

Qualidade física de um Latossolo Bruno com nove anos sob sistema de integração agricultura-pecuária

Resumo

Jhonatan Spliethoff¹
Cristiano Andre Pott²

Os sistemas de integração agricultura-pecuária são uma alternativa para maximizar a renda do produtor rural e compor sistemas de rotação de culturas sob sistema de plantio direto. Porém, a preocupação com compactação do solo gera questionamentos quanto à sustentabilidade do sistema. Nesse sentido, um experimento de longa duração foi instalado em 2006 para avaliar doses de nitrogênio nas culturas em sistema de integração lavoura pecuária com ovinos. O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de diferentes doses de nitrogênio e do pastejo com ovinos no comportamento dos atributos físicos de um sistema de integração agricultura-pecuária de longa duração. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso de parcelas subdivididas com três repetições instalado em um Latossolo Bruno, textura muito argilosa. As doses de nitrogênio representam as parcelas e as subparcelas foram compostas por presença ou ausência de pastejo. As doses de nitrogênio foram de 0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹ aplicados na pastagem de azevém no período de inverno. O número de animais por unidade experimental foi variável em função da altura de pastejo (0,20 m), a qual era conseguida por meio da introdução ou retirada de animais reguladores. Não houve efeito estatístico do fator nitrogênio sobre os atributos físicos do solo. A densidade, macroporosidade e resistência do solo à penetração foram afetadas negativamente pelo pastejo nas camadas superficiais do solo.

Palavras-chave: compactação do solo, densidade do solo, macroporosidade, resistência à penetração.

Abstract

Physical quality of an Oxisol with nine years with integration system livestock

Crop-livestock integration systems are an alternative to maximize the income of the rural farmer and to compose systems of rotation of crops under no-tillage system. However, concern about soil compaction generates questions about the sustainability of the system. In this sense, a long-term experiment was set up in 2006 to evaluate nitrogen rates in crop system with integrating livestock farming with sheep. The aim of this study was to evaluate the effect of different nitrogen rates and grazing with sheep on behavior of the soil physical attributes of long-term agriculture-livestock integration system. The experimental design was in randomized blocks with subdivided plots with three replicates installed on Oxisol with very clayey texture. Nitrogen rates represent the plots and the subplots were composed by presence or absence of grazing. Nitrogen rates were 0, 75, 150 and 225 kg ha⁻¹ applied to the ryegrass pasture in winter period. The number of animals per experimental unit was variable as a function of grazing height (0.20 m), which was achieved by introducing or removing regulatory animals. There was no statistical effect of the nitrogen factor on the soil physical attributes. Bulk density, macroporosity and resistance to soil penetration were negatively affected by grazing at the soil surface layers.

Key Words: soil compaction, bulk density, macroporosity, resistance to soil penetration.

Received at: 22/02/2018

Accepted for publication at: 11/07/2018

¹ Eng. Agrônomo. Mestrando do Programa de Pós-graduação. Universidade Estadual do Centro Oeste -UNICENTRO - Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03, Bairro Cascavel, Guarapuava - PR, 85040-080. Email: jhonatanspliethoff@hotmail.com

² Eng. Agrônomo. Dr. Prof. Universidade Estadual do Centro Oeste -UNICENTRO - Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03, Bairro Cascavel, Guarapuava - PR, 85040-080. Email: cpott@unicentro.br

Resumen

Calidad física de un Oxisol con nueve años en sistema de integración ganadera

Los sistemas de integración de ganado y ganado son una alternativa para maximizar los ingresos del agricultor rural y para componer sistemas de rotación de cultivos bajo el sistema de cero labranza. Sin embargo, la preocupación por la compactación del suelo genera preguntas sobre la sostenibilidad del sistema. Es este el sentido, un experimento a largo plazo se estableció en 2006 para evaluar las tasas de nitrógeno en el sistema de cultivo con la integración de la cría de ganado con ovejas. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes tasas de nitrógeno y el pastoreo con ovejas en el comportamiento de los atributos físicos del suelo del sistema de integración agricultura-ganadería a largo plazo. El diseño experimental fue en bloques aleatorios con parcelas subdivididas con tres réplicas instaladas en Oxisol con textura muy arcillosa. Las tasas de nitrógeno representan las parcelas y las subparcelas estaban compuestas por la presencia o ausencia de pastoreo. Las tasas de nitrógeno fueron de 0, 75, 150 y 225 kg ha⁻¹ aplicadas al pastizal de raigrás en el período de invierno. El número de animales por unidad experimental fue variable en función de la altura de pastoreo (0,20 m), lo que se logró mediante la introducción o eliminación de animales reguladores. No hubo un efecto estadístico del factor de nitrógeno en los atributos físicos del suelo. La densidad aparente, la macroporosidad y la resistencia a la penetración del suelo se vieron negativamente afectadas por el pastoreo en las capas superficiales del suelo.

