

# QUALIDADE FÍSICA DE SOLOS IRRIGADOS POR ASPERSÃO NO BRASIL

C. Jose Michelin, R. Carlesso, M. Teresinha Petry, T. Taschetto Fiorin e P. Ivonir Gubiani

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)  
Santa Maria, RS, Brasil  
cleudsonjose@gmail.com

**Resumo:** As áreas irrigadas caracterizam-se pela intensificação dos cultivos, e por consequência, uma intensa utilização do solo. Isso resulta em uma maior pressão de degradação da estrutura do solo, ocasionando muitas vezes a compactação dos mesmos. O objetivo do trabalho foi realizar a caracterização física dos solos irrigados de algumas regiões brasileiras, com vistas a promover uma base de informações para orientar a tomada de decisões relativas ao manejo de áreas irrigadas. O trabalho foi conduzido em áreas irrigadas por aspersão (pivô central) nas principais regiões irrigadas do Brasil. Os perfis dos solos foram divididos em três camadas, superficial, intermediária e inferior. As amostras de solo foram coletadas na porção mediana de cada camada e realizou-se as seguintes determinações: textura do solo, densidade do solo (Ds) e de partículas e porosidade. Os solos foram agrupados em faixas de teor de argila e estabeleceu-se um valor crítico de Ds e de macro (macro) para cada faixa de argila, acima do qual (Ds) e abaixo do qual (macro), a amostra de solo foi caracterizada como compactada. Do total das áreas amostradas no Estado do Rio Grande do Sul, 66,5 % apresentaram compactação do solo na camada superficial, 20,5 % na camada intermediária e, 9,5 % na camada inferior (Figura 1).

## INTRODUÇÃO

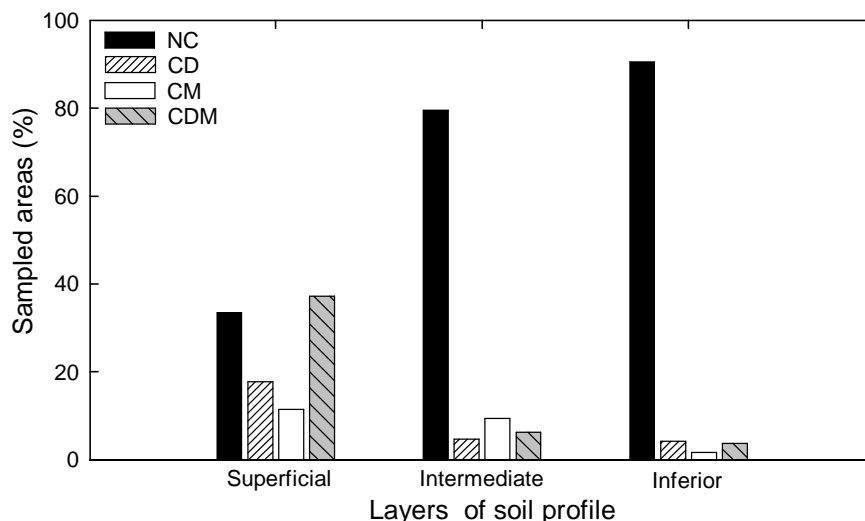
O potencial de áreas para o desenvolvimento da irrigação no Brasil é estimado em 14,6 milhões de hectares em terras altas e de 14,9 milhões de hectares em várzeas, totalizando 29,5 milhões de hectares (Christofidis, 1999). Ainda, segundo o autor, desse total, apenas 2,090 milhões de hectares encontram-se sob irrigação em terras altas e 1,059 em várzeas, totalizando 3,149 milhões de hectares, representando 10,7 % do potencial de solos aptos para agricultura irrigada.

O método de irrigação por superfície continua sendo o mais utilizado no país, com cerca de 1,7 milhões de hectares (59 %) predominante nas regiões Norte e Sul, enquanto a irrigação por aspersão prevalece nas demais regiões (35 %) e a localizada representa a menor área, com 182 mil ha (Christofidis, 1999).

Considerando a irrigação realizada pelo método de aspersão via pivô central, o Brasil apresen-

ta aproximadamente 650.000 ha irrigados (Christofidis, 2002b). Ainda, segundo o autor, o Estado de São Paulo apresenta a maior área irrigada com aproximadamente 250 mil hectares, seguido por Goiás com 118 mil hectares, Minas Gerais 88 mil hectares e Bahia com 82 mil hectares (Christofidis, 2002 b). O Rio Grande do Sul aparece em quinto lugar com aproximadamente 35 a 40 mil hectares irrigados, segundo as empresas de revenda de equipamentos de irrigação.

