



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

COMPACTAÇÃO DO SOLO NO SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

Herison Alves de Oliveira¹; Joaquim Odilon Pereira²; Leandro Augusto Felix Tavares³;
Reginaldo Tavares de Melo⁴, Sandra Maria Campos Alves⁵ e Miguel Ferreira Neto⁶.

RESUMO

A Integração Lavoura-Pecuária consiste na implantação de diferentes sistemas produtivos em uma mesma área, servindo como uma alternativa econômica e sustentável para recuperar áreas degradadas pelo processo de compactação do solo. Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do pastejo de bovinos em áreas do sistema lavoura-pecuária sobre a estrutura do solo e o efeito das propriedades físicas do solo no sistema de produção agrícola. Os resultados mostraram que a densidade do solo aumentou com a profundidade do solo durante a utilização dos bovinos na pastagem. Com a implantação da cultura de milho após o trabalho de pastagem, houve uma redução da densidade nas camadas do solo, principalmente nas camadas de 0,0 a 5,0 cm e 5,0 a 10,0 cm. A porosidade do solo indica um efeito significativo do sistema de cultivo após o uso de animais na propriedade agrícola, contribuindo para redução da compactação do solo.

Palavras-chaves: densidade do solo; porosidade; áreas degradadas.

ABSTRACT

SOIL COMPACTION SYSTEM FOR CROP-LIVESTOCK INTEGRATION

The Crop-Livestock Integration is an implementation of different production systems in the same area, working as an economic and sustainable alternative to recover degraded areas by the soil compaction process. This study aimed to evaluate the influence of cattle grazing in areas of crop-livestock systems on soil structure and the effect of the soil physical properties in agricultural production system. The results showed that the soil density increased with soil depth during the use of cattle to pasture. With the implementation of the maize crop after the pasture work, there was a reduction in the soil density, especially in layers 0.0 to 5.0 cm and 5.0 to 10.0 cm. The soil porosity indicates a significant effect of cropping system after the use of animals on the farm, helping to reduce soil compaction.

Keywords: soil density; porosity; degraded areas.

Trabalho recebido em 06/11/2011 e aceito para publicação em 15/12/2012.

¹ Bolsista de IC, Eng. Agric. e Ambiental/DCAT/UFERSA, e-mail: herisonalves@yahoo.com.br,

² Prof. Adjunto. Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas - /UFERSA, Bolsista de produtividade em pesquisa, CNPq. Av. Francisco Mota, 572, bairro Costa e Silva. Mossoró-RN. CEP 59625-900. E-mail: jodilon@ufersa.edu.br,

³ Estudante Ms em Energia na Agricultura UNESP/Botucatu – SP, e-mail: leandrotavares@fca.unesp.br,

⁴ M. Sc. Ciencia do Solo DCAT/UFERSA – RN e-mail: rtm_agrarias@hotmail.com

⁵ Bolsista DCR/FAPERJ/CNPq, e-mail: sandraalves@ufersa.edu.br

⁶ Prof. Adjunto. Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas - /UFERSA, e-mail: miguel@ufersa.edu.br

2* Autor para correspondência.

1. INTRODUÇÃO

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).

Para Moraes et al. (2002), os sistemas de produção agrícola poderiam ser beneficiados por alternativas econômicas de rotação de culturas que fossem capazes de contribuir para melhoria na utilização dos investimentos, e que buscassem intensificar o uso da terra e desenvolver sistemas de produção mais estáveis.

A utilização de lavouras de grãos e pastagens anuais, em um sistema de integração, tem sido durante muito tempo uma prática cultural no processo de recuperação ou renovação de pastagens cultivadas. O uso eventual dessas atividades, pelo próprio produtor ou em parcerias ou arrendamentos, pode ser somente uma estratégia para reduzir custos e retornar rapidamente para atividade principal da produção animal (ZIMMER et al., 1999).

