

REDUÇÃO DO ESPAÇO POROSO POR COMPACTAÇÃO E LIXIVIAÇÃO DE NUTRIENTES

Claudia Borgmann¹; Deonir Secco¹; Araceli Ciotti de Marins²; Simone Andreia Roehrs¹ e Pablo Chang¹

¹Universidade do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Campus Cascavel, Rua Universitária, 2069, CEP 85819-110, Bairro Jardim Universitário, Cascavel, PR. *E-mail: claudia.borg@hotmail.com

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná-UTFPr, Campus de Toledo. Rua Cristo Rei, 19, CEP: 85902-490, Vila Becker, Toledo, PR.

RESUMO: *A operação e o tráfego de máquinas agrícolas em condições inadequadas de umidade é a principal causa da compactação do solo, que pode ter efeitos prejudiciais no transporte de água e nutrientes. A compactação do solo tende a propiciar uma diminuição no tamanho dos poros e um aumento da densidade, conseqüentemente uma diminuição do volume de macroporos, um aumento no volume de microporos e uma elevação da porosidade total. Nessa situação, a condutividade hidráulica é comprometida juntamente com a suplementação nutricional das plantas. A variação da condutividade hidráulica interfere diretamente na lixiviação de nutrientes, que se torna menor em situação de camada compactada. Visto isso, este estudo buscou salientar aspectos que expliquem como a redução do espaço poroso influencia na lixiviação de nutrientes no perfil do solo. Por meio do estudo, foi verificado que a lixiviação de nutrientes é maior em solos menos densos, e que a mesma também é fortemente influenciada por outros fatores como capacidade de retenção de íons e pH. Além disso, a compactação pode afetar o transporte de nutrientes no solo, em especial os de menor mobilidade.*

PALAVRAS-CHAVE: *estrutura; porosidade; perdas de íons.*

REDUCTION OF POROUS SPACE BY COMPACTION AND LEACHING OF NUTRIENTS

ABSTRACT: *The operation and traffic of agricultural machinery under inadequate humidity conditions is the main cause of soil compaction, which can have detrimental effects on the transport of water and nutrients. Soil compaction tends to cause a decrease in pore size and an increase in density, consequently a decrease in the volume of macropores, an increase in the volume of micropores and a rise in total porosity. In this situation, the hydraulic conductivity is compromised together with the nutritional supplementation of the plants. The variation of the hydraulic conductivity interferes directly in the leaching of nutrients, which becomes smaller in a compacted layer situation. Considering this, this study sought to highlight aspects that explain how pore space reduction influences the leaching of nutrients in the soil profile. Through the study, it was verified that nutrient leaching is higher in less dense soils, and that it is also strongly influenced by other factors such as ion retention capacity and pH. In addition, compaction may affect the transport of nutrients in the soil, especially those with less mobility*

KEY-WORDS: *structure; porosity; loss of ions.*

INTRODUÇÃO

É de grande significância a influência da agricultura no desenvolvimento econômico do Brasil. Com essa perspectiva, encontrar alternativas que aumentem a produtividade de determinadas culturas é de crucial interesse. Para isso é necessário almejar um manejo adequado do solo, o qual é considerado como sendo a base de sustentação da vida na terra. Em relação ao solo, um Relatório da FAO com participação da Embrapa revela que 33% dos solos do mundo estão degradados, onde os principais problemas são: erosão, salinização, acidificação, contaminação e principalmente compactação.

No Brasil com a intensificação da mecanização a partir da década de 1990, um dos principais problemas é compactação do solo, que dependendo do nível pode causar sérios problemas de degradação no mesmo como também afetar negativamente a produtividade dos cultivos agrícolas. Sendo assim, pode-se dizer que a compactação se torna um dos fatores limitantes da qualidade física do solo, prejudicando a obtenção de maiores índices de produtividade (Alakukku e Elomen, 1994; Petry et al., 2016).

A causa principal da compactação é de origem antrópica, devida ao excessivo tráfego de animais, de máquinas agrícolas (tratores e colheitadeiras) e demais implementos (Beutler et al., 2005; Richart et al., 2005). Ou seja, compactação é a modificação e/ou deformação da estrutura natural do solo.