Nos sistemas agrícolas, a água é essencial ao crescimento e desenvolvimento das plantas, e regula os demais fatores físicos do solo que influenciam diretamente o crescimento e a produtividade das culturas (Forsythe, 1967; Letey, 1985). A disponibilidade de água às culturas é variável de acordo com as características do solo, condições climáticas e necessidade da planta. Além disso, o aumento ou a redução da disponibilidade hídrica está muito relacionado com o manejo dado ao solo.



**Figura 1.** Results of soil samples collected from irrigated areas of the Rio Grande do Sul State, on the median portion of superficial, intermediate and inferior soil layer. Santa Maria, RS, 2006. (NC: without soil compaction indication; CD: indication of soil compaction due to bulk density; CM: indication of soil compaction due to soil macroporosity; CDM: indication of soil compaction due to soil bulk density and macroporosity)

As lavouras irrigadas caracterizam-se pela intensificação dos cultivos, e por conseqüência, uma intensa utilização do solo. Devido a isso, atenção especial deve ser dada ao manejo do solo, das culturas e da água da irrigação, para evitar que ocorram alterações nas características do solo, que causem a degradação das propriedades físicas, químicas e biológicas, afetando a produtividade das culturas. Um dos principais problemas enfrentados nas áreas irrigadas é a degradação da estrutura do solo, resultando no aumento da compactação do mesmo. O principal efeito refere-se ao tráfego de maquinários, que além de ser mais intenso, ocorre em solo com maior conteúdo de água, mais suscetível à compactação.

A compactação do solo é um processo resultante do histórico de tensões recebidas em uma área, através da mecanização ou pelo pisoteio animal (Reichert *et al.*, 2003), e refere-se à compressão do solo não saturado, durante a qual existe um aumento de sua densidade em conseqüência da redução de seu volume (Gupta & Allmaras, 1987; Gupta *et al.*, 1989), resultante da expulsão de ar dos poros do solo. A compactação altera várias propriedades do solo, notadamente as relacionadas com a física do solo, como a densidade do solo, a porosidade e parâmetros hídricos, ocasionando com isso alterações na maioria das vezes indesejáveis no espaço poroso do solo (Taylor & Burnett,

Grohmann & Queiroz Neto) apud Silva *et al.*, (1986). Essas alterações físicas, provocadas pela compactação do solo, afetam o fluxo ou a concentração de água, oxigênio, dióxido de carbono, nutrientes e a temperatura do solo, podendo limitar o crescimento e o desenvolvimento dos vegetais e causar problemas ambientais (Stepniewski *et al.*, 2002).

A sustentabilidade é o objetivo da maioria dos ecossistemas manejados e a qualidade física dos solos é um importante elemento dessa. O conceito de qualidade física do solo tem sido discutido pela comunidade científica desde 1990 (Karlen *et al.*, 1997; Lal, 2000; Reynolds *et al.*, 2002). A capacidade do solo em desempenhar a sua função em um ecossistema para suportar animais, vegetais, resistir à erosão e reduzir impactos negativos associados aos recursos água e ar é definida como qualidade do solo (Karlen *et al.*, 1994). Entretanto, para Islam & Weil (2000), o termo qualidade do solo, não pode ser medido diretamente, em função de ser um parâmetro funcional e complexo, mas pode ser inferido a partir de algumas propriedades do solo, descritas como propriedades indicadoras da qualidade do solo.

O solo, segundo Dumanski e Pieri (2000), deve ser entendido como um corpo vivo. Sendo assim, os indicadores de qualidade do solo devem ter a capacidade e sensibilidade para mensurar e avaliar atributos e processos do solo que inter-

firam na promoção da sua vida. Além disso, segundo Doran & Parkin (1994), os indicadores de qualidade do solo devem seguir alguns critérios, assim descritos: (i) envolver processos que ocorrem no ecossistema; (ii) integrar propriedades e processos químicos, físicos e biológicos; (iii) ser acessível e aplicável no campo e, (iv) ser sensível a variações de clima e de manejo.