Com a utilização da sucessão pastagem-culturas, os produtores podem desenvolver sistemas de produção menos intensivos no uso de insumos e, por sua vez, mais sustentáveis ao longo do tempo, evidenciando-se o efeito benéfico nas várias propriedades do solo a medida que aumenta o número de anos sucessivos com pastagens (PANIGATTI, 1992).

A compactação do solo é vista como um componente importante dos problemas de degradação do solo e do ambiente, em que a produtividade do solo sofre um severo declínio como resultado do gerenciamento errado pelo homem, sendo reconhecido como uma condição comum com processos físicos, químicos e biológicos (SOANE e VAN OUWERKERK, 1994).

Em solos compactados, ocorre alteração da estrutura e, conseqüentemente, o decréscimo na porosidade total, macroporosidade, disponibilidade de água e nutrientes e difusão de gases no solo (TAYLOR e BRAR, 1991), cujas relações são fundamentais durante o desenvolvimento das raízes.

Segundo Queiroz-Voltanet al. (2000), em solos compactados, as raízes das plantas não utilizam adequadamente os nutrientes disponíveis, uma vez que o desenvolvimento de novas raízes, responsáveis pela absorção de água e nutrientes, é prejudicado.

A magnitude das alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, que são os responsáveis por afetar o desenvolvimento radicular das culturas de grãos (SILVA et al., 2000), está na dependência do manejo que é aplicado nas áreas sob pastejo, podendo as alterações variar com a textura, o teor de matéria orgânica (LARSON et al., 1980; SMITH et al., 1997), o teor de água do solo (PEREIRA et al. 2007), a espécie de planta, a intensidade e o tempo de pastejo e a espécie e categoria animal (SALTON et al., 2002).

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 plantio direto, nas propriedades agrícolas, possibilita uma cobertura do solo no período das chuvas e boa parte do das secas. Pairam duvidas a

respeito de como se comporta o sistema quando se associa a atividade animal em áreas agrícolas cultivadas dentro desse sistema de plantio (ANDREOLLA, 2005). Acredita-se que a permanência de animais em áreas de cultivo cause compactação ou outra alteração que possa comprometer a produtividade das culturas em sucessão à pastagem.

Em áreas utilizadas para exploração pecuária, o pisoteio de animais pode alterar as condições físicas e mecânicas do solo afetando o desenvolvimento das culturas, diminuindo a sua produtividade. Estudos desenvolvidos por Coimbra (1998), avaliando o efeito do impacto do animal no solo de áreas de plantio direto em sistema de integração lavoura pecuária, referente aos parâmetros físicos do solo e avaliados nos meses seguintes ao pastejo, mostraram que os efeitos negativos do pisoteio são rapidamente revertidos após o cultivo da lavoura de verão, representada no caso pelo milho.

Feito essas considerações, justifica-se o tema central deste trabalho, cujo objetivo geral é estudar o comportamento das características físicas do solo das áreas cultivadas no município Riacho dos Cavalos/PB, submetidos ao sistema de produção integrada lavoura-pecuária, utilizando a cultura do milho.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em uma propriedade rural da região semi-árida do nordeste do Brasil, utilizando o sistema de integração lavoura-pecuária, situada no Município de Riacho dos Cavalos - PB, localizado a 06°26'34" S e 37°39'03" W com altitude de 200m e precipitação pluviométrica anual de 850mm.

A área estudada foi utilizada como um sistema de pastejo por mais de 10 anos consecutivo, para criação de gado leiteiro. Antes do sistema de pastejo, a área foi cultivada com as culturas de milho e feijão em pequena escala, sendo estas culturas realizadas num sistema consorciado sem rotação de cultura, e com a utilização do sistema de tração animal.

Foram coletadas amostras de solos nas camadas de 0,0 a 5,0 cm; 5,0 a 10,0 cm e 10,0 a 20,0 cm, em duas áreas (A1 e A2) com 0,25 ha cada, durante dois períodos. O primeiro período refere-se aquele em que a área foi utilizada para pastagem de vinte animais, utilizando bovinos de peso vivo médio de 700 kg durante seis meses. O segundo período refere-se à implantação da cultura do milho, tendo inicio em abril de 2010 com um ciclo de produção até julho do mesmo ano. Em função da baixa quantidade de chuvas na região (índice pluviométrico) neste período, a cultura não teve um pleno desenvolvimento, não

conseguindo finalizar o seu ciclo produtivo.

