

Compactação de um chernossolo rendzico em sistema lavoura-pecuária pelo método uniaxial

Packaging a chernosol rendzico in crop-livestock system method uniaxial

Jacineumo Falcão de Oliveira¹, Elioneide Jandira de Sales²; Silvanete Severino da Silva³; Valéria Ingrith de Almeida Lima⁴ e Joaquim Odilon Pereira⁵

RESUMO: A compactação do solo pelo pisoteio animal e máquinas proporcionam um aumento da densidade, acarretando a redução no seu volume de poros, sendo considerado como impactos ao meio ambiente. O uso de técnicas de preparo convencional do solo assim como os resíduos deixados pelas culturas pode melhorar a estrutura do solo. Este trabalho teve como objetivo, avaliar o efeito da compactação do solo na porosidade de um Chernossolo rendzico nas camadas de solo de 0-0,05 m; 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m. A densidade do solo, densidade de partícula e índices de vazio total foram verificados. Os resultados indicaram menor densidade do solo na profundidade de 0-0,05 m com maior densidade na camada de 0,10-0,20 m. Não houve diferença significativa entre as camadas avaliadas para a variável densidade de partículas. O índice de vazios total apresentou menor valor na profundidade de 0,10-0,20 m indicando um maior nível de compactação.

Palavras-chaves: Densidade do solo, porosidade do solo, densidade textural.

SUMMARY: Soil compaction by cattle trampling and machines provide an increase in density, resulting in a reduction in its pore volume and being considered impacts to the environment. The use of conventional tillage and keeping the residues left by cultivated cultures are techniques that can improve soil structure. This study aimed to evaluate the effect of soil compaction on the porosity of Chernosol rendzico in the layers 0-0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m deep. The bulk density, particle density and total void ratio were observed. The results showed lower density in the layer 0-0.05 m, and the highest bulk density was found in the layer 0.10-0.20 m. Related to the density of particles, no significant difference was found among the evaluated layers. The total void ratio presented the lowest value in the layer 0.10-0.20 cm, indicating a higher level of compaction.

Keywords: Bulk density, soil porosity, textural density

¹ Engenheiro Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, Endereço: Avenida Francisco Mota, 572, Bairro Costa e Silva, CEP: 59625-900, BR 110, Mossoró-RN, Brasil. e-mail: jacineumo@hotmail.com.

² Graduanda em Engenheiro Agrícola e Ambiental. Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, Email: elioneidejs@hotmail.com

³ Mestranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande-PB, e-mail: silvanete.h@hotmail.com.

⁴ Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, valeria_ialima@hotmail.com

⁵ Prof. Dr. da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, Email: jodilon@ufersa.edu.br

INTRODUÇÃO

A região semiárida do nordeste brasileiro se caracteriza por apresentar poucos recursos disponíveis, estando em certos momentos sujeita a secas que seriamente afetam a colheita e a produtividade de pastagem. O uso de resíduos deixados pelas culturas, bem como a redução do sistema de preparo do solo convencional (aração e gradagem) são técnicas que podem melhorar a estrutura do solo.

Os solos respondem diferentemente, assim como as culturas quando submetidas à compactação. As culturas da soja, milho, algodão e *Brachiaria brizantha* responderam diferentemente quanto à área foliar, produção de matéria seca da parte aérea e altura em relação aos níveis de compactação, representados pela densidade de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (569 g kg⁻¹ de areia, 90 g kg⁻¹ de silte e 341 g kg⁻¹ de argila) em vaso Silva et al. (2006a).

O uso de tratores e implementos agrícolas proporciona aumentos da produção, resultado de trabalho operacional e eficiente. No entanto, o tráfego excessivo, é o principal responsável pela compactação ocasionada por forças mecânicas (BELTRAME & TAYLOR, 1980), quando a carga aplicada for superior à capacidade de suporte do solo Silva et al. (2002b); Lima et al. (2006).

O excesso de pisoteio animal promove principalmente a compactação do solo, comprometendo o desenvolvimento normal do sistema radicular (AZEVEDO & SVERZUT 2007); Figueiredo et al. (2009). Assim, em áreas de cultivo aderido à ausência no controle da reentrada animal proporciona como consequência física a redução da porosidade total do solo Ramos et al. (2010).