Palabras clave: compactación del suelo, densidad aparente, macroporosidad, resistencia a la penetración del suelo.

Introdução

Os sistemas de integração lavoura pecuária são uma alternativa para maximizar a renda do produtor rural e compor sistemas de rotação de culturas sob sistema de plantio direto. Segundo MORAES et al. (2014) os sistemas de integração são sistemas que envolvem interações temporais e espaciais com exploração de animais e culturas na mesma área, simultaneamente ou de forma desarticulada e em rotação ou sucessão.

Nesse sistema, como definido, há entrada de máquinas e animais na mesma área. Destaca-se que sistemas de integração agricultura-pecuária, especialmente com uma alta carga animal podem gerar problemas de compactação do solo (SPERA et al., 2010). Além disso, ter-se a o efeito do intenso tráfego de máquinas e equipamentos para manejo das culturas, gerando intenso tráfego de máquinas e ocasionando problemas de compactação e conseqüente redução de produtividade (MORAES et al., 2016 ; BOTTA et al., 2016).

CARDOSO et al. (2013) relataram que a compactação, marcada principalmente pelo aumento da densidade do solo, promove a perda de estabilidade de seus agregados afetando diretamente o crescimento radicular das plantas. Além disso, a

compactação reflete em maiores valores de resistência do solo à penetração e redução significativa da porosidade, podendo afetar inclusive a absorção de nutrientes (VALADÃO et al., 2015).

As culturas envolvidas no sistema, ora podem influenciar na densidade do solo alterando a sua estrutura e o arranjo dos poros, afetando a aeração, a retenção de água, a disponibilidade de água e a resistência do solo à penetração pelas plantas (RIENZI et al., 2016). De acordo com SILVA et al. (2007), para assegurar a sustentabilidade, é de fundamental importância a associação de um sistema de rotação de culturas diversificado que produza adequada quantidade de resíduos culturais na superfície do solo, pois, segundo SPERA et al. (2009), o uso intensivo do solo promove elevada retirada de nutrientes e decomposição da palhada. Por outro lado, a boa nutrição da planta promove maior produção de biomassa (CASSOL et al., 2011) o que geraria menores problemas de compactação (SPERA et al., 2010).

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de diferentes doses de nitrogênio no comportamento dos atributos físicos de um Latossolo Bruno em sistema de integração agricultura-pecuária de longa duração, avaliando o comportamento do pisoteio animal sobre esses atributos.

Material e métodos

O estudo foi realizado na área experimental do Departamento de Agronomia - Integração agricultura-pecuária com ovinos localizado a 25°33' latitude Sul e 51°29' longitude Oeste e tem altitude de aproximadamente 1100m. A área experimental é conduzida desde 2006 em sistema de integração agricultura-pecuária, em que durante o período de inverno são manejadas as plantas forrageiras, tais como aveia preta e azevém para pastejo com ovinos, e durante o verão, ocorre a rotação de culturas com milho e feijão.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas, onde as parcelas constituem as doses de nitrogênio na pastagem (0, 75, 150 e 225 kg N ha⁻¹) e as subparcelas representam os tratamentos sem pastejo (SP) e com pastejo (CP), perfazendo 3 repetições de cada tratamento. Cada unidade experimental do fator N tem uma área de 2000 m², e a área não pastejada (subparcela) tem uma área de 102 m².

Haja visto que, as doses de N proporcionem diferentes produções de massa seca de forragem, a quantidade de animais por unidade de área era variável, sendo programado uma altura de pastejo constante de 20 cm de altura para todos os tratamentos, a qual era conseguida por meio da utilização de animais reguladores de crescimento, trazidos de outros piquetes.