Foram coletadas 3 amostras para cada área estudada, em seguida, essas amostras foram transportadas para a UFERSA, onde foram analisados as propriedades físicas do solo que servem como parâmetros de caracterização da compactação.

Os parâmetros analisadas foram: Densidade do solo, densidade de partícula e porosidade textural e estrutural do solo. As análises foram realizadas no Laboratório de Dinâmica da Interação solo-máquina.

O teor de água do solo foi determinado por ocasião de cada amostragem feita, nas camadas de 0,0 a 5,0 cm, 5,0 a 10,0 cm e 10,0 a 20,0 cm. O teor de água foi avaliado em termos gravimétricos.

- 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:

$$\rho_s = M_S / V_c \quad (1)$$

Em que:

ρ_s representa a densidade do solo, g.cm⁻³;

M_s representa a massa do solo seco, g;

V_c representa o volume do anel volumétrico, cm^3 .

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

- Determinação da densidade de partículas

A densidade de partícula foi determinada pelo método do picnômetro com água (STENGEL, 1983), para as três camadas analisadas:

- As amostras de solo foram secas ao ar e peneirada sem uma peneira de 300 μm ;

- Determinou-se a massa dos picnômetros vazios, e posteriormente completados com água destilada à temperatura de 24° C;

- Em seguida, 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:

$$\rho_p = (m_1 - m_0) / [(m_3 - m_0) - (m_2 - m_1)] \quad (2)$$

Em que:

ρ_p é a densidade de partícula, em $g.cm^{-3}$;

m_0 é a massa do picnômetro vazio, em g;

m_1 é a massa do picnômetro com solo após ser seco em estufa, em g;

m_2 é a massa do picnômetro com solo e água, em g;

m_3 é a massa do picnômetro com água, em g.

- Porosidade textural

As amostras de solo coletadas foram secas ao ar durante duas semanas e peneiradas em agregados de diâmetros de $2 < \varnothing < 3,35$ mm. A escolha desses agregados é fundamentada sobre a hipótese de que são suficientemente pequenos e contem uma porosidade que é essencialmente de origem textural (FIES e STENGEL 1981, SILLON, 1999). Medindo-se a porosidade de tais agregados que são fixados na sua maior parte em dimensões entre 2 e 3 mm, pode-se estimar a porosidade textural (SILLON, 1999, LEON-GONZALEZ, 1991).

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 é expressa em termos de índice de vazios determinada pela equação seguinte:

$$e^T = e^t + e^s \quad (3)$$

Em que

e^T é o índice de vazios total;

e^t é o índice de vazios textural;

e^s é o índice de vazios estrutural.

O índice de vazios total foi calculado por:

$$e^T = (\rho_p / \rho_s) - 1 \quad (4)$$

Em que:

ρ_p é a densidade de partícula, g.cm^{-3} ;

ρ_s é a densidade do solo, em g.cm^{-3} .

O índice de vazios textural foi calculado pela equação seguinte:

$$e^t = (\rho_p / \rho_d^a) - 1 \quad (5)$$

Em que:

ρ_d^a é a densidade de agregados, g.cm^{-3} ,

A densidade dos agregados ou textural (ρ_d^a) foi determinado em função do teor de água do solo nas frações de agregados de 2 a 3,35 mm usando o método dos agregados impermeabilizados em querosene (MONNIER et al., 1973 e

STENGEL, 1983). Os agregados foram saturados, em um saturador, dispondo-se aproximadamente 120 gramas dos agregados separados em duas partes, sobre um papel absorvente em um pano de algodão envolvido em uma cápsula porosa de cerâmica perfurada, imerso na água dentro do saturador: este foi ligado por uma bomba de vácuo com pressão de 2,5 atm, durante 24 horas de saturação.