A avaliação da qualidade estrutural dos solos requer estudos e determinações de limites críticos de diversas propriedades do solo, as quais, podem variar de ano para ano, dependendo das condições climáticas, do manejo do solo e do tipo de cultura implantada. A mensuração dos limites críticos das propriedades físicas do solo ao desenvolvimento das plantas é difícil de ser realizada, pois os mesmos interagem entre si e com as condições climáticas, por isso, necessitam ser analisados de maneira conjunta. O conteúdo e o potencial de água no solo interagem com as propriedades físicas do solo que afetam diretamente a produtividade das culturas. Conhecendo-se os limites críticos, pode-se delimitar faixas de umidade do solo onde os fatores físicos diretamente relacionados à produção das plantas são nulos ou sem restrições econômicas à produtividade das culturas.

Os índices de qualidade estrutural devem ser sensíveis a variações no sistema de manejo do solo e serem aptos para indicar a necessidade de alterações no manejo atual do solo, quando esse apresentar restrições à produtividade das culturas, para torná-lo adequado ao desenvolvimento das plantas.

De acordo com Watanabe *et al.* (2000), no sistema plantio direto, a ausência de revolvimento do solo aliada ao tráfego intenso de máquinas promove a compactação superficial e modificações na distribuição dos tamanhos de poros do solo. Tormena e Roloff (1996) constataram que, o tráfego de máquinas num solo sob plantio direto ocasionou reduções drásticas no volume de macroporos do solo, com valores próximos de zero na entrelinha trafegada. Segundo Reinert *et al.* (2001), o maior estado de compactação de solos sob sistema de cultivo plantio direto, indicado pela densidade, ocorre de 8 cm até aproximadamente 15 cm de profundidade.

Esse trabalho foi desenvolvido devido a crescente ampliação das áreas irrigadas no Brasil e a importância do conhecimento das características físicas dos solos para que os produtores e técnicos tenham subsídios para aperfeiçoar o manejo do solo, das culturas e da irrigação em suas áreas. Nesse estudo foram utilizados índices de

Ds e de macro, em função do teor de argila nas diferentes camadas do perfil do solo, para estabelecer parâmetros indicativos na avaliação da qualidade estrutural dos solos agrícolas irrigados, principalmente em relação aos parâmetros físico-hídricos do solo.

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar algumas características físico-hídricas dos solos irrigados de algumas regiões brasileiras, especificamente, a Ds, densidade de partículas, textura e porosidade do solo, com vistas a estabelecer uma base de informações para orientar a tomada de decisões relativas ao manejo de áreas irrigadas. Os objetivos específicos foram: (i) avaliar a compactação dos solos irrigados por meio dos atributos físicos Ds e macro e; (ii) avaliar a variabilidade textural de alguns solos irrigados por aspersão.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em áreas irrigadas sob pivô central nos principais pólos irrigados do Brasil (Figura 2), nos Estados do Rio Grande do Sul (RS), Bahia (BA), Minas Gerais (MG) e Goiás (GO). Foram selecionados pivôs representativos de uma propriedade, com base nas características morfológicas do solo, os quais foram georeferenciados através da tomada dos dados das coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude).

Em virtude do volume de material necessário e do custo para a realização das análises, estabeleceu-se que nos pivôs que possuíam áreas uniformes em relação à textura do solo, fosse realizada uma amostragem a cada 35 ha de área. Nos pivôs que apresentaram áreas desuniformes em relação à textura do solo, realizou-se uma amostragem em cada ponto que apresentava diferença de textura. As informações de uniformidade das áreas em relação à textura do solo foram obtidas através de uma consulta aos proprietários das mesmas e visita às áreas dos pivôs.

No Estado do RS foram amostrados 86 pivôs, cavadas 191 trincheiras e coletadas 1337 amostras de solo, representando uma área de 6.627,7 ha. Nos demais Estados (GO, MG e BA) foram cavadas 131 trincheiras em 43 pivôs, totalizando 3.888,3 hectares de área amostrada.

Para a coleta das amostras foram cavadas trincheiras de aproximadamente 80 cm de comprimento, 60 cm de largura e 75 cm de profundidade. Os perfis dos solos foram divididos em



**Figura 2.** Mapa apresentando os países constituintes da América do Sul. As áreas hachuradas representam as regiões onde foram realizadas as coletas de amostras para a caracterização física dos solos irrigados por aspersão no Brasil

três camadas, em função da morfologia do solo, assim descritas: camada superficial, camada intermediária e camada inferior. A camada superficial variou de 0 a 25 cm de profundidade entre os perfis amostrados, a camada intermediária variou de 15 a 50 cm e a camada inferior variou de 35 a 75 cm de profundidade. As amostras de solo foram coletadas nas profundidades correspondentes à porção mediana de cada camada. Em cada trincheira foram coletadas sete amostras de solo, sendo três na camada superficial, duas na camada intermediária e duas na camada inferior.