Sabe-se que a compactação excessiva do solo é prejudicial para a produção agrícola, pois interfere de modo negativo no crescimento de raízes, na infiltração, redistribuição e armazenamento de água do solo. Além disso, a compactação limita a absorção de nutrientes, como também, diminui a capacidade de trocas gasosas, provocando o aumento da erosão e da potência necessária para o preparo do solo (Bicki e Siemens, 1991).

De Carvalho e Diniz (1984) apontam que a compactação é um processo lento, entretanto, contribui para o rebaixamento do lençol freático, o qual é proveniente da diminuição da penetração de água da chuva na camada superficial do solo. Além disso, existe um aumento do escoamento superficial de água no solo, reduzindo a absorção de nutrientes de modo a comprometer o rendimento das culturas (Luciano et al., 2012; Richart et al. 2005).

Concomitantemente a isso, Sá e Santos Junior (2005) determinam a compactação como sendo o processo pelo qual as partículas do solo e agregados são rearranjados, tendo estes últimos suas forma e tamanho alterados. Nessa perspectiva, a compactação do solo consiste no aumento da densidade, que é proveniente do aumento de massa por unidade de volume, culminando na redução do espaço poroso. Isso resulta no aumento da resistência à

penetração de raízes e na microporosidade, contribuindo para a redução da macroporosidade e conseqüentemente em uma redução linear da porosidade total (Beutler et al., 2005).

Em suma, consideramos a compactação com sendo a diminuição do volume ocupado por uma quantia de solo, que acontece por meio do emprego de uma pressão superior a sua resistência, acarretando na redução do volume total de poros, com maior efeito sobre os poros de maior diâmetro. Acontece que, juntamente com o processo de compactação, a movimentação dos nutrientes no perfil do solo também é afetada (Alvarenga et al., 2009).

Na camada compactada, as características físicas do solo são modificadas quando comparadas ao solo natural, principalmente em relação ao processo de infiltração de água. Por este motivo, existe um aumento a energia com a qual a água é retida no solo, como também uma redução da capacidade de infiltração de água da chuva e uma redução da condutividade hidráulica dificultando a drenagem de água.

A condutividade hidráulica desempenha um importante papel em relação ao desenvolvimento da planta. Isto porque, os nutrientes alcançam os lugares de absorção das raízes por meio da movimentação da água, e a velocidade que estes alcançam a superfície radicular é muito importante para sua absorção (De Camargo e Alleoni, 2006).

Assim, este trabalho objetiva compreender como a redução do espaço poroso por compactação influencia na lixiviação de nutrientes no solo.

Compactação x lixiviação de nutrientes

O manejo e a compactação alteram a estrutura do solo e, assim conseqüentemente, o movimento da água e nutrientes também é alterado. Isso se deve ao fato de que, a retenção e a condução de água no solo podem ser beneficiadas por um sistema poroso, sendo que este precisa estar estável e bem distribuído no perfil do solo. Logo, temos que os macroporos são responsáveis pela aeração do solo e condução de água em condições de solo saturado e, os microporos tem a capacidade de atuar na retenção e condução da água (ascensão capilar) em condições de solo não saturado. Quando há compactação, os poros de maior tamanho sofrem uma deformação, na qual há uma redução da proporção de poros maiores, podendo assim, comprometer e/ou até mesmo restringir o fluxo saturado de água no solo (Ribeiro et al., 2007).

Um estudo sobre o efeito da compactação sobre as propriedades de transporte de gases do solo e água verificou que, a compactação diminuiu significativamente a porosidade

total do solo em todos os tratamentos recebidos e todos os níveis de compactação (Kunkoro et al., 2014). Nesse sentido, independente do fator que estiver exercendo influência sobre o tamanho e a configuração dos poros do solo, este, vai também exercer influência sobre a condutividade hidráulica (Ruiz et al., 2014).

