movimentação

interna da água, ar e calor, bem como o desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Os autores citam ainda que a concentração de matéria orgânica diminui a densidade do solo, além de, junto a restos culturais, propiciar o desenvolvimento de poros de diâmetro grande, advindos de sistemas radiculares de plantas em decomposição, o que beneficiam a entrada de ar e a drenagem de água.

O plantio direto apesar de inúmeros benefícios, manejando-se incorretamente, pode ocasionar problemas de compactação do solo, traduzindo em um aumento de densidade e diminuição da porosidade do solo, diminuindo a capacidade de infiltração de água. Juntamente com o avanço da tecnologia do plantio direto com o intuito de obter produção em quantidade e qualidade, o tráfego contínuo de máquinas agrícolas em um solo com alta umidade contribui para alterações significativas nos atributos físicos do solo e na sua qualidade estrutural, o que deixa mais propenso à compactação (Oliveira et al., 2013).

Segundo Seganfredo et al. (1997); Bertol et al. (1997), Streck et al. (2004), os sistemas de manejo do solo possuem uma grande influência nas mudanças das propriedades físicas do solo, e ainda estão relacionadas com sua compactação. Flores et al. (2008), citam em seus estudos que os sistemas de preparo convencional e plantio direto, crescem a densidade, diminuem a porosidade total, a microporosidade, a retenção e a disponibilidade de água em relação ao campo e à mata nativa em um Argissolo vermelho.

O manejo em sistema de plantio direto é um procedimento eficiente no controle da erosão do solo, quando confrontado com o sistema convencional, porém alguns estudos sugerem uma maior compactação no manejo de plantio direto (Hakansson e Medvedev, 1995; Klein e Boller, 1995), isso provocado pelo efeito somatório do tráfego de máquinas e o rearranjo natural das partículas sólidas (Hakansson et al., 1988; Reinert, 1990; Silva et al., 1997), onde verifica-se que nesse sistema a movimentação é restrita à linha de semeadura, com movimentação intensa de máquinas causando compactação na camada subsuperficial do solo (Tormena et al. 1998).

Segundo Veiga (2012), a disponibilidade de água para as plantas após um evento de precipitação ou de irrigação

depende da lâmina de água infiltrada, do movimento dessa água no perfil e da capacidade de armazenamento de água no solo em uma faixa de tensão que as plantas possam absorvê-la com facilidade.

Sendo assim a condutividade hidráulica do solo é um parâmetro que representa a capacidade com que o solo conduz a água (Mesquita e Moraes, 2004). Onde o seu valor máximo é obtido quando o solo está saturado, e este passa a se chamar condutividade hidráulica saturada (Reichardt e Timm, 2012). Esta condutividade hidráulica saturada do solo (K_{sat}) corrobora sobre a capacidade de transporte de água, solutos e substâncias químicas no solo, sendo o seu valor usado nos cálculos de fluxos de água no solo (Mesquita e Moraes, 2004).

Segundo Reichardt e Timm (2012), a condutividade hidráulica é sujeita a dependência da quantidade do espaço poroso, o que varia muito de um solo para outro, e até mesmo dentro da mesma classe destes. Castro et al. (2009), averiguaram em seu trabalho de oito anos de plantio direto em solo cultivado com milho, uma maior condutividade hidráulica saturada de um Latossolo vermelho, quando comparados com os sistemas de manejo de solo em preparo escarificado e convencional, devido à maior continuidade dos poros.

Silva e Cabeda (2006) afirma que a infiltração de água em Latossolos, em condições normais é geralmente elevada, entretanto ela pode ser reduzida em solos compactados, devido à redução da macroporosidade.

Observou-se que em solos compactados, a taxa de infiltração de água é reduzida, derivando resultados insatisfatórios referentes a uma aeração deficiente e uma maior taxa de escoamento superficial (Beltrame et al., 1981 e Coleti e Demattê, 1982).

Sendo assim o objetivo do presente trabalho foi avaliar as modificações na porosidade do solo (macro e microporos) e condutividade hidráulica saturada, em um Latossolo argiloso submetido a diferentes níveis de compactação induzidas pela intensidade de tráfego de um trator.

