

SEÇÃO I - FÍSICA DO SOLO

DENSIDADE DE UM PLANOSSOLO SOB SISTEMAS DE CULTIVO AVALIADA POR MEIO DA TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA DE RAIOS GAMA⁽¹⁾

Adilson Luís Bamberg⁽²⁾, Eloy Antonio Pauletto⁽³⁾⁽⁷⁾, Algenor da Silva Gomes⁽⁴⁾, Luís Carlos Timm⁽⁵⁾⁽⁷⁾, Luiz Fernando Spinelli Pinto⁽³⁾, Ana Cláudia Rodrigues de Lima⁽³⁾ & Thiago Rech da Silva⁽⁶⁾

RESUMO

A sustentabilidade do arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado em solos de várzea está alicerçada na utilização da rotação e sucessão de culturas, fundamentais para o controle do arroz-vermelho e preto. Os reflexos sobre os atributos dos solos de várzea merecem estudos em especial sobre a compactação do solo. O objetivo deste trabalho foi identificar camadas compactadas em Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo e preparo, avaliando-se a densidade do solo (Ds) pela Tomografia Computadorizada de Raios Gama (TC). A análise foi realizada em um experimento de longa duração, conduzido de 1985 a 2004, na Estação Experimental da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, num delineamento experimental em blocos ao acaso, com sete tratamentos, cada um com quatro repetições (T1 - um ano de arroz com preparo convencional do solo seguido de dois anos de pousio; T2 - cultivo contínuo de arroz com preparo convencional do solo; T3 - rotação de arroz e soja (*Glycine max* L.) com preparo convencional do solo; T4 - rotação de arroz, soja e milho (*Zea mays* L.) em preparo convencional do solo; T5 - plantio direto de arroz no verão em sucessão do azevém (*Lolium multiflorum* L.) no inverno; T6 - rotação de arroz sob plantio direto e soja sob preparo convencional do solo; T7 - rotação de arroz sob plantio direto e soja sob preparo convencional do solo; T8 - testemunha: solo sem cultivo). A Tomografia

⁽¹⁾ Parte da Dissertação do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas – PPGA/UFPel. Recebido para publicação em janeiro de 2009 e aprovado em junho de 2009.

⁽²⁾ Doutorando do PPGA, Área de Concentração em Solos, Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas – PPGA/UFPel. Caixa Postal 354, CEP 96010-900 Pelotas (RS). Bolsista da Capes. E-mail: adillbamberg@hotmail.com

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, FAEM/UFPel. E-mails: pauletto@ufpel.edu.br; lfs-pin@ufpel.edu.br; anaclima@hotmail.com

⁽⁴⁾ Pesquisador da EMBRAPA – Centro de Pesquisa Agropecuária Clima Temperado, Estação Experimental Terras Baixas. Caixa Postal 403, CEP 96001-970 Pelotas (RS). E-mail: algenor@cpact.embrapa.br

⁽⁵⁾ Professor do Departamento de Engenharia Rural, FAEM/UFPel. E-mail: lctimm@ufpel.edu.br

⁽⁶⁾ Estudante de Agronomia, FAEM/UFPel. Bolsista da FAPERGS. E-mail: thiago_cccp@hotmail.com

⁽⁷⁾ Bolsista do CNPq.

Computadorizada de Raios Gama permitiu detectar que o plantio direto de arroz no verão em sucessão do azevém no inverno não resultou na formação de camadas compactadas; a utilização de dois anos de pousio, no sistema de produção de arroz irrigado, não foi suficiente para evitar a formação de uma camada superficial compactada; e a rotação de arroz, soja e milho com preparo convencional do solo apresentou duas camadas compactadas (0,0 a 1,5 cm e 11 a 14 cm), indicando que essas podem limitar a produção agrícola nesse sistema de produção em Planossolos.

Termos de indexação: compactação, sistemas de cultivo, solos de várzea, arroz irrigado.