Como o processo de compactação provoca um aumento no número de microporos, temos que conforme a tensão sobre eles aumenta, mais compactado o solo estará, culminando em um aumento da retenção de água por parte desse solo. Sobre essa afirmação, alguns estudos mostram que esse processo propicia um aumento da densidade do solo, diminuindo assim o volume de macroporos ao mesmo tempo em que aumenta o volume de microporos, resultando em uma diminuição da condutividade hidráulica (Stones et al., 2002; De Camargo e Alleoni, 2006 ; Whalley et al., 2012; Ruiz et al., 2014). A seguir na tabela 1, estão contemplados alguns resultados que confirmam tais afirmações.

Tabela 1: Condutividade hidráulica em meio saturado (K_o), macroporosidade (Macro) e microporosidade (Micro), considerando-se o solo e o índice de compactação (IC) estudados.

IC	Latossolo Vermelho			Latossolo Vermelho Amarelo		
	K_o (cm h^{-1})	Macro (m^3m^{-3})	Micro	K_o (cm h^{-1})	Macro (m^3m^{-3})	Micro
0,70	13,90	0,224	0,370	14,20	0,235	0,404
0,80	11,18	0,159	0,375	11,83	0,174	0,413
0,90	4,13	0,097	0,380	4,43	0,119	0,418
1,00	0,40	0,035	0,385	0,53	0,048	0,437
Média	7,40 B	0,129 B	0,377 B	7,74 A	0,144 A	0,418 A

*Letras diferentes na linha, para a mesma característica, indicam diferenças estatisticamente significativas a 0,01 pelo teste F. Fonte: adaptado de Ruiz et al., 2014.

Na tabela 1, os dados demonstram que quanto mais compactado o solo (maior IC), menor é a condutividade hidráulica, menor é a macroporosidade e maior é a microporosidade, independentemente do solo utilizado. Resultados semelhantes foram encontrados nos estudos de Stone et al. (2002). Na Figura 1, verifica-se a curva que relaciona a condutividade hidráulica conforme a densidade do solo.

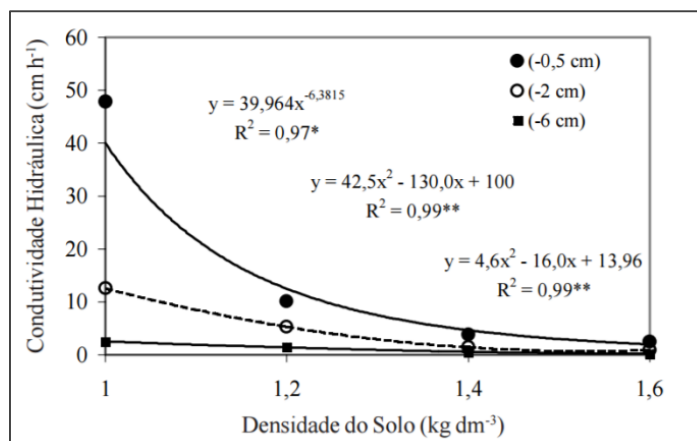


Figura 1: Condutividade hidráulica do solo, determinada sob diferentes cargas de pressão, em função da densidade do solo. Fonte: Stone et al., 2002.

Por meio da Figura 1, é possível identificar que a condutividade hidráulica decresceu com o aumento da densidade do solo, confirmando o conceito de que os macroporos, os quais possuem os maiores tamanhos, são mais facilmente destruídos pela compactação. (Stone et al., 2002).

Com essa diminuição da condutividade hidráulica provocada pelo aumento da densidade do solo, torna-se imprescindível estudar como alguns nutrientes necessários às plantas se comportam nessa condição. A variação da lixiviação de nutrientes depende de atributos físicos do solo, como textura, presença de camada compactada, profundidade e principalmente pela porosidade (Lawton et al., 1978; Rossi et al., 2007). Entretanto, não são somente os atributos físicos que influenciam a lixiviação, existem alguns fatores químicos como a capacidade de retenção de íons e o pH (Santos et al., 2002).

Em consequência, encontrar explicações que determinem a influência da compactação sobre os mecanismos de movimento iônico nem sempre é fácil.