Material e Métodos

O experimento foi realizado em uma

lavoura de produção comercial situada na cidade de Guaraniaçu, Paraná, com coordenadas geográficas S 24°59'29,5" e W 052°57'27,2" à 680m de altitude. O clima da região apresenta-se como temperado mesotérmico e superúmido, tipo climático Cfa (Köppen), com pluviosidade anual média de 1200 a 1500 mm e temperaturas médias anuais de 17°C. O solo é classificado segundo o sistema brasileiro de classificação dos solos (Embrapa, 2006) como sendo um Latossolo Vermelho Distroférrico, textura argilosa a muito argilosa, relevo suave-ondulado, substrato basalto.

A área utilizada para o estudo vinha sendo cultivada há doze anos no sistema plantio direto com aveia branca no inverno e soja e milho safrinha no verão. No momento da aplicação dos tratamentos, a área encontrava-se cultivada com aveia branca dessecada. As parcelas foram divididas em quatro faixas de 4m de largura x 13m de comprimento, onde foram aplicados os tratamentos que constituíram três níveis de tráfego do trator, mais a testemunha, sem tráfego, com estado de compactação natural, que refletia a situação histórica das tensões sofridas durante os anos anteriores.

Os tratamentos consistiram em: T0 - sem compactação adicional; T1 - com duas passadas do trator; T2 - quatro passadas do trator. T3 - com seis passadas do trator. Para estabelecer os tratamentos, o trator trafegou por toda a extensão da parcela, de um lado a outro, sendo que a sobreposição sempre era efetuada em cima do mesmo rastro.

O tráfego do trator foi efetuado após uma chuva quando o solo encontrava-se com umidade média de 31%, próxima do limite de plasticidade. As amostras de solo para determinação da densidade, espaço poroso e condutividade hidráulica saturada, foram coletadas nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30m, logo após a implementação dos tratamentos. Foram feitas cinco repetições por parcela, coletando três amostras por repetição, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30m, perfazendo um total de quinze amostras por camada.

O trator utilizado para compactar o solo estava equipado de um conjunto de plaina dianteira. A massa total do trator era de 6,5 toneladas.

Em seguida as amostras coletadas foram encaminhadas para o laboratório de

Física do Solo, do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus de Cascavel - PR. Estas foram preparadas e acondicionadas em bandejas plásticas, que foram saturadas em água durante um período de 48 horas. Após saturação determinou-se a condutividade hidráulica saturada com auxílio de um permeâmetro de carga constante (Embrapa, 1997). Posteriormente, levou-se as amostras para uma coluna de areia a 0,006 Mpa de tensão de sucção por 96 horas, com objetivo de retirar a água contida nos macroporos. Após serem pesadas em balança de precisão de 0,1g de exatidão, foram colocadas em estufa à 105°C por 48 horas, para posterior quantificação da microporosidade (Reinert e Reichert, 2006). Para o cálculo da porosidade total do solo foi realizada a análise de densidade de partículas segundo metodologia do balão volumétrico com álcool preconizada pela Embrapa (1997).

O delineamento experimental utilizado foi DIC (delineamento inteiramente

casualizado), com quatro tratamentos e cinco repetições para cada camada analisada. Efetuou-se análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância com o auxílio do software SISVAR.

Resultados e Discussão

Os dados referentes a porosidade total estão descritos na Tabela 1. Verifica-se que para a camada de 0-0,10m o tratamento T0 apresentou maiores valores, que foram considerados estatisticamente diferentes dos tratamentos T1 e T3, não apresentando médias diferentes em relação ao tratamento T2. Na camada 0,10-0,20m, o tratamento T1 apresentou o maior valor, sendo igual estatisticamente a T0 e T2, diferindo do tratamento com maior número de passadas, que apresentou menor média. Na última camada estudada não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos.

Tabela 1. Porosidade total de um Latossolo argiloso submetido a diferentes intensidades de tráfego

Tratamentos	Profundidades (m)		
	0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30
T0	61,33a	56,73ab	58,35a
T1	54,48b	58,70a	57,22a
T2	55,19ab	56,68ab	57,80a
T3	52,72b	54,66b	56,64a
CV (%)	5,47	3,26	2,72
DMS	5,52	3,34	2,83

Médias de tratamentos seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo Teste Tukey a 5% de significância. Cv= Coeficiente de variação; DMS= Diferença Mínima Significativa.

Estes resultados concordam com Hillel (1998), que diz que a compactação reduz a porosidade total além de diminuir o tamanho e a continuidade de poros.