Para a determinação da densidade do solo (DS), da porosidade total (Pt), macroporosidade (macro) e microporosidade (micro), a metodologia utilizada foi das amostras indeformadas do solo, coletadas com anéis volumétricos de 100 cm³ (EMBRAPA, 2011). Após a coleta, as amostras foram saturadas com água e submetidas à mesa de tensão, sob diferentes tensões (-6 KPa e -10KPa) e posteriormente secadas em estufa à 105°C por 48 horas. Para a coleta das amostras indeformadas, foram abertas trincheiras com 1,5 m de comprimento por 0,5 m de largura e 0,3 m de profundidade. Os anéis foram coletados com o auxílio de um macaco hidráulico, a fim de causar a menor deformação possível das amostras. A amostragem foi realizada em três profundidades do solo, coletando-se três anéis por profundidade, sendo essas 0,0 - 0,05= m, 0,05 - 0,15m e 0,15 - 0,25m.

A capacidade de aeração total (CAT) foi definida por meio da diferença de volume de poros drenados entre o solo saturado e o potencial matricial de -10 kPa e a capacidade de campo (CC) foi definida por meio da diferença de volume de poros

drenados no potencial matricial de -10 kPa e o solo seco a 105°C, conforme descrito por REYNOLDS et al. (2002). A capacidade de armazenamento de ar e a capacidade de armazenamento de água foram calculadas por meio da relação entre CAT/Pt e CC/Pt, respectivamente.

A densidade relativa (DR) foi definida pela relação da densidade do solo pela densidade máxima obtida pelo ensaio de Proctor. Portanto, após coleta do solo, realizou-se o ensaio de Proctor (KLEIN et al., 2013) para definir a densidade máxima do solo nas diferentes profundidades.

A determinação da resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi realizada com penetrômetro eletrônico, marca Falker modelo PLG1020 (FALKER, 2009). As avaliações foram realizadas após o término do período de pastejo e antes da implantação da cultura de verão, no dia 17 de outubro de 2015, com 10 repetições de penetrometria por unidade amostral. Concomitantemente as avaliações de RP, foi realizadas medições da umidade gravimétrica do solo por meio da metodologia descrita por EMBRAPA (2011).

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando significativa comparação de médias (Teste F; p<0,05) pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

Não houve efeito estatístico para o fator doses de nitrogênio, nem tampouco interação entre o fator pastejo e o fator doses de nitrogênio, tanto para os atributos físicos do solo quanto para a resistência à penetração. Entretanto, foi possível observar diferenças no fator pastejo quando avaliado isoladamente para todas as características.

A DS diferiu somente na camada superficial (0-0,05 m), na qual a área com CP apresentou densidade de 1,06 Mg m⁻³, sendo esta superior a densidade da área SP (Figura 1).

De acordo com MANTOVANI (1987) após o solo sofrer uma pressão, ocorre a quebra dos seus agregados e o aumento da densidade. Quando o agregado se quebra, ocorre uma redução dos poros, gerando uma diminuição da troca de oxigênio e dióxido de carbono; limitação do movimento de nutrientes na água; diminuição da taxa de infiltração de água no solo. Como consequência do aumento da DS, o solo aumenta a sua resistência à penetração, ocasionando um sistema radicular superficial e uma necessidade de aumento da potência das máquinas agrícolas. Fato bastante semelhante foi encontrado

por outros pesquisadores (IMHOFF et al., 2000; GIAROLA et al., 2007), que observaram uma aumento da densidade do solo em função da pressão causada pelo casco dos animais.

A maior densidade do solo encontrada foi de 1,1 Mg m⁻³. Segundo BERGAMIN et al. (2010), somente valores de Ds acima de 1,32 Mg m⁻³ seriam considerados limitantes ao desenvolvimento das raízes de milho. Para VALADÃO et al. (2015) densidades de

1,32 Mg m⁻³ e 1,35 Mg m⁻³, já seriam prejudiciais para a cultura do milho e soja, respectivamente.

O grau de compactação máximo do solo com o ensaio de Proctor foi de 1,21 Mg m⁻³ para a profundidade de 0-5 cm e de 1,24 Mg m⁻³ para as camadas de 5 - 15 e 15 -25 cm. Estimando-se a densidade relativa (DR), verifica-se que o maior valor obtido foi de aproximadamente 89% (Figura 2), na camada superficial de 0,0 - 0,05m.