Após a saturação, os agregados foram retirados e dispostos em uma câmara isolada termicamente com sílica gel seca a estufa a 105 °C. A cada 20 minutos uma amostra de aproximadamente 2 gramas foi retirada, pesada e imersa em querosene até que fosse retirada todos agregados no processo retirada de água. Todas as amostras imersas ficaram em repouso durante 24 horas.

Em seguida, foi realizado o processo de determinação do peso hidrostático dos agregados postos em uma pequena tela suspensa em um pendulo, utilizando um Becker de 400 ml de querosene sobre uma balança de precisão.

Após o processo de pesagem os agregados foram postos em cápsulas e secados em estufa a 105 °C durante 24 horas, para determinação do teor de água e massa de agregados secos. Com os valores obtidos durante todo esse processo, foi determinado o valor da densidade de agregados.

- Porosidade estrutural

A porosidade estrutural foi expressa em termos de índice de vazios estrutural pela equação seguinte:

$$e^s = e^T - e^t \quad (6)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Carbono Orgânico

A Tabela 1 mostra os valores granulométricos e de carbono orgânico dos solos originais. Eles contêm maior percentagem de areia e pequena quantidade de argila. Estes resultados por si só dificultam a análise da porosidade textural com relação a intensidade de compactação do solo, uma vez que esta está relacionada com a variação do teor de argila que causa variação na porosidade textural, segundo

interpretação de Bruand e Cousin (1995). A média mais alta de carbono orgânico (18,86 e 14,55 g kg⁻¹) ocorreu na camada de profundidade de 10 a 20 cm, que é provavelmente o resultado de atividade constante tanto da flora como da fauna do solo sobre um longo período, e ausência da mobilização desta camada de solo. A baixa quantidade de carbono orgânico (9,49 e 10,78 g kg⁻¹) na camada superficial de 0 a 5,0 cm está provavelmente relacionada a decomposição de resíduos de pastagens pobre em matéria orgânica e fácil combustão da mesma frente a elevada temperatura de verão, indicando um sério declínio na qualidade da estrutura do solo conforme relato de Loveland e Webb (2003).

Tabela 1. Granulometria e carbono orgânico (g kg⁻¹) do solo investigado.

Camada do solo (cm)	A1					A2				
	Argila	Silte	F	G	O	Argila	Silte	AF	AG	CO
0 - 5	120	210	30	240	10,78	90	150	430	330	9,49
5 - 10	190	250	370	190	14,22	220	40	420	320	9,91
10 - 20	100	130	430	340	18,86	210	120	400	270	14,55

Densidade do solo

A tabela 2 mostra os valores de densidade do solo nas camadas 0,0 a 5,0 cm; 5,0 a 10,0 cm e 10,0 a 20,0 cm após o período de pastagem, e após a colheita do milho, nas áreas estudadas (A1 e A2).

As áreas utilizadas durante o período de pastagens produziram maior densidade do solo do que quando foi empregado o sistema de cultivo. No que se refere ao sistema pastagem verifica-se que a densidade foi maior na área 1 (1,65 e 1,55 g cm⁻³) na camada de 0 a 5 cm

comparando com a área 2. Isto pode ser atribuído à maior concentração de animais nesta área ao longo do tempo em função do processo natural de maior distribuição de pastagem e maior teor de argila e silte e menor densidade de partícula mostrados, respectivamente, nas tabelas 1 e 2. Após a implantação do sistema de cultivo com milho ocorreu redução sensível na densidade do solo em todas as camadas, principalmente, nas camadas de 0 a 5 cm e de 5 a 10 cm sendo mais forte na camada

de 0 a 5 cm, respectivamente, 1,65 para 1,30 g cm⁻³ A1 e 1,55 para 1,35 g cm⁻³ A2, uma redução de 0,35 g cm⁻³ em A1 e de 0,20 g cm⁻³ em A2. As diferenças nas densidades no perfil do solo com a mudança do sistema de cultivo resultaram como indicadores úteis de resposta da mobilização do solo tanto pelo preparo do solo como pela ação das atividades do sistema radicular do milho e pelas atividades microbiológicas.