SUMMARY: BULK DENSITY OF AN ALFISOL UNDER CULTIVATION SYSTEMS IN A LONG-TERM EXPERIMENT EVALUATED WITH GAMMA RAY COMPUTED TOMOGRAPHY

*The sustainability of irrigated rice (*Oryza sativa* L.) in lowland soils is based on the use of crop rotation and succession, which are essential for the control of red and black rice. The effects on the soil properties deserve studies, particularly on soil compaction. The objective of this study was to identify compacted layers in an Albaqualf under different cultivation and tillage systems, by evaluating the soil bulk density (Ds) with Gamma Ray Computed Tomography (TC). The analysis was carried out in a long-term experiment, from 1985 to 2004, at an experimental station of Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, Brazil, in a random block design with seven treatments, with four replications (T1 - one year rice with conventional tillage followed by two years fallow; T2 - continuous rice under conventional tillage; T4 - rice and soybean (*Glycine Max* L.) rotation under conventional tillage; T5 - rice, soybean and corn (*Zea maize* L.) rotation under conventional tillage; T6 - rice under no-tillage in the summer in succession to rye-grass (*Lolium multiflorum* L.) in the winter; T7 - rice under no-tillage and soybean under conventional tillage rotation; T8 - control: uncultivated soil). The Gamma Ray Computed Tomography method did not identify compacted soil layers under no-tillage rice in succession to rye-grass; two fallow years in the irrigated rice production system did not prevent the formation of a compacted layer at the soil surface; and in the rice, soybean and corn rotation under conventional tillage two compacted layers were identified (0.0 to 1.5 cm and 11 to 14 cm), indicating that they may restrict the agricultural production in this cultivation system on Albaqualf soils.*

Index terms: compaction, cultivation systems, lowland soils, irrigated rice.

INTRODUÇÃO

Dentre as classes de solos de várzea do Rio Grande do Sul (RS), os Planossolos predominam, compreendendo aproximadamente 3 milhões de hectares. Pelo fato de serem áreas contínuas e planas, apresentarem horizonte B adensado e praticamente impermeável (Pinto et al., 2004), as perdas de água por percolação profunda são desprezíveis, a irrigação por alagamento é facilitada e o cultivo de arroz irrigado amplamente favorecido, especialmente após a sistematização do solo (Parfitt et al., 2004).

Um dos problemas que têm limitado o aumento da produtividade arrozeira e a redução de custos é a infestação das lavouras por invasoras, como a do arroz-vermelho e preto (Villa et al., 2006). A sustentabilidade agrícola dos sistemas de produção que priorizam o arroz irrigado em solos de várzea depende

da utilização de espécies resistentes aos herbicidas e, ou, do uso de diversas ações integradas, como diferentes sistemas de manejo com o emprego de culturas de sequeiro em rotação e sucessão de culturas ao arroz irrigado (Agostinetto et al., 2001; Gomes et al., 2004). No entanto, quando os Planossolos são cultivados com culturas de sequeiro, há dificuldade no crescimento e desenvolvimento das plantas. Suas condições físicas naturalmente desfavoráveis são apontadas como as maiores causas. Como exemplos, podem ser citados a baixa porosidade, a alta relação micro/macroporos do solo e a falta de aeração às raízes, além de encharcamento nos períodos chuvosos e elevada energia de retenção da água no solo nas estiagens (Pauletto et al., 2004).

Essas condições naturais desfavoráveis são frequentemente agravadas por desagregação e desestruturação do solo (Palmeira et al., 1999), de

compactação subsuperficial (Pedrotti et al., 2005) e encrostamento superficial. Problemas dessa natureza têm sido intensificados por atividades de preparo do solo e tráfego de máquinas agrícolas, frequentemente executadas com o solo fora da faixa de consistência friável. Estudos comprovam também que a utilização de sistemas de cultivo com alto revolvimento em solos de várzea, ao longo do tempo, provoca danos à qualidade física do solo, como é o caso do plantio convencional (Anders et al., 2005) e do pré-germinado (Kukul & Aggarwal, 2003).

A compactação é apontada como um dos fatores que mais limita a produtividade agrícola (Hamza & Anderson, 2005). Para a identificação de camadas compactadas provocadas por diferentes sistemas de cultivo, utiliza-se a densidade do solo (Ds) como indicador do grau de sua compactação (Camargo & Alleoni, 1997).

Em solos de várzea nem sempre é fácil determinar a Ds. Processos de contração do solo provocam variações significativas nos valores de Ds obtidos por métodos tradicionais, como o Método do Anel Volumétrico (Biassusi et al., 1999) chegando, em alguns casos, ao surgimento de rachaduras na amostra. Além disso, esse método e outros pressupõem isotropia espacial na amostra e, dessa forma, assume-se que apenas um valor seja representativo da camada em estudo, sendo insensível à variabilidade interna (Crestana et al., 1991).