Atualmente, a adoção de práticas conservacionistas de manejo do solo tem recebido grande ênfase, basicamente no que se refere à manutenção e à melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos cultivados e suas implicações na produtividade das culturas (ARGENTON et al., 2005). Essas práticas de manejo aumentam a matéria orgânica na camada superficial, onde os resíduos culturais concentram-se pela ausência de incorporação física através do revolvimento do solo. Neste sentido, a estratificação da matéria orgânica

no perfil é um parâmetro indicativo da qualidade do solo (TORMENA et al., 2004).

O sistema de integração lavoura-pecuária pode ser definido como o sistema que integra as duas atividades com os objetivos de maximizar racionalmente o uso da terra, da infraestrutura e da mão-de-obra, diversificar e verificar a produção, minimizar custos, diluir os riscos e agregar valores aos produtos agropecuários, por meio dos recursos e benefícios que uma atividade proporciona à outra (MELLO, 2002).

O Ensaio de compressão uniaxial tem sido freqüentemente utilizado para avaliar a compactabilidade do solo (KOOLEN 1974; KIRBY, 1989; GUÉRIF, 1990, PEREIRA, 1996, PEREIRA et al., 2005; PEREIRA et al., 2007) desprezando as pressões laterais e de cisalhamento por elas não poderem ser controladas.

Contudo, este trabalho objetivou avaliar a compactação do solo em um Chernossolo rendzico nas camadas de solo de 0 a 0,05 m; 0,05 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m provocado pelo pisoteio animal, através de um sistema de interação lavoura-pecuária pelo método uniaxial.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no sítio “Picada primeira” a margem do rio Apodi-Mossoró, a 10 km da cidade de Mossoró - RN (5°11' S e 37°20' W). O solo da área experimental é um Chernossolo rendzico, conforme EMBRAPA (1999), caracteriza-se por serem relativamente rasos, com horizonte A chernogezênico (*epipedom mollico*), moderado a imperfeitamente drenados. O solo foi coletado nas camadas de 0 a 0,05 m; 0,05 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante da região é do tipo seco e muito quente classificando-se BSw`h` de acordo com Thornthwaite e Mather (1955) que se caracteriza, com a estação chuvosa se atrasando para o outono e muito quente, com duas estações climáticas: uma seca que vai geralmente de junho a janeiro e outra chuvosa, de fevereiro a maio, apresentando temperatura média anual de 27 °C, o índice pluviométrico encontram-se, em média, em torno dos 667 mm por ano (AMARO FILHO, 1991).

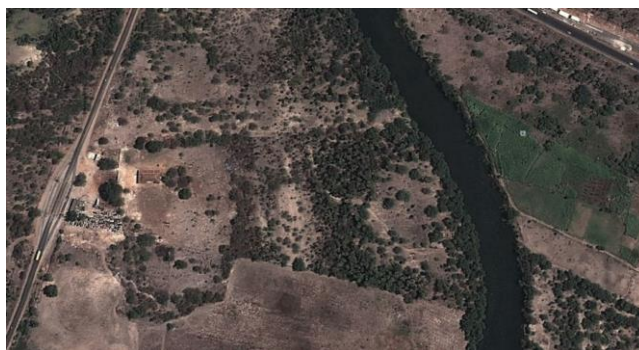


Figura 1. Imagem aérea do sítio picada primeira no município de Mossoró. Fonte: Google earth 2013.

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Dinâmica da Interação solo-máquina da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRSA. O experimento foi desenvolvido em parcelas subdivididas, com quatro quantidades de esterco de gado incorporadas ao solo nas dosagens de 2,0 t ha⁻¹, 4,0 t ha⁻¹, 6,0 t ha⁻¹ e 0,0 t ha⁻¹ para testemunha, dispostas em quatro blocos casualizados, e com três profundidades no perfil do solo. A área de cada parcela foi de 3 m² (1,5 m x 2,0 m).

Determinação da densidade do solo

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, nas mesmas camadas em estudo, conforme descrito por Embrapa (1997), sendo expressa pela seguinte equação:

$$\rho_s = M_s / V_c$$

em que: ρ_s - densidade do solo, g.cm⁻³; M_s - massa do solo seco, g; V_c - volume do anel volumétrico, cm³.

Foram utilizados anéis volumétricos de 70 mm de diâmetro interno por 24 mm de altura.