Um exemplo que pode ilustrar isso é quando a condutividade do solo não saturado aumenta com uma leve compactação pois favorece a ascensão capilar de água, de tal modo que o fluxo de massa será maior, carregando mais rapidamente os íons da solução. Isto posto, por esse mecanismo, a compactação elevará o transporte de íons até a superfície absorvedora (De Camargo e Alleoni, 2006). Um nutriente que ilustra essa situação é o íon nitrato (N), pois o fluxo de massa é muito importante para seu movimento, pelo fato da quantidade de N assimilável no solo ser pequena, sofrendo assim, flutuações constantes (Mello et al., 1983). Os autores também comentam que, deve-se reduzir ao mínimo práticas que aerifiquem o solo, pelo fato que essa prática acelera a nitrificação.

Concomitantemente a isso, cada nutriente tem suas particularidades. Deste modo, para compreender como a compactação interfere na lixiviação de nutrientes, buscaremos como

cada um dos nutrientes principais se comporta no perfil do solo. Para isso, utilizaremos como base de revisão quanto a mobilidade dos nutrientes (íons) no solo os autores Mello et al. (1983).

Em relação à mobilidade do fósforo (P) no solo, primeiramente devemos entender que a fixação de P no solo pode ser bom, pois evita-se as perdas deste nutriente por águas de percolação ou ainda um mal, quando a fixação deste elemento no solo é muito intensa, podendo haver dificuldade por parte das plantas em absorver P. A mobilidade do íon de fosfato é muito pequena, logo, as perdas por lixiviação não são consideradas importantes. Os íons de P que não estão adsorvidos na fração coloidal (e portanto, estão dissolvidos na solução do solo), mesmo com sua baixa mobilidade no solo estão sujeitos a serem perdidos por lixiviação. Logo a compactação dificulta sua lixiviação.

Além do N e P, temos o potássio (K), que aliado ao N e ao P, formam o grupo conhecido como elementos nobres da adubação. A distribuição do mesmo depende da homogeneidade do material original. A concentração de K varia muito, sendo sensível ao tipo de solo, ao material orgânico (MO), ao tipo de argila, ao teor de umidade e a intensidade de lixiviação. Os autores destacam que é importante fazer com que as plantas utilizem o máximo de K natural do solo, e principalmente, impedir as perdas por lixiviação e por erosão. Em relação à compactação, a absorção de K é muito prejudicial.

Um dos elementos mais utilizados na agricultura como constituinte de corretivos e de adubos é o cálcio (Ca). Sobre esse nutriente, a quantidade retirada por lixiviação depende de vários fatores, de tal modo que o Ca é o cátion que se perde do solo em quantidades mais elevadas. Logo, a compactação contribui para que esse elemento não se perca tão facilmente no perfil do solo.

Além deste, temos o Magnésio (Mg). Sobre este, os autores afirmam que os íons Mg^{2+} são retidos pelos colóides do solo com menor energia que os íons Ca^{2+} . As perdas de Mg por lixiviação dependem de vários fatores como: permeabilidade do solo, CTC, teores de Mg trocável e solúvel, pH, adubações que baixam o pH e uso de adubos que contêm elementos que deslocam o Mg.

Segundo os autores, o enxofre (S) é talvez o macronutriente menos empregado nas adubações. O S é um nutriente que se perde facilmente nas águas de percolação. Isso se deve ao fato da porosidade influenciar muito, de tal modo que solos arenosos, muito arejados, são geralmente pobres em S, ao contrário de solos argilosos que contêm mais desse elemento. É importante lembrar que o excesso de enxofre causa toxidez. Solos mais compactados, tendem a reter uma maior quantidade de enxofre.

Sobre o micronutriente cobre (Cu), afirma-se que o teor disponível para as plantas é sempre muito menor que o total. Os autores apontam que solos de textura fina são mais ricos de Cu do que os solos arenosos. O cobre possui uma característica de perder solubilidade pela forte retenção das argilas. Assim, em solos compactados o cobre está menos solúvel, pois se encontra em um estado mais aprisionado.