Boeni (2000), encontra parâmetros similares, trabalhando com Latossolo Vermelho e um Argissolo Vermelho, onde foram trafegados por trator, com diferentes níveis de pressão dos pneus, encontrando uma redução da porosidade total onde a pressão era maior nos pneus para a primeira camada, e diminuição da macroporosidade, sem alteração de pressão nos pneus na camada logo abaixo. Assim explica-se o fato dos resultados encontrados, onde a porosidade total foi

reduzida significativamente em quase todos os tratamentos, exceto na última camada de 0,20-0,30m, pois o trator utilizado trafegou pelo solo úmido com pneus diagonais (pneus comuns), com alta pressão nos pneus, o que diminui a área de contato com o solo, assim aumentando a carga em massa por cm², e gerando uma maior compactação localizada na área de tráfego, o que efetivamente causou a redução da porosidade total.

Deste mesmo modo pode-se observar o decréscimo da macroporosidade (Tabela 2) da camada de 0-0,10 a 0,20-0,30m, para a maioria dos tratamentos, evidenciando a descontinuidade dos poros.

Tabela 2. Macroporosidade (%) total de um Latossolo argiloso submetido a diferentes intensidades de tráfego.

Tratamentos	Profundidades (m)		
	0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30
T0	15,80a	15,26a	12,03a
T1	13,97a	13,20a	11,40a
T2	12,17a	15,00a	12,34a
T3	12,52a	11,81a	11,47a
CV (%)	19,52	17,48	17,89
DMS	4,81	4,37	3,83

Médias de tratamentos seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo Teste Tukey a 5% de significância
Cv= Coeficiente de variação; DMS= Diferença Mínima Significativa.

Constatou-se que a macroporosidade, em todas as camadas estudadas, não apresentou alterações significativas.

A microporosidade (Tabela 3) para o tratamento sem passadas (T0) na camada 0-0,10m, apresentou valores superiores e estatisticamente diferentes dos demais tratamentos, exceto T2. Para as demais profundidades os resultados não apresentaram valores significativos, o que corrobora com resultados encontrados por Streck (2004), que observou que não ocorreu alteração da microporosidade em profundidades inferiores a

0,10m. Entende-se que pelo elevado nível de umidade no solo a compactação foi maior na superfície, onde a força de contato dos pneus com o solo é maior, o que gera maior deformação nessa camada por diminuir a quantidade de macroporos, impedindo a passagem de água e ar para os perfis inferiores do solo, devendo-se ao fato que esta força conciliada com umidade, agregam as partículas com maior facilidade, reestruturando o perfil do solo, promovendo assim alterações nas suas propriedades físicas.

Tabela 3. Microporosidade (%) de um Latossolo argiloso submetido a diferentes intensidades de tráfego.

Tratamentos	Profundidades (m)		
	0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30
T0	44,53a	41,47a	46,32a
T1	40,51bc	45,50a	45,83a
T2	43,03ab	41,68a	45,46a
T3	40,20c	42,86a	45,16a
CV (%)	3,62	7,03	4,73a
DMS	2,75	5,46	3,91

Médias de tratamentos seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo Teste Tukey a 5% de significância
Cv= Coeficiente de variação; DMS= Diferença Mínima Significativa.

A Tabela 4 apresenta os resultados que demonstram que entre os tratamentos compactados não houve diferença significativa na condutividade hidráulica saturada (CHS). Todos os resultados nos diferentes níveis de compactação tiveram sua CHS afetada abruptamente, sendo consideradas diferentes estatisticamente do tratamento sem tráfego adicional. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva (1996) e Beutler et al. (2003), onde estudando a CHS de solos sobre sistema de plantio direto com cultivo de soja, não observaram diferenças estatísticas entre as áreas

analisadas. Esse efeito sobre a velocidade de percolação da água no solo. Carvalho (2002), cita que a CHS do é mais condicionada pela estrutura do que textura do solo, onde o efeito da estrutura proporciona que um solo argiloso, possa expor valores de CHS quase iguais aos solos arenosos. Para Stone et al. (2002), a implicação da compactação na redução do tamanho dos poros, que efetuam o transporte da água, explica a redução da CHS e o aumento da densidade do solo. Oliveira et al. (2013) constaram que a CHS foi reduzida significativamente em áreas onde submetidas ao tráfego de um trator.