Determinação da densidade de partícula

A densidade de partícula foi determinada pelo método do picnômetro com água (STENGEL, 1983), para as três camadas analisadas. Os seguintes procedimentos foram realizados: As amostras de solo foram secas ao ar e peneirada sem uma peneira de 300 μ m; Determinou-se a massa dos picnômetros vazios, e posteriormente completados com água destilada à temperatura de 24° C; Posteriormente com os picnômetros vazios, colocou-se uma quantidade de aproximadamente 10 g de solo e completou-se o picnômetro com três quartos de água destilada, permanecendo por 24 horas com as amostras em repouso; Após a sedimentação do solo no interior dos

picnômetros, estes foram completados com água destilada até uma marca graduada e pesado. O procedimento seguinte foi retirar o excesso de água para evitar que as projeções, por ebulição, derramassem parte do solo, secando-se, em seguida, em estufa a 105° C durante 24 horas.

Os cálculos foram determinados pela seguinte expressão:

$$\rho_p = (m_1 - m_0) / [(m_3 - m_0) - (m_2 - m_1)]$$

em que:

ρ_p é a densidade de partícula, em g.cm⁻³; m_0 é a massa do picnômetro vazio, em g (gramas); m_1 é a massa do picnômetro com solo após ser seco em estufa, em g (gramas); m_2 é a massa do picnômetro com solo e água, em g; m_3 é a massa do picnômetro com água, em g (gramas).

A porosidade do solo foi determinada de acordo com Monnier et al. (1973) é obtida da soma dos macroporos (porosidade estrutural) resultante do sistema de cultivo, tráfego de máquinas, clima e atividades biológicas e microporos (porosidade textural) que é resultante do arranjo das partículas elementares do solo.

A porosidade total foi expressa em termos de índice de vazios total e calculada pela equação seguinte:

$$e^T = (\rho_s / \rho_p) - 1$$

Foram utilizadas amostras de solo deformadas coletadas nas camadas do solo de 0 a 0,05 m, 0,05 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m. Cada amostra foi submetida à pressão uniaxial seqüencial de 15, 30, 50, 100, 200, 300, 600 e 800 kPa, pelo método da oedometria (Figura 2). Cada pressão foi submetida a um tempo de 30 s com relaxamento de 120 s entre pressões. A deformação foi medida no final de cada carregamento e após cada relaxamento. Foram realizadas quatro repetições sistematicamente para cada amostra de solo.



Figura 2. Oedometro para compressão uniaxial de amostras de solo

Determinação do índice de vazios

O índice de vazios totais será calculado da deformação conforme Pereira (2007) usando a seguinte fórmula:

$$e_j = e_o - \frac{r^2 \epsilon_j}{V_s}$$

em que: e_j - índice de vazios obtidos após a pressão j ; e_o - índice de vazio inicial; r - raio da amostra de solo ($r = 3,5$ cm); V_s - volume de partículas solidas da amostra de solo, e ϵ_j é a deformação medida após a pressão.

De acordo com cada amostra analisada foi determinado o índice de compressão do solo de maneira a caracterizar sua compactação antes da implantação do experimento. Para a compressão do solo foi utilizado em laboratório agregados com diâmetros menor que 2 mm. Sobre os agregados obtidos de $\varnothing < 2$ mm, foram realizados ensaios de compressão uniaxial, drenados e confinados utilizando-se um oedometro pneumático com esforço imposto e carregamento cíclico tal qual descrito por Leon-Gonzalez (1991) e Guérif (1982).

Os agregados foram umedecidos como segue: Os agregados foram colocados sobre um recipiente instalado sobre uma balança e a quantidade de água necessária, preestabelecida, foi ajustada por pulverização. A homogeneização dos agregados foi realizada com o auxílio de uma espátula e colocado na célula de compressão cilíndrica indeformável de diâmetro de 70 mm e alturas 24 mm. Cada um dos ensaios foi realizado com índice de vazio estrutural inicial do solo de 1,0. Aos agregados secos ao ar se adicionou massa de água necessária para conduzir a amostra ao teor de água desejado. As amostras foram em seguida comprimidas no interior de uma célula com esforço vertical uniaxial.

As variações de altura das amostras de solo em função das cargas aplicadas foram medidas com auxílio de captadores de deslocamento. Os captadores foram ligados

a um sistema de aquisição de dados (Campbel datalogger 21X) programada de tal forma que cada via medida seja escrutinada todos os 1/10 de segundos, permitindo uma restituição satisfatória da cinética de carga – deformação.