O Método da Tomografia Computadorizada (TC) de Raios X e Gama destaca-se por ser mais adequado, eficiente, exato e sensível, possibilitando melhor grau de detalhamento dos resultados (Pedrotti et al., 2001). Uma grande vantagem em relação ao Método do Anel Volumétrico é a eliminação de altos valores de Ds, que eventualmente surgem no ato da amostragem nas bordas de contato do solo com as paredes internas dos cilindros amostradores (Pires et al., 2004, 2005). Esse método também é capaz de identificar finas camadas compactadas, sem a influência do conteúdo de água no solo, como é o caso do penetrômetro de impacto (Vaz et al., 1992).

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo identificar camadas compactadas em um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo e preparo a partir da avaliação da densidade do solo, utilizando o Método da Tomografia Computadorizada de Raios Gama.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em 1985, na Estação Experimental de Terras Baixas (EETB) da EMBRAPA Clima Temperado em Capão do Leão, RS, Brasil, cujas coordenadas são: 31° 49' 27" S e 52° 26' 35" W. A área situa-se na região fisiográfica da Planície Costeira, numa zona de deposições lagunares e fluviais do início

da planície alta, com altitude aproximada de 13 m. O solo foi classificado como Planossolo Háplico eutrófico solódico, com argila de atividade alta, textura média/argilosa e relevo plano (Embrapa, 2006), pertencente à Unidade de Mapeamento Pelotas (Brasil, 1973).

A caracterização química (Santos, 2006) e física da camada arável do solo (0–20 cm) que compõe a área experimental é apresentada no quadro 1. O teor de Matéria Orgânica (MO) foi determinado pelo Método Walkley-Black, conforme Alison (1965). Nitrogênio total, cátions trocáveis (Ca, Mg, Na, Al, e Mn) e pH em água foram determinados de acordo com Tedesco et al. (1995). Fósforo e K extraíveis foram determinados pelo Método Mehlich-1, descrito em Tedesco et al. (1995). Para a acidez potencial, H + Al foram extraídos com acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ (pH 7,0), titulando-se com NaOH 0,0125 mol L⁻¹, conforme Embrapa (1997). Para as determinações físicas do solo, as frações de areia, silte e argila foram obtidas pelo Método da Pipeta (Gee & Bauder, 1986). As demais determinações físicas do solo foram realizadas conforme Embrapa (1997).

O clima da região, conforme a classificação de Köppen é o Cfa (C: clima mesotérmico quente, com média do mês mais frio entre 3 e 18 °C; f: precipitação média mensal não inferior a 60 mm em todos os meses – sempre úmido; a: temperatura do mês mais quente do ano superior a 22 °C – verão quente).

O experimento foi realizado ao longo de 19 anos utilizando o delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições. Cada bloco foi

Quadro 1. Caracterização química e física da camada arável do solo da área experimental, em condições naturais

Característica	Camada	
	0–5	5–20
	cm	
pH H ₂ O (1:2,5)	4,8	4,8
N total (g kg ⁻¹)	2,3	0,8
P extraível (mg dm ⁻³)	31,1	4,7
K extraível (mg dm ⁻³)	138,0	33,3
Ca ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	38,9	25,1
Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	31,3	27,5
Na ⁺ (mmol _c dm ⁻³)	2,8	2,8
Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	16,9	17,1
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	92,8	61,1
CTC potencial (mmol _c dm ⁻³)	169,2	117,3
V (%)	46,2	48,5
MO (g kg ⁻¹)	49,3	13,4
	0–10	10–20
Areia (g kg ⁻¹)	456	469
Silte (g kg ⁻¹)	398	379
Argila (g kg ⁻¹)	146	152
Porosidade total (cm ³ cm ⁻³)	0,46	0,37
Macroporosidade (cm ³ cm ⁻³)	0,10	0,07
Microporosidade (cm ³ cm ⁻³)	0,36	0,30
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,48	1,71
Densidade de partículas (g cm ⁻³)	2,59	2,61

inicialmente constituído de oito diferentes sistemas de cultivo e culturas (tratamentos): T1 - sistema tradicional de cultivo de arroz: um ano com preparo convencional do solo seguido de dois anos de pousio; T2 - sistema de cultivo contínuo de arroz com preparo convencional do solo; T3 - sistema de cultivo contínuo de arroz com preparo convencional do solo e controle total de invasoras (herbicidas mais o controle manual); T4 - rotação de arroz e soja com preparo convencional do solo; T5 - rotação de arroz, soja e milho com preparo convencional do solo; T6 - arroz no verão sob plantio direto em sucessão ao azevém no inverno; T7 - rotação de arroz sob plantio direto e soja sob preparo convencional do solo; T8 - testemunha: solo mantido sem cultivo por aproximadamente 40 anos (Quadro 2). O tratamento T3 não foi mais avaliado depois de alguns anos devido às suas semelhanças com o T2, mas decidiu-se manter a nomenclatura original dos tratamentos para facilitar as comparações com trabalhos anteriores a essa modificação. Os tratamentos foram alocados em parcelas de 30 x 20 m, para possibilitar o cultivo com máquinas agrícolas tradicionais, simulando a situação real de campo.