Tabela 4. Condutividade hidráulica saturada (mm/h) de um Latossolo argiloso submetido a diferentes intensidades de tráfego.

Tratamentos	Profundidades (m)		
	0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30
T0	295,89a	194,26a	166,56a
T1	29,00b	11,34b	4,38b
T2	9,71b	3,22b	2,15b
T3	0,86b	0,43b	0,95b
CV (%)	40,98	48,76	59,4
DMS	62,2	46,17	46,79

Médias de tratamentos seguidas por letras distintas na coluna diferem pelo Teste Tukey a 5% de significância. Cv= Coeficiente de variação; DMS= Diferença Mínima Significativa.

Outro fator que pode ser observado com aumento da compactação, evidenciado pela redução da CHS, é que os macroporos são reduzidos de maneira geral, mesmo sem significância estatística, e corrobora com Mesquita e Moraes (2004) que citam a dependência existente entre a CHS e propriedades físicas do solo, com macroporosidade. Esta redução dos macroporos adjunta com a redução da CHS indica que os dois fatores possuem correlação, sendo a CHS dependente da macroporosidade do solo. Os resultados estão de acordo com os estudos de Silva e Katto (1997), que trabalhando em um Latossolo Vermelho-Amarelo, verificaram diferenças consideráveis na CHS do solo, trabalhado em sistemas de cultivo diferentes, mostrando que pequenas alterações na macroporosidade foram acompanhadas por grandes alterações dos valores da CHS.

Constatou-se também na Tabela 4, que para todas as camadas estudadas, os tratamentos apresentaram um coeficiente de variação (CV) alto, acima de 30%, o que segundo Gomes (1984), caracterizam amostras de variabilidade muito alta. Porém segundo Eguchi et al. (2003), explica que a elevada variabilidade dos dados da CHS pode ser esclarecida pela heterogeneidade estrutural do solo em estudo, como também pela composição do solo com raízes de plantas, atividade microbiológica, fissuras localizadas causadas pelas épocas de estiagens, onde a contração do solo e entre outros fatores. Assim também Hurtado (2004) relata que várias características físicas do solo são responsáveis pela variabilidade da CHS, uma vez que esta é influenciada por todas as

propriedades que afetam a distribuição, o tamanho e a forma dos poros da matriz do solo, tais como densidade, textura, estrutura e porosidade.

A CHS apresenta valores que se diferenciam significativamente quando compara-se o tratamento sem passadas (T0), com os demais tratamentos, refletindo assim que o solo encontrava-se em boas condições físicas, com macroporosidade próxima do estado físico ideal de 15%. Conforme a adição de tráfego verificou-se que ocorreu alteração do estado estrutural do solo, propiciando menores velocidades de condutividade hidráulica saturada.

Conclusão

O tráfego induzido de um trator sobre o solo em condições de alta umidade indicou interferência nas propriedades físicas do solo, ocasionando de maneira geral efeitos principalmente na porosidade total e na condutividade hidráulica saturada do solo.

Referências

- BELTRAME, L.F.S.; GOLDIN, L.A.R.; TAYLOR, J.C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.5: 145-149, 1981.
- BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e na ausência dos resíduos culturais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21: 409-418,