As escolhas destes agregados foram feitas por eles representarem uma forte proporção de agregados geralmente encontrados num leito de sementeira (DERDOUR et al., 1994) e apresentar um grande número de pontos de contatos entre unidades estruturais e de poros estruturais de fracos diâmetros aparentes antes de todo o processo de compactação (LEON-GONZALEZ, 1991).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância do índice de vazios estrutural do solo revelou interação significativa a nível de 5% de probabilidade para o sistemas de manejo integrado lavoura-pecuária de acordo com as profundidades estudadas. Os resultados de significância nas três profundidades de solo estudadas estão disposta na Tabela 1. Constata-se que os teores de índice de vazios (%) sofreram ação do pisoteio de animais, constatando-se diferenças significativas entre todas as profundidades. O maior número de vazios ocorreu na camada superficial do solo (0 - 0,05 m), com $e_j = 0,992$, sendo 10,58% maior que o índice de vazios da camada mais profunda de 0,10 - 0,20 m ($e_j = 0,862$). Este fato evidencia o efeito de maior concentração no teor de matéria orgânica na camada do solo de 0-0,05 m quando comparado com a camada de 0,10 a 0,20 m.

Tabela 1. Densidade do solo ($g\ cm^{-3}$), Densidade de partícula ($g\ cm^{-3}$), e Índice de vazios totais (%) em diferentes profundidades (cm).

Profundidade (m)	Densidade de partículas ($g\ cm^{-3}$)	Densidade do solo ($g\ cm^{-3}$)	Índice vazio total (%)
0 - 0,05	2,63a	1,32a	0,992a
0,05 - 0,10	2,66a	1,41b	0,887b
0,10 - 0,20	2,70a	1,45b	0,862c

Estes resultados são coerentes com Reichert et al. (2007) que encontraram diferenças significativas na distribuição de macroporos, numa profundidade que variou de 0 a 40 cm, ocorrendo redução da porosidade de aeração do solo com o aumento da profundidade. Spera et al. (2004) relatam que a perda da porosidade está associada à redução do teor de matéria orgânica, ao efeito do impacto das gotas de chuva e a compactação pelo pisoteio animal, fatores estes que, causando uma diminuição no tamanho dos agregados reduzem, em consequência, o tamanho dos poros. Trein et al. (1991) também verificaram que após aplicarem uma alta lotação (200 novilhas ha^{-1}) num curto espaço de tempo (36 horas), num argissolo vermelho cultivado com aveia e trevo, observaram diminuição da macroporosidade e da infiltração de água no solo apenas na camada superficial

(0 - 7,5 cm), não tendo sido, observadas modificações nas camadas subsuperficiais.

Os valores de densidade do solo aumentaram com a profundidade, constatando maior valor na camada de (0,10 - 0,20 m) em comparação a camada inicial de solo, gerando uma proporção de (1,32%) na camada de 0 - 0,05 m para (1,45%) na camada de 0,10 - 0,20 m.

A umidade do solo é um fator muito importante na amplitude de deformação do solo com a pressão aplicada (PEREIRA et al., 2007; GUERIF, 1982). Segundo estes autores, com relação ao teor de água muito baixo, a pressão aplicada não exerce efeito significativo sobre a estrutura do solo. A menor densidade do solo (no período de locação dos animais) provavelmente estar relacionada com a baixa taxa de lotação dos animais distribuídos nas áreas, no tempo de permanência dos animais e no

desenvolvimento radicular do milho, que pode ter influenciado na descompactação do solo.

Albuquerque et al. (2001) ao estudar os efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho, verificaram diminuição nos macroporos do solo. Segundo estes autores, a redução nos macroporos refletiu significativamente na porosidade total que reduziu da mata ($0,70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) para o sistema convencional ($0,59 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e plantio direto ($0,56 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Com esta redução, observou-se um aumento significativo da densidade média do solo nos sistemas de preparo convencional ($1,09 \text{ Mg m}^{-3}$) e plantio direto ($1,16 \text{ Mg m}^{-3}$) em relação à mata ($0,79 \text{ Mg m}^{-3}$), provocando assim, segundo Ramos et al. (2010), a expulsão do ar do solo e uma nova reorganização dos agregados no solo.

O efeito do pisoteio bovino sobre pastagens, em estudos de Carneiro et al. (2009), foi tido também como contribuinte para maior densidade do solo em relação ao ambiente nativo, e isso ocorre, principalmente, nas camadas mais superficiais Vzzotto et al. (2000); Figueiredo et al. (2009).