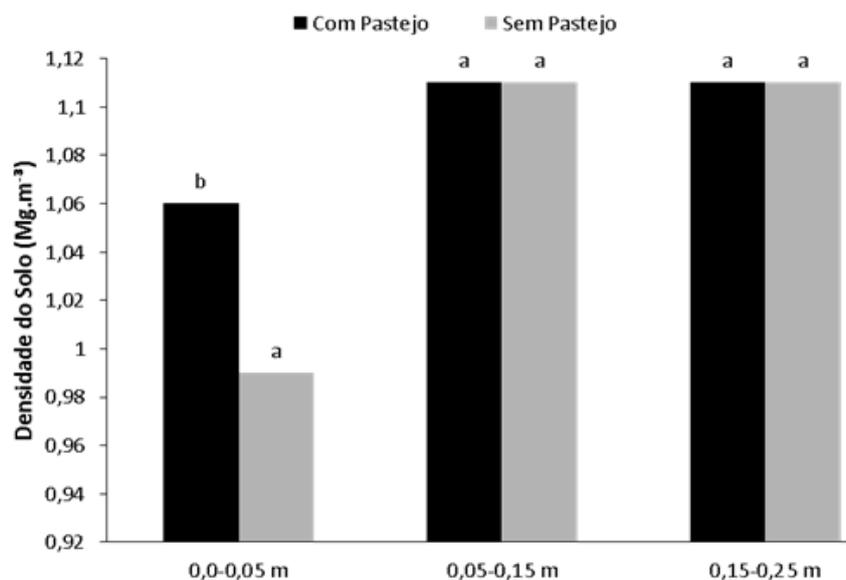


Figura 1. Densidade do solo (Mg m³) em área com e sem pastejo de ovinos. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (p<0,05).

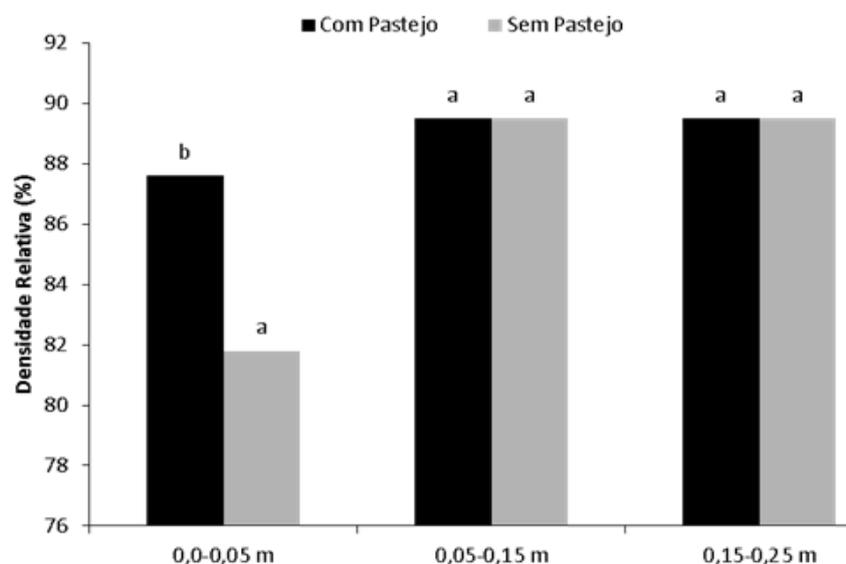


Figura 2. Densidade relativa do solo (%) em área com e sem pastejo de ovinos. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (p<0,05).

A macroporosidade apresentou diferença estatística nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,15 m de profundidade (Figura 3). Na primeira camada, o sistema SP apresentou maiores valores, enquanto que na segunda camada, o sistema CP teve os maiores valores médios de macroporosidade. Porém, somente na área SP na camada superficial (0-0,05 m) é que esse atributo encontra-se acima do limite de 10% estabelecido por REICHERT et al. (2009).

A microporosidade não foi afetada na camada mais profunda (0,15-0,25 m), porém nas camadas mais superficiais sofreu influência do manejo (Figura 3). A camada de 0-0,05 m na área CP apresentou maiores valores, enquanto que na camada 0,05-0,15 m ocorreu o contrário, o maior valor foi representado na camada em que não se realizou o pastejo.