- 1997.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; ROQUE, C.G. Comparação de métodos para determinação da capacidade de campo em laboratório. **Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v.12, n.2, p.55-68, 2003.
- BOENI, M. **Comportamento mecânico de solos escarificados em função do teor de água e pressão de inflação dos pneus do trator**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – 2000.
- CAMARGO, O.A. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas**. Campinas: Fundação Cargil, 1983. 44p.
- CARDOSO, E.G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J.L.; TORRES, E.; SARAIVA, O.F. & GUIMARÃES, M.F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41:493-501, 2006.
- CARVALHO, L.A. **Condutividade hidráulica do solo no campo: As simplificações do método do perfil instantâneo**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002.
- CASTRO, O. M. DE; VIEIRA, S. R.; SIQUEIRA, G. M.; ANDRADE, C. A. DE. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho eutroférico sob diferentes sistemas de preparo. **Bragantia**, v.68, p.1047-1057, 2009.
- COLETI, J.T.; DEMATTE, J.L.I. **Compactação artificial em solos. Experiências e dados informativos**. Álcool e Açúcar, São Paulo, 2:34-38, 1982.
- COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41:1663-1674, 2006.
- CORRÊA, J.C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 37:203-209, 2002.
- DEXTER, A. R.; CZYZ, E. A.; GAT, O. P. A method for prediction of soil penetration resistance. **Soil and Tillage Research**, v.93, p.412-419, 2007.
- EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L.; OLIVEIRA, M. S. Variabilidade da condutividade hidráulica do solo saturado e da taxa de infiltração básica determinadas “in situ”. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, edição especial, p. 1607-1613, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). (CNPS). **Sistema Brasileiro de classificação de Solos**. 2º edição; Embrapa Solos; Rio de Janeiro. 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Serviço nacional de levantamento e conservação de solos. 1979.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 1997.
- FLORES, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; PAULETTO, E. A. Recuperação da qualidade estrutural, pelo sistema plantio direto, de um Argissolo Vermelho. **Ciência Rural**, v.38, p.2164-2172, 2008.
- 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 do Solo**, 28:477-484, 2004.
- GOMES, F. P. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. Piracicaba, POTAFOS – Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984.
- HAKANSON, I.; VOORHEES, W.B.; RILEY, H. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop responses in different traffic regimes. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.11, p.239-282, 1988.
- HAKANSSON, I.; MEDVEDEV, V.W. Protection of soils from mechanical overloading by establishing limits for stresses caused by heavy vehicles. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.35, p.85-97, 1995.
- HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. San Diego: Academic, 1982. 264p.
- HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic, 1998. 757p.

- HURTADO, A. L. B. **Variabilidade da condutividade hidráulica do solo em valores fixos de umidade e de potencial matricial**. 2004, 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- KLEIN, V.A.; BOLLER, W. Avaliação de diferentes manejos de solo e métodos de semeadura em áreas sob sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.25, n.3, p.395-398, 1995.
- MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, 34:963-969, 2004.
- NOVAK, L.R.; MANTOVANI, E.C.; MARTYN, P.J.; FERNANDES, B. Efeito do tráfego de trator e da pressão de contato pneu/solo na compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro Álico, em dois níveis de umidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, p.1587-1595, 1992.
- OLIVEIRA, P. R.; CENTURION, J. F.; ROSSETTI, K. V.; FERRAUDO, A.; BÁRBARO JÚNIOR, L.; Qualidade estrutural de um latossolo vermelho submetido à compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37 no.3 Viçosa May/June 2013.
- OSUNBITAN, J. A.; OYEDELE, D. J.; ADEKALU, K. O. Tillage effects on bulk density, hydraulic conductivity and strength of a loamy sand soil in southwestern Nigeria. **Soil & Tillage Research**, v. 82, p. 57 - 64, 2005.
- RAPER, R.L. **Agricultural traffic impacts on soil**. J. Terramech., 42:259-280, 2005.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações**. 2.ed. Barueri: Manole, 2012. 524p.
- REINERT, D.J. **Soil structural form and stability induced by tillage in a typical hapludalf**. 1990. 128f. Tese (Doutorado em solos e Culturas) - Michigan State University.
- REINERT, D.J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo: protótipos e teste. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, p.1931-1935, 2006.
- ROSIM, Daniel Coelho et al . Compactação de um latossolo vermelho distroférrico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, 2012.
- ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. Sistemas de manejo e atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol.17 no.5 Campina Grande, Maio – 2013.
- SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.287-291, 1997.
- SEIXAS, F.; **Compactação do solo devido a mecanização florestal**. Piracicaba: IPEF, 1988. 10p. (Circular Técnica, 163).
- SILVA, A.J.N. **Caracterização de Latossolos amarelos sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas**. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1996.
- SILVA, A.P. da; KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soil from properties and management. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, p.877-883, 1997.
- SILVA, C. L.; KATO, E. Efeitos do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, p.213-220, 1997.
- SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, n.3, p.579–585, 2006.
- STONE, L.F.; GUIMARAES, C.M. e MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. Efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 6:207-212, 2002.
- STRECK, C.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, vol.34 no.3 Santa Maria May/June 2004.
- TORMENA, C.A.; ROLOFF, G; SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio

direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22. p.301-309, 1998.

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 distroférico de Tabuleiro Costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:309-316, 2010.

VEIGA, M.; **Manejo de solos e água para altos rendimentos**. Revista Plantio Direto, edição 130, julho/agosto de 2012.