Coletaram-se amostras com estrutura indeformada, com o auxílio de um extrator, no qual era acoplado um cilindro de metal de volume conhecido ( $72,84 \text{ cm}^3$ ), para a determinação da microporosidade, Ds e curva característica de água no solo. Para as análises granulométricas e Dp foram coletadas aproximadamente 1.000 gramas de solo com estrutura deformada, na porção mediana de cada camada do perfil do solo. Determinações analíticas de textura, Dp, Ds e porosida-

de foram realizadas conforme métodos descritos pela EMBRAPA (1997).

Para a avaliação de compactação dos solos utilizou-se como parâmetros a Ds e a macro, agrupando-se os solos em faixas de textura, conforme o teor de argila. Para cada faixa de argila, estabeleceu-se um valor crítico de Ds e macro, como apresentado na Tabela 1.

Faixa de argila (g Kg <sup>-1</sup> )	Ds (Mgm <sup>-3</sup> )	Macro (dmdm <sup>-1</sup> )
0-200	1,60	0,10
200-300	1,55	0,10
300-400	1,50	0,08
400-500	1,45	0,08
500-600	1,40	0,06
600-700	1,35	0,06
> 700	1,30	0,06

**Tabela 1.** Valores de densidade do solo (Ds) e macroporosidade (macro) estabelecidos como críticos para a indicação de ocorrência de compactação dos solos em cada faixa de teor de argila dos solos. Santa Maria, RS, 2006

Após a avaliação da Ds e macro as amostras de solo foram classificadas, em relação à indicação de ocorrência de compactação, em níveis assim descritos: (NC): não compactada: (quando a amostra de solo apresentava Ds inferior e macro superior aos níveis críticos estabelecidos para determinada faixa de argila); CD: compactada em função da Ds: (quando os valores de Ds e de macro das amostras de solo apresentavam-se superiores ao nível crítico estabelecido para determinada faixa de argila); CM: compactada em função da macro: (quando a amostra de solo apresentava valores de macro e Ds inferiores ao nível crítico estabelecido para cada faixa de argila); CDM: compactada em função da Ds e macro: (quando a amostra de solo apresentava Ds superior e macro inferior aos níveis críticos estabelecidos para determinada faixa de argila).

Os dados foram analisados através da análise de frequências, teste qui-quadrado e análise de correlações. Os dados foram agrupados por Estado, camada do perfil de solo e classes de argila onde foram calculadas as frequências percentuais para cada parâmetro. As frequências foram analisadas através do cálculo da percentagem.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

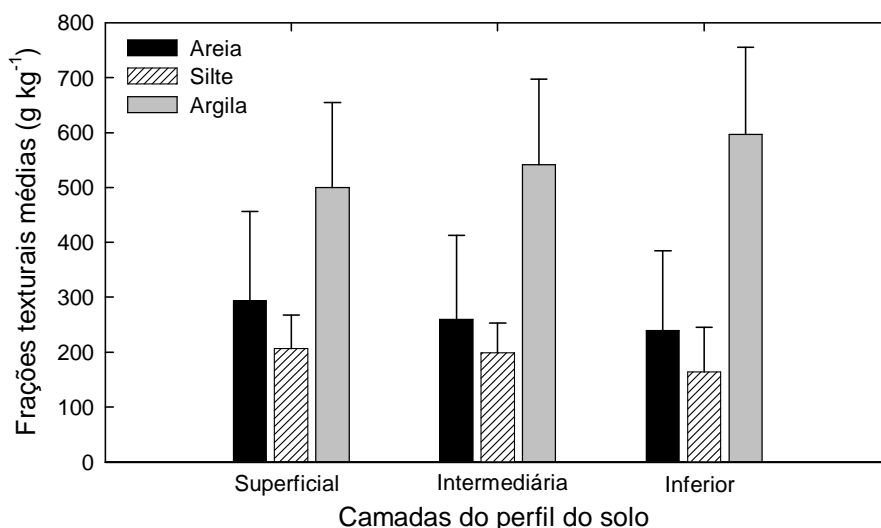
### Caracterização física dos solos

As áreas amostradas no RS apresentaram na camada superficial teores médios de areia, silte