Para os tratamentos que envolveram preparo convencional do solo (T1, T2, T4, T5 e T7), fez-se uma aração com grade aradora até a profundidade máxima de 15 cm, normalmente em setembro ou outubro, além de uma ou duas gradagens niveladoras que atingiram até 10 cm. A sementeira foi realizada com sementeira convencional. Para os tratamentos de plantio direto (T6 e T7), a sementeira foi realizada após a dessecação do azevém e da flora natural (que sucedeu a cultura da soja), respectivamente, utilizando-se uma sementeira específica para tal. Todas as operações foram realizadas com trator de pequeno porte (3,5 Mg).

As adubações e calagens, realizadas a lanço, foram executadas em função das análises de solo, considerando cada tratamento e as exigências

Quadro 2. Cronograma temporal do experimento com os diferentes sistemas de cultivo e culturas utilizadas (tratamentos)

Tratamento	Ano agrícola					
	85/86 91/92 97/98	86/87 92/93 98/99	87/88 93/94 99/00	88/89 94/95 00/01	89/90 95/96 01/02	90/91 96/97 02/03
T1	A	P	P	A	P	P
T2	A	A	A	A	A	A
T4	A	S	A	S	A	S
T5	A	S	M	A	S	M
T6	Az-A ⁽¹⁾	Az -A	Az -A	Az -A	Az -A	Az -A
T7	A	S	A	S	A	S
T8	T	T	T	T	T	T

⁽¹⁾ No primeiro ano de experimento, não houve plantio de azevém antes do arroz. A: arroz; P: pousio; S: soja; M: milho; Az: azevém. T: testemunha. T4 – rotação de arroz e soja com preparo convencional do solo, T7 – rotação de arroz sob plantio direto e soja sob preparo convencional do solo.

nutricionais das diferentes culturas. O controle de plantas daninhas, de doenças e pragas foi realizado conforme a necessidade, utilizando diferentes agroquímicos, de acordo com a sua evolução e lançamento no mercado.

A coleta das amostras de solo foi realizada em agosto e setembro de 2004, antes da implantação das culturas da safra agrícola 2004/2005. Em cada parcela, amostras com estrutura preservada foram coletadas em tubos cilíndricos de PVC (20 cm de altura e 7,79 cm de diâmetro interno), compreendendo a camada de 0 a 20 cm do solo, utilizando o Método do Macaco Hidráulico (Pedrotti et al., 2001). Foram coletadas também amostras de solo com estrutura deformada, as quais foram passadas em peneira de 0,1 cm de abertura de malha e secas em estufa a 105 °C por 24 h, destinadas à determinação dos coeficientes de atenuação linear das camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm.

A Ds foi determinada pelo Método da Tomografia Computadorizada de Raios Gama (Crestana et al., 1992; Vaz et al., 1992; Macedo et al., 2002; Pedrotti et al., 2003), utilizando-se o Minitomógrafo do Laboratório de Tomografia de Solos da FAEM - UFPel. Realizou-se uma varredura completa em cada amostra, no plano que passa pelo seu eixo longitudinal, resultando numa matriz de dados (32 x 32 pixels) de fótons emergentes. Esta matriz passou pelo processo de reconstrução e filtragem, através do Método da Retroprojeção Filtrada, implementado no software MicroVis® (Macedo et al., 2000), resultando numa nova matriz de dados de Unidades Tomográficas (UT), também representável por uma imagem tomográfica. A matriz de valores de UT foi transformada em matriz de dados de coeficientes de atenuação linear utilizando a equação de uma reta de calibração, obtida pela regressão linear entre os coeficientes de atenuação linear de amostras de prova com composição homogênea e valores médios de UT dessas amostras (Pedrotti et al., 2001). Em cada pixel, a Ds foi obtida pela divisão do valor de coeficiente de atenuação linear de cada pixel pelo coeficiente de atenuação em massa de cada tratamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de Ds em função da profundidade do perfil de solo, para cada tratamento e em comparação com a testemunha, são apresentados na figura 1. A TC permitiu detectar, com alto grau de detalhamento, duas camadas compactadas ao longo dos perfis estudados. A primeira, muito fina e localizada na superfície do solo (0 a 1,5 cm), mostra que todos os tratamentos, com exceção do T6, apresentaram valores de Ds significativamente superiores em relação à testemunha (T8). A intensidade desse efeito foi maior em T4 e T5, podendo estar associada a diversos fatores. Condições impróprias de conteúdo de água do solo nas épocas de preparo do