O pisoteio animal reduziu a porosidade total apenas na primeira camada. Embora haja diferença significativa, a microporosidade teve variação muito pequena entre a presença ou ausência dos animais. Esse mesmo efeito foi verificado por LANZANOVA et al. (2007) em sistema de integração agricultura-pecuária no Rio Grande do Sul.

A capacidade de armazenamento de água foi estatisticamente superior na camada até 0,05 m, evidenciando que solo com maior adensamento tem maior capacidade de reter água (Figura 4). Nas demais camadas, que não tiveram o efeito do adensamento pelo pisoteio animal, a capacidade de armazenar água foi maior naquele sem pastejo, ou seja, a qualidade estrutural do solo em profundidade se manteve melhor.

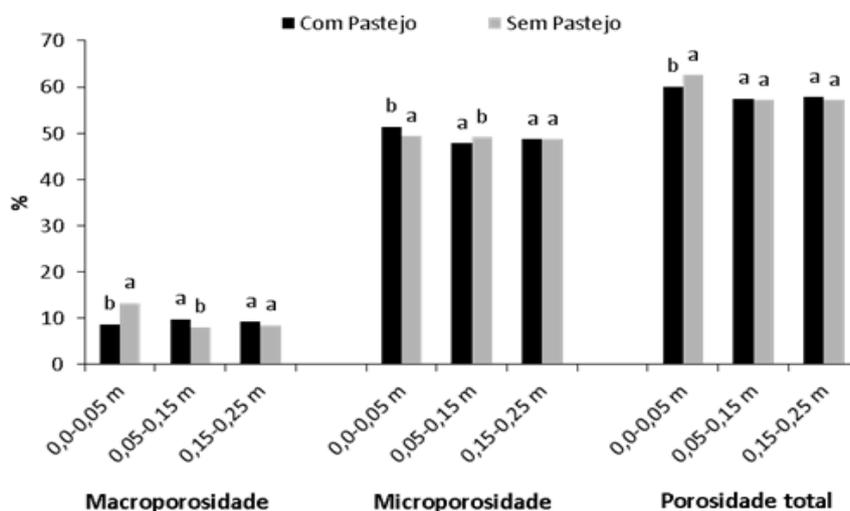


Figura 3. Macroporosidade, microporosidade e Porosidade total de área com e sem pastejo de ovinos. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

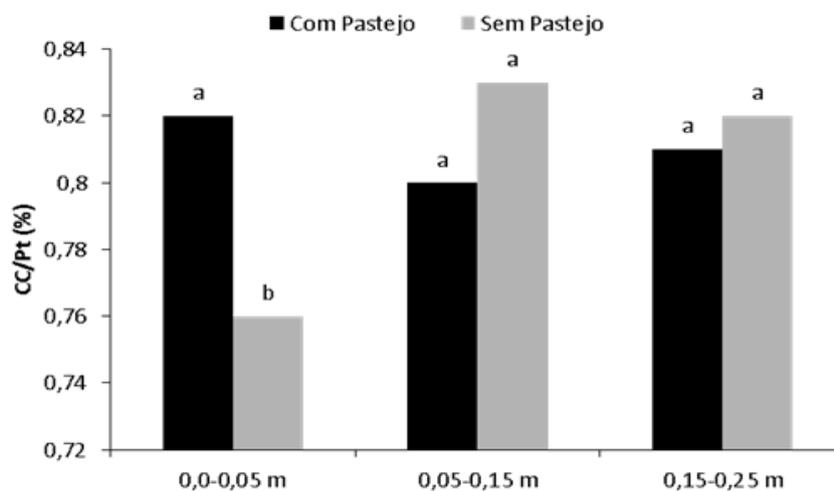


Figura 4. Capacidade de armazenamento de água. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Quanto à capacidade de armazenamento de ar, observa-se efeito do adensamento sobre este na primeira camada (Figura 5). Entretanto, na camada 0,05-0,15 o ambiente com pastejo obteve maior

capacidade de armazenar água, estando atrelado a menor macroporosidade identificada nesta camada no ambiente sem pastejo.