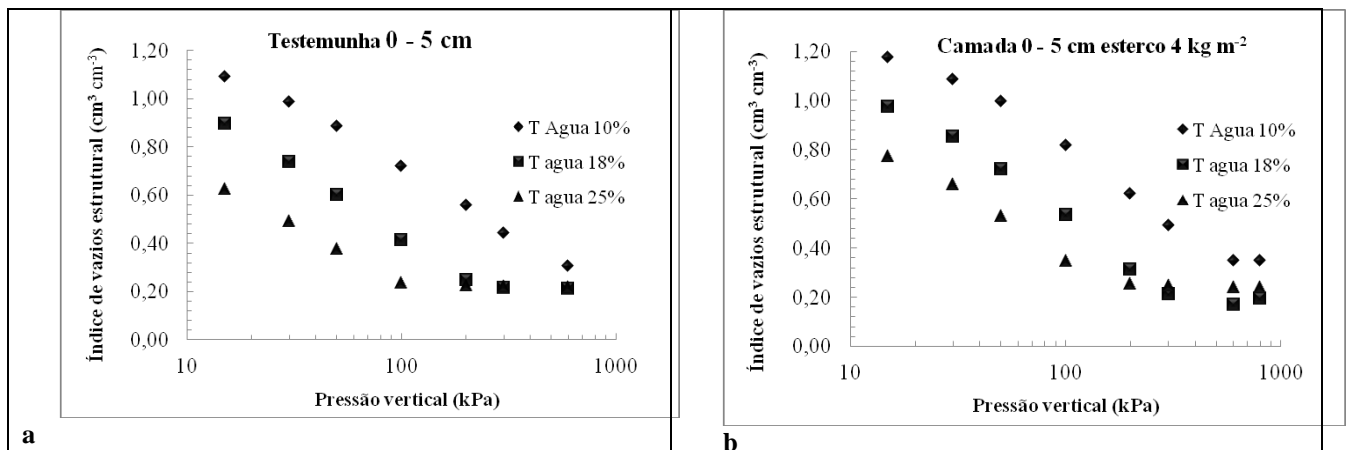
Em áreas sob pastagem, a compactação causada pelo pisoteio bovino concentra-se cerca de 10 cm de profundidade no solo. Esse fato foi observado por Secco et al. (2004) com pisoteio por bovinos de leite em solos com teor de areia variando de 68 a 224 g kg^{-1} e com teor de argila variando de 411 a 702 g kg^{-1} , bem como por Lanzaova (2007) em um Argissolo Vermelho-Amarelo aluminico típico (248,70 g kg^{-1} de areia, 406,76 g kg^{-1} de silte e 344,58 g kg^{-1} de argila), por pisoteio de bovino de corte no sistema de integração lavoura-pecuária.

Verificou-se que a densidade de partícula vai aumentando de acordo com o aumento da profundidade, entretanto estes valores não foram estatisticamente significativos. O maior valor ocorreu na camada de 0,10 - 0,20 m ($2,70 \text{ g cm}^{-3}$), sendo $2,63 \text{ g cm}^{-3}$ o menor valor encontrado na camada superficial (Tabela 1). Este resultado pode ser explicado segundo Lima et al. (2010), no qual determina que quanto maiores os teores de matéria orgânica do solo, menor é a sua densidade de partículas. Conforme Piacentini (2008), valores maiores de densidade

de partículas podem ser encontrados nas camadas de 0,05 - 0,10 m; e de 0,10 - 0,20 m, devido ao fato das camadas superiores exercerem pressão sobre as camadas inferiores e também, porque as camadas superficiais são menos densas.

A compactação do solo foi avaliada através da variação do índice de vazios total com o logaritmo da pressão vertical de compressão, $\log(\square)$ nos teores de água de 10%, 18% e 25%. A Figura 3 mostra as linhas de compressão oedométrica para as amostras de solo deformada, simulando as condições de trabalho nos teores de água já especificados. Foram apresentadas as curvas obtidas para as profundidades de 0 a 0,05 m com o solo testemunho e com cobertura de 4 e 6 kg m^{-2} de esterco bovino e profundidade de 0,10 a 0,20 m apenas para o solo com 6 kg m^{-2} de esterco, uma vez que o teste de média revelou diferença significativa entre as profundidades de 0 a 0,05 m e 0,10 a 0,20 m apenas para essa cobertura. Isso nos traz um alerta sobre os efeitos negativos que podem ocorrer no solo, se este for tratado de maneira inadequada. Se o solo estiver com sua estrutura alterada, operações inadequadas, poderão afetar sua porosidade, tornando o solo mais denso, o que com uma menor pressão aplicada sobre este, será suficiente para reduzir os índices de vazios estrutural do solo, tornando-o inadequado para o bom crescimento e desenvolvimento das plantas, quando comparado com o mesmo solo em condições naturais e com o mesmo teor de água, afirma Oliveira et al, (2003).