Sobre a disponibilidade de molibdênio (Mo), os autores relatam que o mesmo é condicionalmente disponível em maior ou menor grau de acordo com o pH do solo. Além disso, os teores solúveis de Mo geralmente são baixos, o que propicia uma menor lixiviação.

Outro micronutriente é o zinco (Zn). A argila é um mineral que pode absorver Zn fortemente, de tal forma que ele se torne não disponível.

O boro (B) é um micronutriente que tem sua maior deficiência em solos leves, arenosos, com pouca argila e baixo teor de matéria orgânica, sendo sujeito a forte lixiviação. A umidade é um fator positivo para que o boro não seja lixiviado.

De modo a reunir todas estas informações, a Figura 2 procura ilustrar por meio de um organograma a relação entre a compactação, a condutividade hidráulica e a lixiviação de nutrientes.

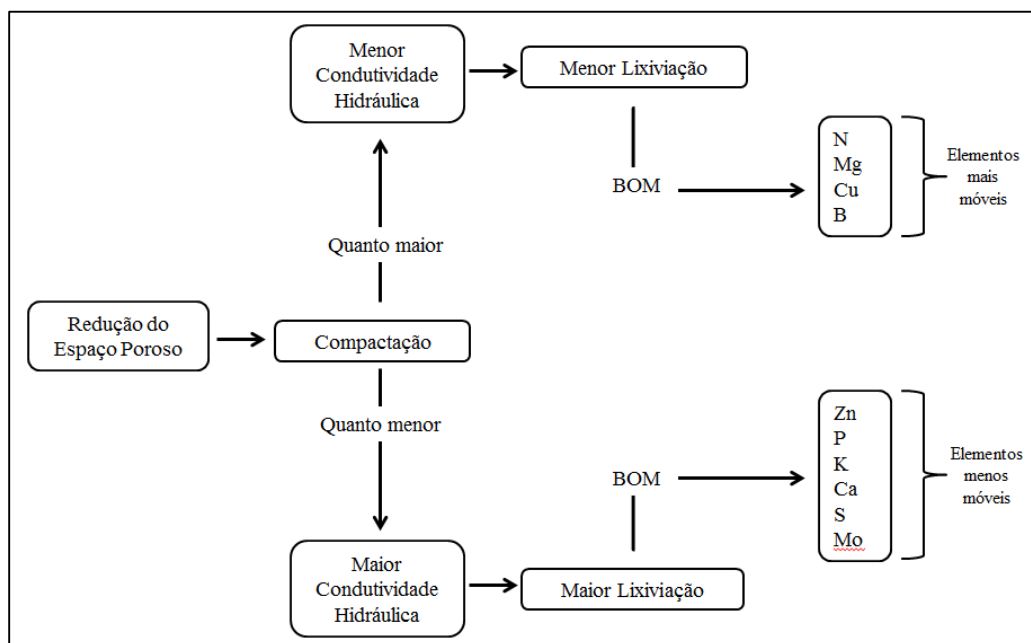


Figura 2: Relação entre a compactação, a condutividade hidráulica e a lixiviação de nutrientes.

Poucos trabalhos procuram compreender os efeitos dos sistemas de compactação e plantio do solo em relação a absorção e perdas de nutrientes. Um desses poucos, é o estudo de Lipiec e Stepniewski (1995). Os autores advertem, que o efeito da compactação do solo no transporte de nutrientes para as raízes, depende da quantidade de compactação do solo e do

abastecimento de água e nutrientes. Em condições de boa fertilidade, com boa irrigação, a compactação moderada do solo pode ter um efeito benéfico. Isso se deve a uma maior retenção de água e a forma distinta que a condutividade hidráulica atua no caso do transporte de fluxo de massa.

Deste modo, há um aumento do coeficiente de difusão de íons no solo ou um aumento da concentração de íons no solo. Em consequência um maior aumento de densidade aparente, pode levar a uma diminuição do coeficiente de difusão, sendo o resultado do aumento da tortuosidade dos poros e da restrição da penetração da raiz (Lipiec e Stepniewski, 1995).