solo e semeadura, induzindo a compactação pelo tráfego de máquinas agrícolas em tais ocasiões, podem ter contribuído para o aumento da Ds. Outros fatores que favorecem este aumento são a drenagem do solo e a sua completa secagem após a colheita do arroz, submetendo o solo aos ciclos de umedecimento e secagem, acomodando as partículas finas do solo nos espaços porosos, diminuindo a porosidade total (Bhagat, 2003). A secagem do solo também modifica o estado de íons de Fe e Mn, que passam da forma reduzida para a oxidada, formando maior quantidade de microagregados que possuem menor quantidade de poros intra-agregados.

A falta de cobertura do solo, expondo a sua superfície ao impacto das gotas das chuvas, pode também ter favorecido a desagregação de agregados pouco estáveis. Associado a isso, os consideráveis teores de Na que naturalmente apresentam os Planossolos solódicos do litoral do RS favorecem a dispersão da fração argila + silte. O resultado é o entupimento dos poros e o aumento da Ds da camada superficial.

Segundo Tripathi et al. (2007), a diminuição do conteúdo de C do solo também aumenta a Ds e a dispersão das partículas da fração argila em água. Para Rosa

et al. (2008), que avaliaram o efeito de sistemas de cultivo e preparo do solo sobre os teores de C orgânico total, nos tratamentos com preparo convencional do solo ocorre a ruptura dos agregados, promovendo a exposição da matéria orgânica à rápida decomposição microbiana, sobretudo no solo com cultura de sequeiro em condições aeróbias.

A segunda camada compactada ocorreu entre 11 e 14 cm, apenas no T5, uma vez que nessa região os demais tratamentos comportaram-se de forma similar à testemunha. Esta compactação pode estar associada à formação de um “pé de grade”, aparentemente no limite inferior da camada de solo removida com a grade aradora durante as operações de preparo do solo, conforme já identificado por Pedrotti et al. (2005) no mesmo tratamento. Resultados semelhantes foram encontrados por Kukal & Aggarwal (2003) avaliando o efeito do tráfego de máquinas em solos indianos cultivados com arroz e trigo. Esses autores observaram que a Ds aumentou de 1,63 para 1,67 g cm⁻³ na camada de 16 a 18 cm e de 1,61 para 1,66 g cm⁻³ na camada de 18 a 20 cm.

Segundo Kirchhof & So (1996), altos valores de Ds em camadas mais profundas dos solos de várzea,