Verifica-se na Figura 3 que o índice de vazios diminui linearmente com o logaritmo da pressão aplicada para todos os teores de água em todas as percentagem de matéria orgânica no solo. Para cada linearidade o índice de vazios tende a aumentar com a redução do índice de água para uma mesma pressão aplicada com diferentes quantidades de cobertura de esterco bovino, e as curvas a cada teor de água tendem a se tornar paralelas, no entanto, observa-se para valores elevado de pressão o teor de água e matéria orgânica não interfere o índice de vazio. Os resultados obtidos neste trabalho estão compatíveis com os relacionados por O'Sullivan (1992).



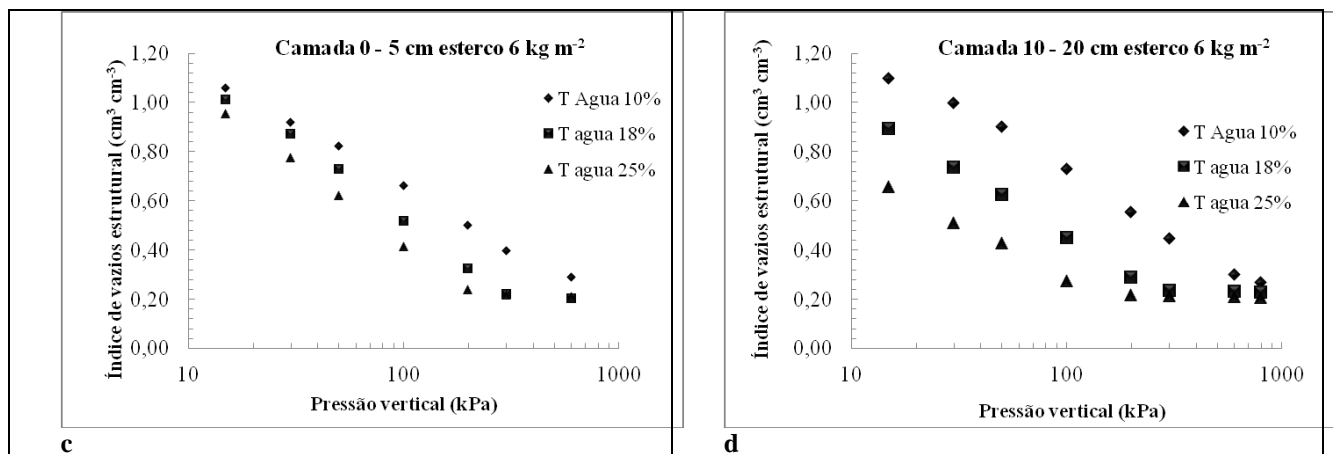


Figura 3. Variação do índice de vazios total em função da pressão vertical de compressão aos teores de água de 10%, 18% e 25% para amostras de solo deformados na profundidade de 0 a 0,05 m, para testemunha e solo com esterco bovino de 4 e 6 kg m⁻², e 0,10 a 0,20 m, para esterco bovino de 6 kg m⁻².

Quando se analisou o comportamento dos índices de vazios estrutural sem a adição de matéria orgânica, Figura 3a, observou-se que para pressão de 15 kPa os índices de vazios para o teor de água de 10% supera em 21,63% e 42,71% aos do teor de água de 18 e 25% respectivamente. Enquanto o teor de água para umidade de 18% supera em 30,32% o índice de vazios com o teor de água de 25%. Já para a pressão de 600 kPa o índice de vazios para o teor de água de 10% cresceu ligeiramente com relação ao teor de água de 18% superior em 28,01% enquanto para o teor de água de 25% superou em 28,01% o índice de vazios, observou-se que o teor de água de 25% superou o índice de vazios em 4,07% o teor de água 18%.