Complementando a Figura 2, Lipiec e Stepniewski (1995) afirmam que o fluxo de massa é um mecanismo importante no transporte de N, Ca, Mg, S, B, Cu, Zn, Fe Cl, pois a difusão é no transporte de P e K. Além disso, a aeração do solo, dependente do estado da água e do grau da compactação do solo, sendo outro importante fator que influencia a transformação e a absorção de nutrientes.

O estado de aeração do solo afeta diretamente as transformações redox de N, Mn e Fe. O enxofre sofre redução em condições mais severas de falta de oxigênio. A química de alguns outros elementos, também pode ser afetada por mudanças no equilíbrio químico do solo devido à alteração do pH, bem como pela inter-relação com os elementos que sofrem transformações redox. Em relação aos elementos que sofrem transformações redox, temos o P, cuja disponibilidade pode aumentar em consequência da redução de Fe e de alguns metais pesados, submetidos a precipitação sob a forma de sulfetos, se a redução do sulfato ocorrer (Lipiec e Stepniewski, 1995).

Em relação ao transporte de nutrientes, há um conceito que é função da densidade do solo diretamente com a compactação, conhecido como fluxo difusivo. Este, é um processo cuja importância é grande para o transporte de P, K, Zn, Cu, Fe e Mn, visto a baixa concentração desses nutrientes no solo em relação a grande afinidade de tais com a fase sólida do solo (Silva et al., 2005).

Os estudos de Silva et al. (2005) identificaram que com o aumento da densidade do solo, a difusão aumenta até atingir um máximo e depois decresce. Esse aumento deve-se a uma maior aproximação entre as partículas do solo e a superfície das raízes, o que favorece a continuidade do filme de água e diminui a distância que o íon deve percorrer até alcançar as raízes da planta. As alterações na difusão de um íon quando um solo é submetido à compactação, aumentando-se a densidade, são atribuídas a mudanças no fator de impedância, que envolve a tortuosidade. Isso porque a tortuosidade é reduzida com o aumento da

densidade do solo, ocorrendo redução do comprimento do caminho de difusão do elemento (Silva et al., 2005).

A lixiviação de nutrientes é um processo amplo, que não influenciada somente pela compactação. Esse processo é alterado por diversos outros fatores como, textura, tortuosidade, densidade, porosidade, profundidade, pH, capacidade de retenção de íons, capacidade redox e fluxo difusivo. A perda de nutrientes por percolação da água no perfil do solo requer atenção, estudos e cuidados, pelo fato dos nutrientes serem parte da base dos mecanismos de sobrevivência das plantas. Logo, entender como esse processo se comporta na atual situação de solos compactados e de extrema importância.

Deparados com tal complexidade, verifica-se a necessidade de discutir os efeitos da compactação do solo sobre a absorção de nutrientes e as perdas em relação à natureza e mobilidade de íons individuais. Entretanto, não existem trabalhos que fomentem e tragam resultados atuais a cerca do assunto, o que pode ser explicado pela dificuldade, e pelas inúmeras variáveis que se tem ao trabalhar com o mesmo, ficando assim a oportunidade de utilizar o assunto para trabalhos futuros.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compactação de um modo geral, afeta negativamente a infiltração de água no solo e em consequência o armazenamento e fornecimento de água e nutrientes às plantas.

O efeito da compactação do solo no transporte de nutrientes para as raízes depende da intensidade da compactação do solo e do abastecimento de água e nutrientes.

Um solo compactado possui uma menor condutividade hidráulica e uma menor lixiviação de nutrientes. Entretanto, uma menor lixiviação é interessante para determinados nutrientes, principalmente àqueles com maior mobilidade no perfil do solo.

REFERÊNCIAS

ALAKUKKU, L.; ELOMEN, P. Long-term effects of a single compaction by heavy field traffic on yield and nitrogen uptake of annual crops. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.36, n.1, p.141-152, 1994. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/016719879500503X>>. Acesso em: 18 mai. 2017.