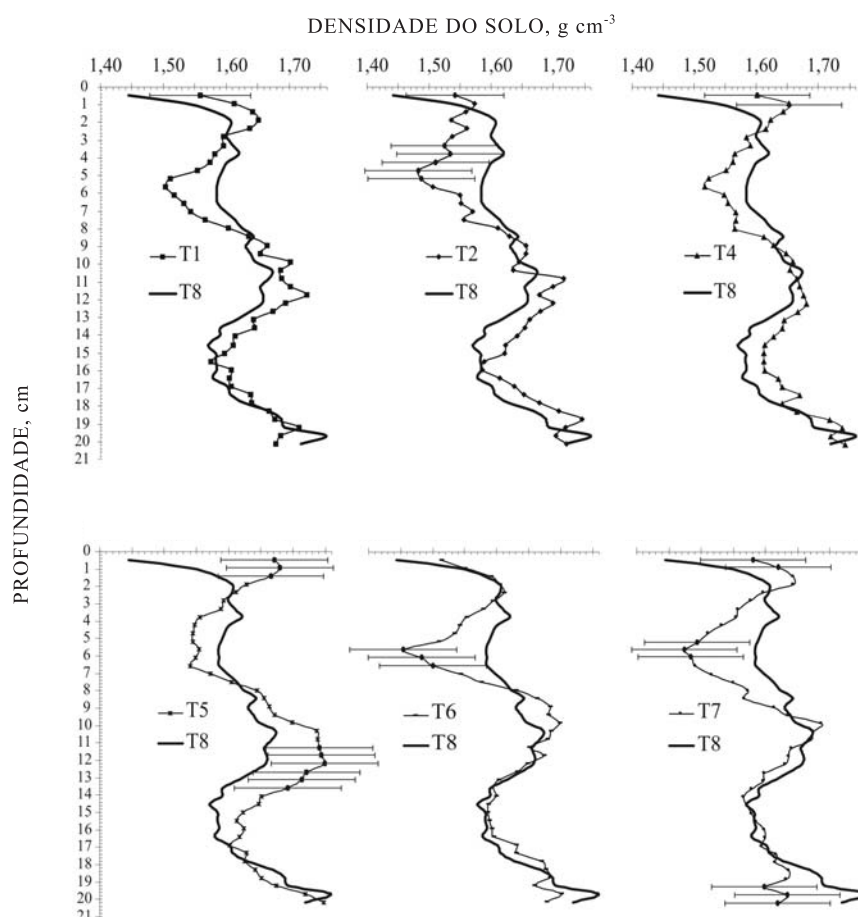


Figura 1. Variação dos valores de densidade do solo ao longo do perfil, em cada um dos tratamentos em comparação com a testemunha, obtidos pela Tomografia Computadorizada de Raios Gama. Barras laterais indicam diferença significativa entre tratamentos, determinada pelo teste de Duncan, a 5 %.

sobretudo abaixo de 30 cm, formam camadas de impedimento às perdas de água e nutrientes por percolação, favorecendo o cultivo de arroz irrigado por inundação. Porém, camadas compactadas entre 0 e 30 cm aumentam a resistência à penetração das raízes, diminuindo o volume de solo explorado e, conseqüentemente, a quantidade de água e nutrientes absorvidos pelas plantas.

Outro fator importante são as características naturais e intrínsecas em Planossolos do RS, como o processo de eluviação-iluviação da fração coloidal, que forma horizontes superficiais A e E com baixa concentração de argila (Quadro 1). Horizontes arenosos dificultam a proteção física da matéria orgânica, estando sujeitos à rápida decomposição dos resíduos culturais, dificultando a formação de macroagregados (Streck et al., 2008). Isso confere também alta suscetibilidade à desagregação, favorecendo o selamento superficial e a descontinuidade dos poros em profundidade.

O efeito da densidade do solo na zona de desenvolvimento radicular afeta consideravelmente a cultura do arroz. Medeiros et al. (2005) avaliaram o efeito da densidade do solo sobre a absorção de N, P, K, matéria seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz de sequeiro, e concluíram que, independentemente do manejo da água, a compactação do solo diminuiu os valores médios de características de planta como a absorção de nutrientes e a produção de matéria seca da parte aérea. Guimarães & Moreira (2001), na avaliação do efeito de valores crescentes de densidade do solo sobre a cultura do arroz de sequeiro, mostraram que o crescimento da parte aérea do arroz diminuiu com o aumento da Ds a partir de 1,2 g cm⁻³. Além disso, na camada compactada, as raízes apresentam engrossamento e diminuição da sua quantidade e comprimento.

Em solos de várzea, o efeito da compactação é muito mais perceptível e limitante para o crescimento radicular de culturas de sequeiro. Estes solos apresentam tipicamente valores de porosidade de aeração que naturalmente limitam o adequado crescimento radicular. Para Lousada et al. (2008), o agravo se dá durante a colheita do arroz em lavouras irrigadas, normalmente executada em elevada umidade do solo, o que comprime e desconforma a superfície. Por isso, a implantação de culturas como a soja e o milho em rotação com o arroz de terras baixas deve ser precedida de etapas de preparo do solo como a escarificação e o aplainamento que causam, após alguns anos, a destruição da estrutura, diminuindo o volume de poros de maior diâmetro.

Na camada de 3 a 7 cm ocorreu uma inversão quanto aos valores de Ds. Quando se compararam todos os tratamentos com T8, os tratamentos T2, T6 e T7 apresentaram valores significativamente inferiores. Este efeito pode estar associado à contínua e intensa incorporação de resíduos vegetais que se concentram nessa camada e que demoram a se

decompor totalmente, como é o caso dos tratamentos com preparo convencional (T2 e T7). Essa demora é intensificada nos tratamentos que ficam submetidos à saturação por água mais prolongada, tornando a oxidação e a ciclagem da matéria orgânica mais lentas.