Tabela 2. Densidade do solo (g cm⁻³) após o período de pastagem e após a colheita de milho.

Camada do solo (cm)	Após o período de pastagem			Após a colheita do milho			Densidade de partícula (g cm ⁻³)		
	A1	A2	Média	A1	A2	Média	A1	A2	Média
0,0 - 5,0	1,65	1,55	1,60	1,30	1,35	1,33	2,31	2,54	2,43
5,0 - 10,0	1,59	1,42	1,51	1,42	1,37	1,40	2,44	2,71	2,58
10,0 - 20,0	1,65	1,58	1,62	1,53	1,36	1,45	2,48	2,64	2,56

Índice de vazios estrutural do solo

A tabela 4 evidencia a evolução da porosidade estrutural média do solo (índice de vazios estrutural médio) durante os períodos de amostragens do solo. O índice de vazios estrutural do solo aumentou fortemente com a conversão do sistema de pastagem para o sistema de cultivo com milho, em todas as camadas analisadas. A camada de 0,0 a 5,0 cm apresentou um acréscimo mais acentuado, com diferenças de 0,38 cm³ cm⁻³ para A1 e 0,24 cm³ cm⁻³ para A2, indicando uma forte melhora na aeração da estrutura do solo. Menores mudanças na porosidade ocorreram nas

camadas mais inferiores, especialmente, na camada de 10 a 20 cm em todas as áreas do experimento. Note-se que a área 2 produziu maior índice de vazios estrutural nas três camadas de profundidades em estudo com relação a área 1 com maior índice de 0,596 cm³ cm⁻³ para camada de 0 a 5 cm. O forte aumento na porosidade estrutural pode está associado a um crescimento na porosidade textural, especialmente na camada de 0 a 5 cm (Figura 1 A2) e densidade de partícula relativamente baixa relacionada com as camadas de 5 a 10 cm e de 10 a 20 cm (tabela 2).

Tabela 3. Índice de vazios estrutural (e^s , %) nos períodos após a pastagem e após a colheita de milho.

Camada do solo (cm)	Após o período de pastagem			Após a colheita do milho		
	A1	A2	Média	A1	A2	Média
0,0 - 5,0	0,144	0,356	0,250	0,524	0,596	0,560
5,0 - 10,0	0,230	0,348	0,289	0,412	0,420	0,416
10,0 - 20,0	0,218	0,171	0,195	0,334	0,440	0,383

Porosidade textural do solo

A porosidade textural do solo é discutida usando o volume específico de agregados em função do teor de água para cada camada do solo (Figura 1). As curvas apresentam o domínio hídrico desses agregados em três faixas que se distinguem pela condição de viscosa, frágil e sólida. Na fase sólida os agregados apresentam resistência superior às forças externas, não permitindo deformação do solo por compressão (SILLON, 1999). Neste caso apenas existe uma acomodação entre suas partículas. Todas as curvas apresentam o mesmo comportamento, embora o solo A1 tenha apresentado faixa maior de agregados no domínio frágil que o A2, com uma variação média de 6 a 18%. Nesta fase os agregados se acomodam com maior rapidez apresentando menor resistência as forças externas, entretanto não ocorrem

fraturas entre eles. Nesta fase o solo pode ser trabalhado sem sofrer danos na sua estrutura. Para uma gama de variações de teor de água superior a 18% não existe diferença entre volume específico nas camadas de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm evidenciando um ponto de entrada de ar e saída de retirada de água na inflexão da curva. Por outro lado pode-se constatar nas duas camadas de solo um volume específico de agregados mais elevado. Este resultado pode ter como origem a presença de uma porosidade estrutural ou uma alteração no volume poral textural ligado á compactação do solo. A partir das equações apresentadas para cada fase, pode-se conhecer a parte frágil dos agregados no intervalo do teor de água conhecido e, desta forma, controlar o tráfego de máquinas agrícolas no campo.