Para a camada de solo de 0 a 0,05 m com 4 kg m⁻² de esterco por metro quadrado, observa-se na Figura 3b, que para a pressão de 15 kPa o índice de vazios com teor de água de 10% superou em 16,24 e 33,33% o índice de vazios quando os teores de água era 18 e 25% respectivamente. Quando comparou-se o teor de água 18 e 25% verificou-se que uma variação de 20,41% a mais no índice de vazios para o teor de água de 18%. Para estes mesmos teores de água quando utilizou-se a pressão de 600 kPa, observou-se que o índice de vazios para o conteúdo de água de 10% superou em 51,43% o do teor de água de 18% e em 31,43% o do teor de água de 25%, já quando comparou-se o índice de vazios do teor de água de 18% com o de 25% verificou-se que ocorreu o contrário o índice de vazios foi maior para o maior conteúdo de água em 20,43%.

Quando aumentou-se a quantidade de matéria orgânica de 4 para 6 kg m⁻² na camada de solo de 0–0,05 m, verificou-se uma redução na diferença do índice de vazios entre os teores de água no solo. Quando se considerou a pressão de 15 kPa os índices de vazios para o teor de água de 10% superou em 4,26% o do teor de 18% e em 9,74% o do teor de 25%, enquanto o teor de água de 18% superou em 5,74% o do teor de água de 25%. Já quando aumentou a pressão para 600 kPa essa diferença não apresentou o mesmo comportamento, o teor de água de

10% superou o índice de vazios em 30,45% o do teor de 18% e em 27,34% o do teor de 25%, enquanto o teor de água de 18% o índice de vazios foi superado em 4,29% pelo teor de água de 25% (Figura 3c).

Quando se manteve a quantidade de matéria orgânica de 6 kg m⁻² e considerou-se a camada de solo de 0,10–0,20 m, verificou-se maior variação no índice de vazios entre os teores de água no solo. Quando se considerou a pressão de 15 kPa os índices de vazios para o teor de água de 10% superou em 18,51% o do teor de 18% e em 40,02% o do teor de 25%, enquanto o teor de água de 18% superou em 26,40% o do teor de água de 25%. Já quando aumentou a pressão para 600 kPa o teor de água de 10% superou o índice de vazios em 14,98% o do teor de 18% e em 23,22% o do teor de 25%, enquanto para o teor de água de 18% e 25% não apresentou diferença no índice de vazios (Figura 3d).

CONCLUSÕES

Para uma mesma pressão aplicada o índice de vazios estrutural do solo reduz com o teor de água no solo. O aumento da quantidade de matéria orgânica no solo reduz a compactação e diminui o efeito da umidade. A matéria orgânica apresenta maior atividade na camada superficial do solo.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. J et al. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e Características da cultura do milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Lages, SC, v. 25, n. 3, p. 717-723, 2001.

AMARO FILHO, J. **Contribución al estudio del clima del Rio Grande do Norte**. 1991. 311f. Tese (Doutorado em Edafologia) – ETSIA, Madrid, 1991.

- ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.425-435, 2005.
- AZEVEDO, E. C.; SVERZUT, C. B. Alterações dos Atributos Físicos e Químicos do Solo sob Pastagem no Sudoeste do Estado de Mato Grosso. *Revista Agricultura Tropical*, Cuiabá, v. 9, n. 1, p. 7-23, 2007.
- BELTRAME, L.F.S. & TAYLOR, J.C. Causas e efeitos da compactação do solo. *Lav. Arrozeira*, 32:59-62, 1980a.
- CARNEIRO, M. A. C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Vicososa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.
- DERDOUR, H., et al. Comportement mécanique d'un sol argileux. Effets de la taille des agrégats, de la teneur en eau et de la pression appliquée. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 74, n. 2, p. 185-191, 1994.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. p. 75.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p
- FIGUEIREDO, C. C. et al. Propriedades físico-hídricas em Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 146-151, 2009.
- FIGUEIREDO, C. C. et al. Propriedades físico-hídricas em Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 146-151, 2009.
- GUÉRIF, J. 1982. Compactage d'un massif d'agregats: effet de la teneur en eau et de la pression appliquée. *Agronomie*, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1982.
- GUERIF, J. Factors influencing compaction-induced increases in soil strength. *Soil Tillage Res.* 16, 167-178, 1990.
- KIRBY, J. M. Measurements of the yield surfaces and critical state of some unsaturated agricultural soils. *J. Soil Sci.* 40, 167-82, 1989
- KOOLEN, A. J. A method for soil compactibility determination. *Journal Agricultural Engineering Research*, v. 19, n. 3, p. 271-278, 1974.
- LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R. da S.; LOVATO, T.; ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C.; REINERT, D.J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1131-1140, 2007
- LEON-GONZALEZ, F. **Morphologie, proprietes physiques et conditions de formation des elements structuraux de la couche laborée: contribution à l'interprétation du profil cultural**. 133 f.Thèse (Docteur Ingénierie)-INA-PG. Paris, 1991.
- LIMA, C. L. R. et al. Compressibilidade de um Argissolo sob plantio direto escarificado e compactado. *Revista Ciência Rural*, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1765-1772, 2006.
- LIMA, P. P.; PRADO, R.J.; SCHROEDER, N.; BRAVIN, P. M.; BOLDT, H. R.; NASCIMENTO, J. M. Avaliação da Densidade de Partículas do Solo em Diferentes Áreas de um Latossolo Vermelho – Amarelo da Zona da Mata de Rondônia. In: FERTBIO. Anais. Guarapari – ES, 2010.
- MELLO, N. A. **Degradação física dos solos sob integração lavoura-pecuária**. In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL. 2002, Pato Branco. Anais... Pato Branco: CEFET- PR, 2002. p. 43-60.
- MONNIER, G.; STENGEL, P.; FIES, J.C. **Une méthode de mesure de La densité apparente de petits agglomérats terreux: application a l'analyse des systèmes de porosité du sol**. *Annales Agronomiques*, v. 24, p. 533-545, 1973.
- OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; CURTI, N.; RESCK, D. V. S. Compressibilidade de um Latossolo Vermelho argilosos de acordo com a tensão de água no solo, uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.773-781, 2003.
- PEREIRA, J. O. et. al. Pressão de pré- Pressão de pré-compressão e comportamento hídrico de um Nitossolo Vermelho distroférico em função do tamanho de agregados. *Acta Sci. Agron. Maringá*, v. 27, n. 3, p. 513-519, July/Sept., 2005
- PEREIRA, J. O. Efeito do tamanho de agregados. Do teor de água e da intensidade de carga aplicada na compactação e resistência à tração de uma terra roxa estruturada. UEP, Botucatu, 1996. 114f. (Tese-Doutorado em Agronomia).

- PEREIRA, J. O., DEFOSSEZ, P.; RICHARD, G. Soil susceptibility to compaction by wheeling as a function of some properties of a silty soil as affected by the tillage system, *European Journal of Soil Science*, v. 58, n. 1, p. 34-44, 2007.
- PIACENTINI, S. A. S.; Densidade do solo e teores de matéria orgânica em quatro formas de uso de um Latossolo Vermelho – Amarelo em Rondônia. Trabalho de conclusão de curso, para obtenção do título de bacharel em Agronomia. UNIR, 2008
- RAMOS, F. T et al. Indicadores de qualidade em um latossolo vermelho-amarelo Sob pastagem extensiva no pantanal matogrossense. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 112-120, 2010.
- RAMOS, F. T.; MONARI, Y. C.; NUNES, M. C. M.; CAMPOS, D. T. S.; RAMOS, D. T. Indicadores de qualidade em um latossolo vermelho-amarelo sob pastagem extensiva no pantanal matogrossense. *Revista Caatinga*, vol. 23, p. 112-120, 2010
- SECCO, D. et al. Produtividade de soja e propriedades físicas de um latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 28, n.5, p. 797-804, 2004.
- SILVA, A. J. N. et al. Alterações físicas e químicas de um Argissolo amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v. 10, n. 1, p. 76-83, 2006a.
- SILVA, V. R.; REINERT, D. J. REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetado pelo pastejo e manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 191-199, 2000b.
- SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELLI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, n.3, p.533-542, 2004.
- STENGEL, P. Analyse de la porosité. *Seminare CEE-Agrimed*. 14-18 mars, 1983.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Publications in Climatology**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955 v.3, n.1, p.1-104
- TORMENA, C.A.; FRIEDRICH R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S.; FIDALSKI J. Propriedades físicas e taxas de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa, v.28, p.1023-1031, 2004.
- TREIN, C.R.; COGO, N. P. LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo na rotação aveia+trevo/milho, após pastejo intensivo. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, Viçosa, MG, v. 15, n. 1, p. 105-111, 1991.
- VZZOTTO, V. R.; MARCHEZAN, E.; SEGABINAZZI, T. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo de várzea. *Ciência Rural*, Santa Maria, RS, v. 30, n. 6, p. 965-969, 2000.