Como o solo sob o T6 sofreu revolvimento mínimo mediante escarificação, executada pela semeadora apenas quando o azevém ou o arroz foram semeados, mesmo havendo tráfego de máquinas agrícolas sobre o solo nessas ocasiões e nas épocas de colheita, por vários anos seguidos, tais fatores não foram suficientes para gerar camadas compactadas. Outro fato relevante é que a utilização de dois anos de pousio, no sistema de produção de arroz irrigado (T1), não foi suficiente para evitar a formação de uma camada superficial compactada. Pode-se observar ainda que o T5 apresentou duas camadas compactadas ao longo do perfil, que podem limitar a produção agrícola neste sistema de produção em Planossolos.

CONCLUSÕES

1. O plantio direto de arroz no verão em sucessão ao azevém no inverno não resultou na formação de camadas compactadas.
2. A utilização de dois anos de pousio, no sistema de produção de arroz irrigado, não foi suficiente para evitar a formação de uma camada superficial compactada.
3. A rotação de arroz, soja e milho com preparo convencional do solo apresentou duas camadas compactadas (0,0 a 1,5 cm e 11 a 14 cm), que podem limitar a produção agrícola nesse sistema de produção em Planossolos.

AGRADECIMENTOS

À UFPel e à EMBRAPA - Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado, pelo apoio e pela colaboração na realização do experimento e nas análises de solos.

Ao CNPq, à CAPES e à FAPERGS, pela concessão de bolsas de estudo.

LITERATURA CITADA

- AGOSTINETTO, D.; FLECK, N.G.; RIZZARDI, M.A.; MEROTTO JUNIOR, A.M. & VIDAL, R.A. Arroz vermelho: Ecofisiologia e estratégias de controle. Ci. Rural, 31:341-349, 2001.
- ALISON, L.E. Organic carbon. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.1367-1379.

- ANDERS, M.M.; SCHMID, B. & OLK, D.C. Short and long term effects of conservation tillage on soil resistance and aggregate stability in rice production systems. In: BUSSCHER, W. & FREDERICK, J. SOUTHERN CONSERVATION TILLAGE SYSTEM CONFERENCE, 27., Florence, 2005. Proceedings. Florence, Clemson University, 2005. p.102-110.
- BHAGAT, R.M. Rice lands of South and South East Asia, some soil physical aspects. Trieste, College on Soil Physics, 2003. p.48-61.
- BIASSUSI, M.; PAULETTO, E.A. & CRESTANA, S. Estudo da deformação de um Vertissolo por meio da tomografia computadorizada de dupla energia simultânea. R. Bras. Ci. Solo, 23:1-7, 1999.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do RS. Recife, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30)
- CAMARGO, O.A. & ALLEONI, L.R.F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba, Degaspar, 1997.132p.
- CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; VAZ, C.M.P.; CESAREO, R.; MASCARENHAS, S. & REICHARDT, K. Calibração e uso de um tomógrafo computadorizado em ciência do solo. R. Bras. Ci. Solo, 16:161-167, 1992.
- CRESTANA, S.; PESSOA, J.D.C.; TORRE, A.; VAZ, C.M.P. & CALHEIROS, R. Uso da tomografia de dupla energia para medir simultaneamente densidade e umidade de um meio poroso expansivo. In: ENCONTRO SOBRE ESCOAMENTOS EM MEIOS POROSOS, 19., Campinas, 1991. Anais. Campinas, 1991. p.152-162.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- GEE, G.W. & BAUDER, J.W. Particle-size Analysis. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.383-411.
- GOMES, A.S.; PAULETTO, E.A.; VERNETTI JR., F.G. & SOUSA, R.O. Plantio direto e cultivo mínimo em arroz irrigado. In: GOMES, A.S. & MAGALHÃES JR., A.M., eds. Arroz irrigado no sul do Brasil. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.349-386.
- GUIMARÃES, C.M. & MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do arroz de terras altas. Pesq. Agropec. Bras., 36:703-707, 2001.
- HAMZA, M.A. & ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. Soil Till. Res., 82:121-145, 2005.
- KIRCHHOF, G. & SO, H.B., eds. Management of clay soils for rainfed lowland rice-based cropping systems. In: ACIAR INTERNATIONAL WORKSHOP, Camberra, 1996. Proceedings. Camberra, ACIAR, 1996. 259p.
- KUKAL, S.S. & AGGARWAL, G.C. Puddling depth and intensity effects in rice-wheat system on a sandy loam soil. I: Development of subsurface compaction. Soil Till. Res., 72:1-8, 2003.
- LOUZADA, J.A.; CAICEDO, N. & HELFER, F. Condições de drenagem relacionadas ao trânsito de máquinas em solo de várzea (RS-Brasil). R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 12:98-106, 2008.
- MACEDO, A.; JORGE, L.A.C. & CRESTANA, S. Microvis - Programa de Reconstrução e Visualização de Imagens Tomográficas. São Carlos, Embrapa - CNPDIA, 2000. 18p. (Guia do Usuário e Manual de Operação do Minitomógrafo)
- MACEDO, A.; VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M.; CRUVINEL, P. & CRESTANA, S.A. Tomografia computadorizada na avaliação da qualidade física do solo. In: MORAES, M.H.; MÜLLER, M.M.L. & FOLONI, J.S.S., eds. Qualidade física do solo: Métodos de estudo - Sistemas de preparo e manejo do solo. Jaboticabal, FUNEP, 2002. p.47-73.
- MEDEIROS, R.D.; SOARES, A.A. & GUIMARÃES, R.M. Compactação do solo e manejo da água. I: Efeitos sobre a absorção de N, P e K, massa seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz. Ci. Agrotec., 29:940-947, 2005.
- PALMEIRA, P.R.T.; PAULETTO, E.A.; TEIXEIRA, C.F.A.; GOMES, A.S. & SILVA, J.B. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. R. Bras. Ci. Solo, 23:189-195, 1999.
- PARFITT, J.M.B.; SILVA, C.A.S. & PETRINI, J.A. Estruturação e sistematização da lavoura de arroz irrigado. In: GOMES, A.S. & MAGALHÃES JR., A.M., eds. Arroz irrigado no sul do Brasil. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.237-257.
- PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S. & PINTO, L.F.S. Física de solos de várzea cultivados com arroz irrigado. In: GOMES, A.S. & MAGALHÃES JR., A.M., eds. Arroz irrigado no sul do Brasil. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.119-142.
- PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; TURATTI, A.L. & CRESTANA, S. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e a compactação de um Planossolo. Pesq. Agropec. Bras., 36:709-715, 2001.
- PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M. & SILVA, A.M. Planosol soil sample size for computerized tomography measurement of physical parameters. Sci. Agric., 60:737-740, 2003.
- PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; CRESTANA, S.; HOLANDA, F.S.R.; CRUVINEL, P.E. & VAZ, C.M.P. Evaluation of bulk density of Albaqualf soil under different tillage systems using the volumetric ring and computerized tomography methods. Soil Till. Res., 80:115-123, 2005.
- PINTO, L.F.S.; LAUS NETO, J.A. & PAULETTO, E.A. Solos de várzea do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. In: GOMES, A.S. & MAGALHÃES JR., A.M., eds. Arroz irrigado no Sul do Brasil. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.75-95.
- PIRES, L.F.; ARTHUR, R.C.J.; CORRECHEL, V.; BACHI, O.O.S.; REICHARDT, K. & CAMPONEZ DO BRASIL, R.P. The use of gamma ray computed tomography to investigate soil compaction due to core sampling devices. Braz. J. Physics, 34:728-731, 2004.