e argila de 293,4 g kg<sup>-1</sup>, 206,8 g kg<sup>-1</sup> e 499,8 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 2 e Figura 3). Na camada intermediária as amostras apresentaram textura média de 259,4 g kg<sup>-1</sup>, 199,3 g kg<sup>-1</sup> e 541,3 g kg<sup>-1</sup> para as frações de areia, silte e argila, respectivamente. A camada inferior apresentou textura média de 239 g kg<sup>-1</sup>, 164 g kg<sup>-1</sup> e 597 g kg<sup>-1</sup> para as frações areia, silte e argila, respectivamente. Observou-se um incremento do teor de argila, com o aumento da profundidade do perfil de solo.

A textura do solo é uma das principais características dos horizontes (Oliveira et al., 1992) e, juntamente com a estrutura, são os principais parâmetros que afetam a porosidade do solo. Segundo Carlesso & Zimmermann (2000), em solos de textura média e argilosa onde é comum a ocorrência de agregados porosos e elevado teor de matéria orgânica, os espaços porosos por unidade de volume são elevados. Já em solos de textura arenosa, a porosidade total é reduzida.

A macro média apresentada pelos solos do RS para a camada superficial foi 0,07 dmdm-1, conforme demonstrado na Figura 4. Esse valor é inferior ao valor de 0,10 dmdm-1, indicado como aceitável por Reinert et al. (2001). Segundo esses autores, em solos irrigados, quando o espaço aéreo do solo for inferior a 0,10 dmdm-1, o suprimento de oxigênio para as raízes é reduzido, implicando em redução de geração de energia para as plantas.



**Figura 3.** Frações texturais médias, para as camadas superficial, intermediária e inferior, observadas nas amostras de solo coletadas em áreas irrigadas do Estado do Rio Grande do Sul (RS). Santa Maria, RS, 2006. As barras verticais representam o desvio padrão

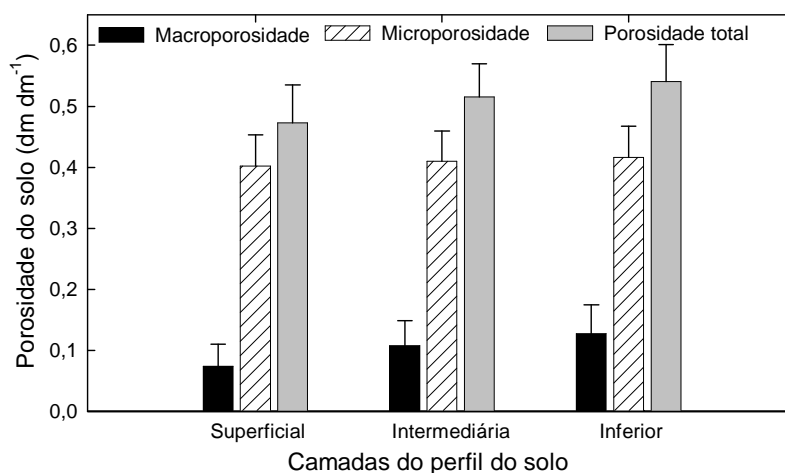
Faixa de Argila ( $\text{gkg}^{-1}$ )	Camadas do perfil do solo					
	Superficial		Intermediária		Inferior	
	Freq.	Freq. Relativa	Freq.	Freq. Relativa	Freq.	Freq. Relativa
Estado de Goiás						
0-200	0	0,00	0	0,00	0	0,00
200-300	8	26,67	6	21,43	5	20,00
300-400	4	13,33	4	14,29	2	8,00
400-500	4	13,33	0	0,00	0	0,00
500-600	3	10,00	1	3,57	1	4,00
600-700	0	0,00	7	25,00	5	20,00
>700	11	36,67	10	35,71	12	48,00
Estado de Minas Gerais						
0-200	4	13,79	4	14,29	4	16,67
200-300	12	41,38	7	25,00	0	0,00
300-400	4	13,79	8	28,57	15	62,50
400-500	6	20,69	3	10,71	3	12,50
500-600	3	10,34	4	14,29	0	0,00
600-700	0	0,00	0	0,00	0	0,00
>700	0	0,00	2	7,14	2	8,33
Estado da Bahia						
0-200	63	87,50	46	79,31	44	83,02
200-300	9	12,50	9	15,52	7	13,21
300-400	0	0,00	3	5,17	2	3,77
400-500	0	0,00	0	0,00	0	0,00
500-600	0	0,00	0	0,00	0	0,00
600-700	0	0,00	0	0,00	0	0,00
>700	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Estado do Rio Grande do Sul						
0-200	5	2,62	5	2,63	-	-
200-300	11	5,76	9	4,74	7	3,68
300-400	37	19,37	21	11,05	14	7,37
400-500	52	27,23	44	23,16	24	12,63
500-600	26	13,61	38	20,00	41	21,58
600-700	41	21,46	37	19,47	39	20,53
>700	19	9,95	36	18,95	65	34,210