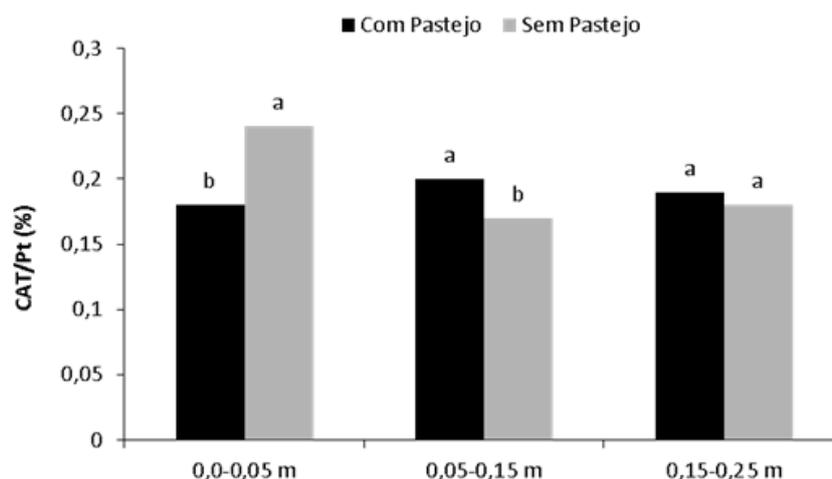


Figura 5. Capacidade de armazenamento de ar (CAT/Pt). *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

REYNOLDS et al. (2002) sugerem como limite adequado para crescimento e desenvolvimento das plantas valor de CC/Pt de 0,66 ou 66% dos poros ocupados com água, e para CAT/Pt valor de 0,34 ou 34% dos poros ocupados com ar. No presente trabalho, na camada inicial foram encontrados valores de CC/Pt de 0,82 para área com pastejo e 0,76 para área sem pastejo na primeira. Para CAT/Pt esses valores foram de 0,18 e 0,24, respectivamente. Tais valores corroboram com os encontrados por POTT et al. (2017) que, estudando a qualidade física de diferentes sistemas produção, encontraram valores de CC/Pt e CAT/Pt de 0,88 e 0,12 em sistemas de integração lavoura pecuária, enquanto que para mata nativa, esses valores foram de 0,66 e 0,34 respectivamente.

Com relação a RP, o fator pastejo animal

diferenciou-se estatisticamente entre os tratamentos com e sem pastejo até a profundidade de 0,15 m. Verificou-se que os maiores valores de resistência à penetração ocorreram no tratamento com pastejo (Figura 3). De acordo com LANZANOVA et al. (2007), a compactação superficial reduz drasticamente a infiltração de água no solo, diminuindo a capacidade do solo de armazenar água e tornando-se mais suscetível à erosão laminar.

MOLIN et al. (2006) constataram efeitos de vários fatores sobre a RP, como densidade, porosidade e umidade do solo. No presente trabalho, a umidade volumétrica não diferiu estatisticamente na camada até 20 cm, evidenciando que o efeito do adensamento é estritamente por efeito do pisoteio animal, que aumentou a densidade deste solo.