- PIRES, L.F.; PILOTTO, J.E.; TIMM, L.C.; BACHI, O.O.S. & REICHARDT, K. Qualitative and quantitative analysis of soil samples by computerized tomography, R. Public., 11:7-15, 2005.
- ROSA, C.M.; CASTILHOS, R.M.V.; DICK, D.P.; PAULETTO, E.A. & GOMES, A.S. Teor e qualidade de substâncias húmicas de Planossolo sob diferentes sistemas de cultivo. Ci. Rural, 38:1589-1595, 2008.
- SANTOS, N.M.L. Parâmetros químicos da fertilidade de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo após dezenove anos. Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, 2006. 56p. (Tese de Mestrado)
- STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E. & PINTO, L.F.S. Solos do Rio Grande do Sul. 2.ed. Porto Alegre, Emater/RS, 2008. 222p.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5)
- TRIPATHI, R.P.; SHARMA, P. & SINGH, S. Influence of tillage and crop residue on soil physical properties and yields of rice and wheat under shallow water table conditions. Soil Till. Res., 92:221-226, 2007.
- VAZ, C.M.P.; CRESTANA, S. & REICHARDT, K. Tomografia computadorizada na avaliação da compactação do solo. R. Bras. Ci. Solo, 16:153-159, 1992.
- VILLA, S.C.C.; MARCHEZAN, E.; MASSONI, P.F.S.; SANTOS, F.M.; AVILA, L.A.; MACHADO, S.L.O. & TELO, G.M. Controle de arroz-vermelho em dois genótipos de arroz (*Oryza sativa*) tolerantes a herbicidas do grupo das imidazolinonas. Planta Daninha, 24:549-555, 2006.