ALVARENGA, R.C.; CRUZ, J.C.; VIANA, J.H.M.. Cultivo do milho: preparo convencional do solo. **Embrapa Milho e Sorgo**, Brasília, 5ed., set. 2009. Disponível:

<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_5_ed/manpreparo.htm>. Acesso em: 28 jun. 2017.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; ROQUE, C.G.; FERRAZ, M.V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.6, p.843-849, 2005.

BICKI, T. J.; SIEMENS, J. C. Crop response to wheel trapnc soil compaction. **Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, St. Joseph v.34, n.3, p.909-0913, 1991.

DE CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Efeitos da compactação em atributos do solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/C4/Comp4.htm>>. Acesso em: 28 jun. 2017.

DE CARVALHO, M.; DINIZ, H.N.. Reflexões sobre a compactação de solos agrícolas; suas causas e seus efeitos. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v.5, n.1-2, p.59-64, 1984. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-0683200500060000>>. Acesso em: 18 mai. 2017.

KUNCORO, P.H. et al. A study on the effect of compaction on transport properties of soil gas and water I: Relative gas diffusivity, air permeability, and saturated hydraulic conductivity. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.143, n.1, p.172-179, 2014.

LAWTON, K.; COELHO, M.A.; CRISÓSTOMO, L.A. Movimento e perdas por lixiviação de nutrientes so luveis aplicados a solos do Estado do Ceara, Brasil. **Ciência agrônômica**, Fortaleza, 1978.

LIPIEC, J.; STEPNIIEWSKI, W. Effects of soil compaction and tillage systems on uptake and losses of nutrients. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.35, n.1-2, p.37-52, 1995.

LUCIANO, R.V.; ALBUQUERQUE, J.A.; COSTA, A.; BATISTELLA, B.; WARMLING, M.T. Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.6, p.1733-1744, 2012.

MELLO, F. A. F; et al.. **Fertilidade do Solo**. 3 ed. São Paulo: Nobel, 1983.

PETRY, H.B.; MAZURANA, M.; MARODIN, G.A.B.; LEVIEN, R.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C.; SCHWARZ, S.F. Root Distribution of Peach Rootstocks Affected by Soil Compaction and Acidity. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.40, n.6, p.1-11, 2016.

RIBEIRO, K.D.; MENEZES, S.M.; MESQUITA, M.G.B.; SAMPAIO, F.M.T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, 2007.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O.R.; LLANILLO, R.F; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.26, n.3, p.321-344, 2005.

ROSSI, P.; MIRANDA, J.H.; DUARTE, S.N. Curvas de distribuição de efluentes do íon nitrato em amostras de solo deformadas e indeformadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.3, p.675-682, 2007.

RUIZ, H.A.; FERNANDES, R.; COSTA, L.M. Condutividade hidráulica, porosidade, resistência mecânica e intervalo hídrico ótimo em Latossolos artificialmente compactados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Agriambi**, Campina Grande, v.18, n.10, 2014.

SÁ, M.A.C.; SANTOS JÚNIOR, J.D.G. Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal. **Planaltina, DF: Embrapa Cerrados**, Brasília 2005. Disponível em: <file:///C:/Users/CLAUDIA/Downloads/Compactacao-do-Solo-consequencias-para-o-crescimento-vegetal.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2017.

SANTOS, A.B.; FAGERIA, N.K.; ZIMMERMANN, F.J.P. Atributos químicos do solo afetado pelo manejo da água e do fertilizante potássico na cultura de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas Grande, v.6, n.1, p.12-16, 2002.

SILVA, S.R. **Efeitos da compactação sobre características físicas, químicas e microbiológicas de dois Latossolos e no crescimento de eucalipto**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 98p. Tese de Doutorado.

STONE, L.F.; GUIMARÃES, C.M.; MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas Grande, v.6, n.2, p.207-212, 2002.

WHALLEY, W. R.; MATTHEWS, G. P.; FERRARIS, S. The effect of compaction and shear deformation of saturated soil on hydraulic conductivity. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.125, n.1, p.23-29, 2012.