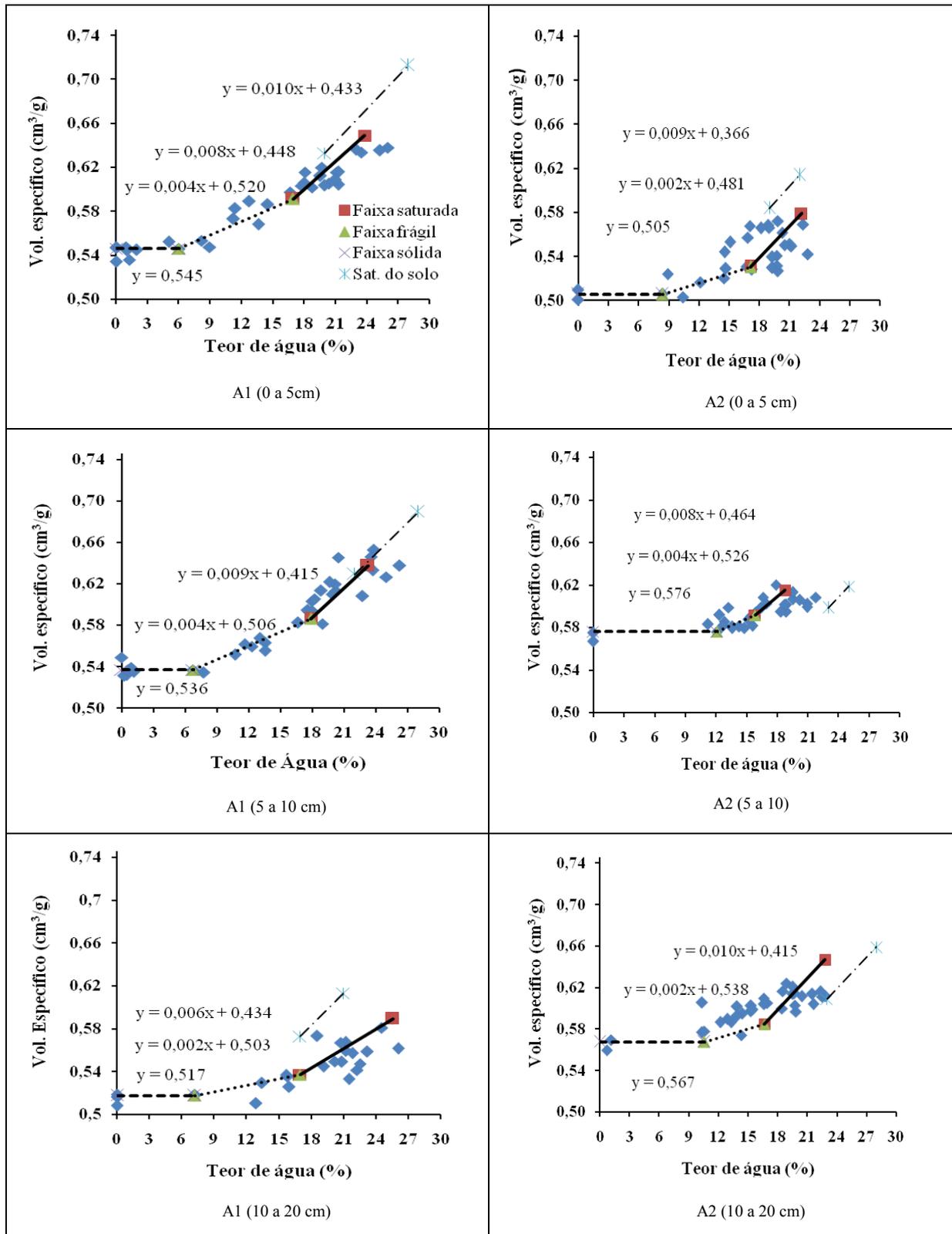


Figura 1. Curvas de volume específico de agregados de 2 a 3,35 mm para camadas do solo de 0 a 5 cm, 5 a 10 c, e de 10 a 20 cm, em função do teor de água para solos sob cultura de milho.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para as condições estudadas mostram que:

- A implantação do sistema de cultura após o período de sistema pastagem melhorou a estrutura do solo, reduzindo a densidade com aumento na porosidade estrutural, principalmente, nas camadas do solo nas profundidades de 0 a 5 cm e de 5 a 10 cm.
- O sistema de integração lavoura-pecuária indicou redução da compactação do solo, revelando uma boa prática de conservação do solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo financiamento do projeto sendo que através deste, foi possível a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

ANDREOLLA, V. R. M. **Eficácia de sulcadores de uma semeadora-adubadora e suas implicações na cultura da soja e nos atributos físicos de um Latossolo sob integração Lavoura-pecuária.** Cascavel, 2005. 147 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Agrícola – Engenharia de Sistemas Agroindustriais) –

Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

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. Viçosa, v.29, p.425-435, 2005.

BRUAND, A. COUSIN, I. **Variation of textural porosity of a Clay-loam soil during compaction.** *European Journal of Soil Science*, n. 4, p. 377-385, 1995.

COIMBRA, C.H. **Avaliação da compactação de um Latossolo Bruno utilizado em integração lavoura-pecuária.** 1998. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Manual de métodos de análise do solo.** Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.

LARSON, W.E. et al. **Compression of agricultural soils from eight soils orders.** *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.44, n.3, p.450-557, 1980.

LEON-GONZALEZ, F. **Morphologie, propriétés physiques et conditions de formation des éléments structuraux de la couche laborée: contribution à l'interprétation du profil cultural.** 133 f. Thèse (Docteur Ingénierie)-INA-PG. Paris, 1991.

- LOVELAND, P. WEBB, J. **Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions : a review.** Soil and Tillage Research, n. 70, p. 1-18, 2003, Amsterdam.
- 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.
- MORAES, A. et al. **Integração lavoura-pecuária no sul do Brasil.** In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 2002, Pato Branco. Anais... Pato Branco: CEFET-PR, 2002. p. 3-42.
- PANIGATTI, J.L. **Las rotaciones agrícolas conpastura em la pampa húmeda de Argentina.** Revista INIA de Investigaciones Agronómicas, Montevideo, v.1, n.2, p.215-225, 1992.
- 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, n. 58, p. 34-44, 2007.
- QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, M.A.C. **Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados.** Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v.35, p.929- 938, 2000.
- SALTON, J.C. et al. **Pastoreio de aveia e compactação do solo.** Revista Plantio Direto, Passo Fundo, v.69, p.32-34, 2002.
- SILLON, Jean François. **Étude expérimentale et modélisation des effets de la structure de la couche labourée sur le régime hydrique du sol nu en phase de dessèchement : Application à la prévision des jours disponibles.** 223 p Thèse (Docteur Ingénierie)-INA-PG. Paris, 1999.
- SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 24, p. 199-199. 2000.
- SMITH, C.W. et al. **Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soils. II. Soil properties affecting compactibility and compressibility.** Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.43, n.3/4, p.335-354, 1997.
- SOANE, B.D. VAN OUWERKERK, C. **Soil compaction problems in world agriculture.** Soil Compaction and Crop Production. 11ed. Amsterdam. Elsevier, 1994. p. 1-21.
- STENGEL, P. **Analyse de la porosité.** In : Rapport, séminaire CEE – Agrimed, 1983, Avignon. INRA Science du Sol, Montfavet, Document Interne, 1983. 54p.
- TAYLOR, H.M.; BRAR, G.S. **Effect of soil compaction on root development.** Soiland Tillage Research. Amsterdam, v.19, p.111- 119, 1991.

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.

ZIMMER, A. H.; MACEDO, M. C. M.; KICHEL, A. N.; EUCLIDES, V. B. P. **Sistemas Integrados de Produccion Agropastoril.** In: GUIMARÃES, E.; SANZ, J. I.; RAO, I. M.; AMEZQUITA, M. C., AMEZQUITA. E. Publicación CIAT n. ° 313, p. 245-283. 1999.