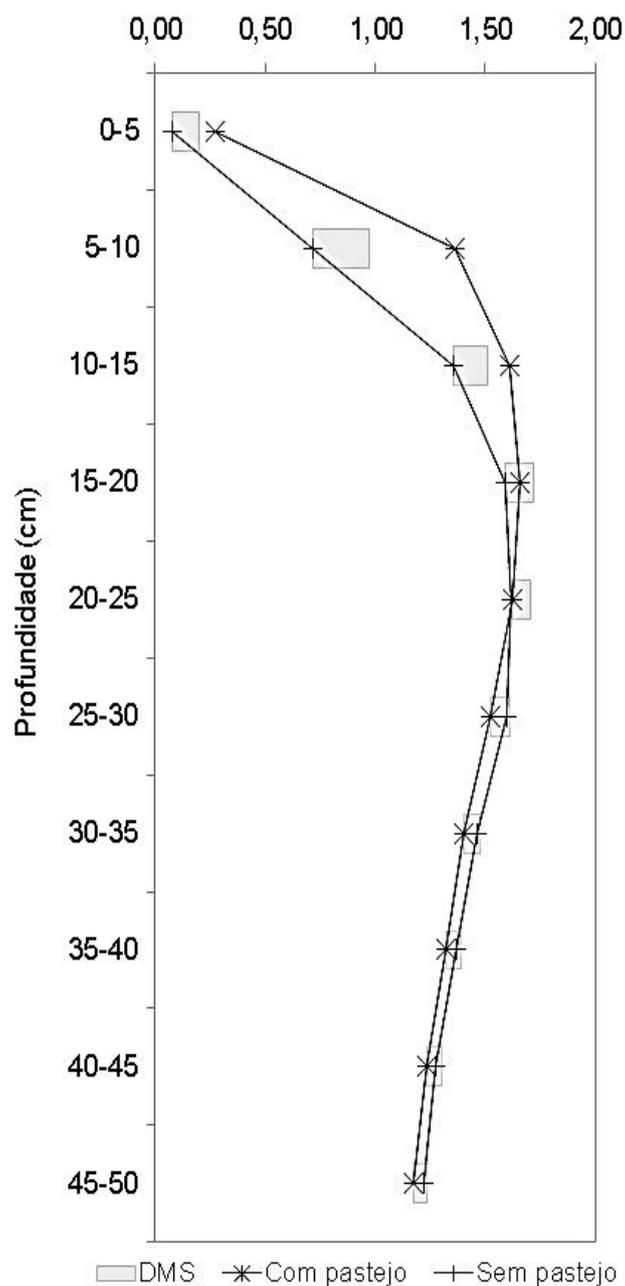


Figura 6. Resistência Mecânica do Solo a Penetração (RP) medida a cada 0,05 m até 0,50 m de profundidade, em área sem pastejo e em área com pastejo animal. DMS= Diferença Mínima Significativa ($p < 0,05$).

Nas demais camadas os valores de RP foram bastante semelhantes, observando uma tendência de aumento da resistência até 0,2 m de profundidade, tanto no sistema sob pastejo quanto sem pastejo. Entretanto, os valores de RP não ultrapassam 1,7

MPa, sendo inferior ao valor proposto na literatura como limitante ao crescimento das plantas de 2,5 MPa, (IMHOFF et al., 2000; SÁ e SANTOS JUNIOR, 2005). Entretanto, VALADÃO et al. (2015) encontraram efeitos negativos no desenvolvimento de raízes de

milho com resistência superior a 1,48 Mpa.

KUNS et al., (2013), verificaram em seu experimento que em sistemas de integração agricultura-pecuária aspectos como a densidade e porosidade do solo não tiveram alterações significativas, o que evidencia que o pastejo em sistema rotativo teve pequeno impacto na sua compactação. Segundo COLLARES et al (2008), a resistência do solo à penetração, aumenta drasticamente em períodos secos, provocando deformações morfológicas nas raízes e limitando o acesso à água e aos nutrientes das camadas mais profundas. CASSOL (2003) afirma que o efeito do pisoteio animal sobre as propriedades físicas do solo é limitado às suas camadas mais superficiais e que este efeito pode ser temporário e reversível, mas é

necessário adotar um manejo adequado, tanto do solo quanto dos animais.

Conclusão

A adubação nitrogenada não exerce efeito sobre o adensamento do solo, ou seja, por mais que a produção de biomassa seja maior, o efeito do pisoteio animal sobre o solo é o mesmo.

O pastejo animal influenciou negativamente a densidade do solo e a macroporosidade, especialmente na camada de 0-0,05m.

A resistência do solo à penetração foi afetada pelo pisoteio animal, aumentando significativamente até profundidade de 15 cm.

Referências

- BERGAMIN, AC; VITORINO, ACT; FRANCHINI, JC; SOUZA, CMA; SOUZA, FR. Compactação de um Latossolo Vermelho distroférrico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 681-691, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300009>
- BOTTA, GF; TOLÓN-BECERRA, A; RIVERO, D; LAUREDA, D; RAMÍREZ-ROMAN, M; LASTRA-BRAVO, X; MARTIREN, V. Compactación produced by combine harvest traffic: Effect on soil and soybean (*Glycine max L.*) yields under direct sowing in Argentinean Pampas. **European Journal of Agronomy**, v. 74, p. 155-163, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2015.12.011>
- CARDOSO, EJB; VASCONCELLOS, RLF; BINI, D; MIYAUCHI, MYH; SANTOS, CA; ALVES, PRL; PAULA, AM; NAKATANI, AS; PEREIRA, JM; NOGUEIRA, MA. Saúde do solo: Procurando por indicadores adequados. O que deve ser considerado para avaliar os efeitos do uso e manejo na saúde do solo? **Scientia Agrícola**, v.70, p.274-289, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000400009>
- CASSOL, LC. Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície, 2003. (Doutorado em Agronomia: Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- CASSOL, LC; PIVA, JT; SOARES, AB; ASSMANN, AL. Produtividade e composição estrutural de aveia e azevém submetidos a épocas de corte e adubação nitrogenada. **Revista Ceres**, v. 58, n.4, p. 438-443, 2011.
- COLLARES, GL; REINERT, DJ; REICHERT, JM; KAISER, DR. 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 do Solo**, v.32, p.933-942, 2008.
- EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.
- FALKER. Manual do Medidor eletrônico de compactação do solo. PenetroLog, PLG1020. Falker Automação Agrícola. 2009.
- GIAROLA, NFB; TORMENA, CA; DUTRA, AC. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.863-873, 2007.
- IMHOFF, S; SILVA, AP da; TORMENA, CA. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1493-1500, 2000.

- KLEIN, VA; MADALOSSO, T; BASEGGIO, M. Ensaio de Proctor normal – análise metodológica e planilha para cálculo da densidade do solo máxima e teor de água ótimo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.12, n.2, p. 199-203, 2013.
- KUNS, M; GONÇALVES, ADMA; REICHERT, JM; MUYLEAERT, R; REINERT, DJ; RODRIGUES, MF. Compactação do solo na integração soja-pecuária de leite em latossolo argiloso com semeadura direta e escarificação. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.37, p.1699-1708, 2013.
- LANZANOVA, ME; NICOLOSO, RS; LOVATO, T, ELTZ, FLF; AMADO, TJC; REINERT, DJ. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 31, p.1131-1140, 2007.
- MOLIN, JP; MAGALHÃES, RP; FAULIN, GC. Análise espacial da ocorrência do índice de cone em área sob semeadura direta. **Engenharia Agrícola**, v.26, p.442-452, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162006000200012>
- MORAES, TM; DEBIASI, H; CARLESSO, R; FRANCHINI, JC; SILVA, VR; LUZ, FB; Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. *Soil Tillage e Research*, v. 155, p. 351-362, 2016. <https://doi.org/doi:10.1016/j.still.2015.07.015>
- MORAES, A; CARVALHO, PCF; ANGHINONI, I; LUSTOSA, SBC; COSTA, SEVGA; KUNRATH, TR. Sistemas de integração lavoura-pecuária nas regiões subtropicais brasileiras. **Revista Européia de Agronomia**, v. 57, n.1, p. 4-9, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.10.004>
- SÁ, MAC; SANTOS JÚNIOR, JDG. Compactação do solo: conseqüências para o crescimento vegetal. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. 26p. Documentos, 136
- SILVA, AA; SILVA, PRF; SUHRE, E; ARGENTA, G; STRIEDER, ML; RAMBO, L. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência Rural**, v. 37, n.4, p. 928-935, 2007.
- SPERA, ST; SANTOS, HP; FONTANELI, RS; TOMM, GO. Atributos físicos de um Hapludos em função de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), sob plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n.1, p.37-44, 2010.
- SPERA, ST; SANTOS, HP; FONTANELI, RS; TOMM, GO. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n.1, p.129-136, 2009.
- MANTOVANI, EC. Compactação do solo. Informativo Agropecuário, v.13, n.147, p. 52- 55, 1987.
- POTT, CP; ZERBIELLI, LC; MARTINS, PJ; GARDIN, E; GARCIA, ML; Qualidade física do solo em sistemas florestais, pecuários e integrados de produção. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v.10, n.2 p.53-60, 2017. Doi: 10.5935/PAeT.V10.N2.05
- REICHERT, JM; SUZUKI, LEAS; REINERT, DJ; HORN, R; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree of compactness for no-till crop, production in subtropical highly weathered soils. *Soil Tillage Research*, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009.
- REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LUC, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*, v. 110, n. 1, p. 131-146, 2002. DOI: 10.1016/S0016-7061(02)00228-8
- RIENZI, EA; MAGGI, AE; SCROFFA, M; LOPEZ, VC; CABANELLA P. Autoregressive state spatial modeling of soil bulk density and organic carbon in fields under different tillage system. *Soil and Tillage Research*, v. 159, n. 1, p. 56-66, 2016.
- VALADÃO, FCA; WEBER, OLS; VALADÃO JÚNIOR, DD; SCAPINELLI, A; DEINA, FR; BIANCHINI A. Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 243-255, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcs20150144>.