**Tabela 2.** Frequência (Freq.) e frequência relativa das amostras de solo coletadas nos Estados de Goiás (GO), Minas Gerais (MG), Bahia (BA), e Rio Grande do Sul (RS) em cada classe de argila, nas três camadas do perfil de solo. Santa Maria, RS, 2006

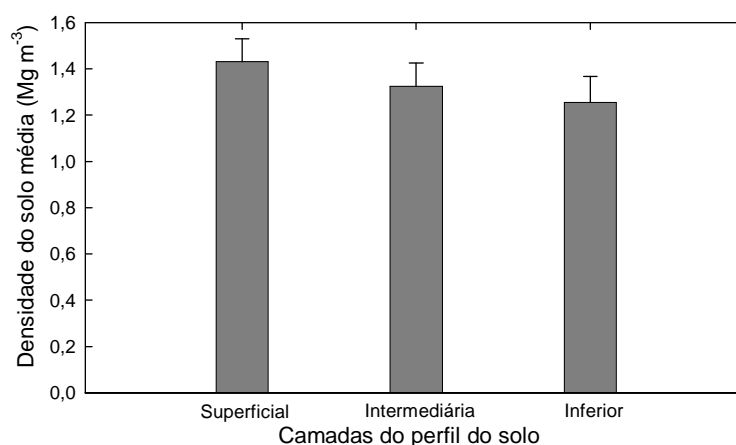
Um dos primeiros indicativos da ocorrência do processo de compactação é a redução do tamanho de poros (Silva, 2003). A estrutura é modificada, sendo os macroagregados destruídos e o solo se transforma numa estrutura maciça (Tavares filho *et al.*, 1999). Segundo Soane e Ouwerkerk (1994), um solo compactado apresenta aumento de sua Ds e resistência mecânica à penetração, além de redução na porosidade, principalmente a macro ou porosidade de aeração.

A camada superficial dos solos do Estado do RS apresentou Ds mais elevada do que as demais camadas do perfil do solo (Figura 5). A Ds média na camada superficial das amostras coletadas nos solos irrigados do RS foi  $1,43 \text{ Mg m}^{-3}$ . Esse valor foi inferior ao limite de  $1,45 \text{ Mg}$

$\text{m}^{-3}$  estabelecido como crítico, para solos pertencentes a faixa de 400 a  $500 \text{ g kg}^{-1}$  de argila (Tabela 1). No entanto, os valores máximos de Ds das amostras coletadas foram superiores ao limite estabelecido como crítico indicando que existem áreas com problemas de compactação em função da Ds no Estado do RS. O aumento da Ds em áreas cultivadas sob plantio direto foi identificado por vários pesquisadores, dentre os quais Reinert (1990), Hankansson e Medvedev (1995); Silva *et al.* (1997). Segundo esses autores, isso pode ser considerado uma consequência normal do sistema plantio direto. No entanto, se esse aumento na Ds atingir determinados níveis críticos, o solo passa a ser caracterizado como compactado podendo causar prejuízos às culturas.



**Figura 4.** Macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo, nas camadas superficial, intermediária e inferior de amostras de solo coletadas em áreas irrigadas no Estado do Rio Grande do Sul (RS). Santa Maria, RS, 2006. As barras verticais representam o desvio padrão



**Figura 5.** Densidade do solo, nas camadas de superficial, intermediária e inferior de amostras de solo coletadas em áreas irrigadas no Estado do Rio Grande do Sul (RS). Santa Maria, RS, 2006. As barras verticais representam o desvio padrão

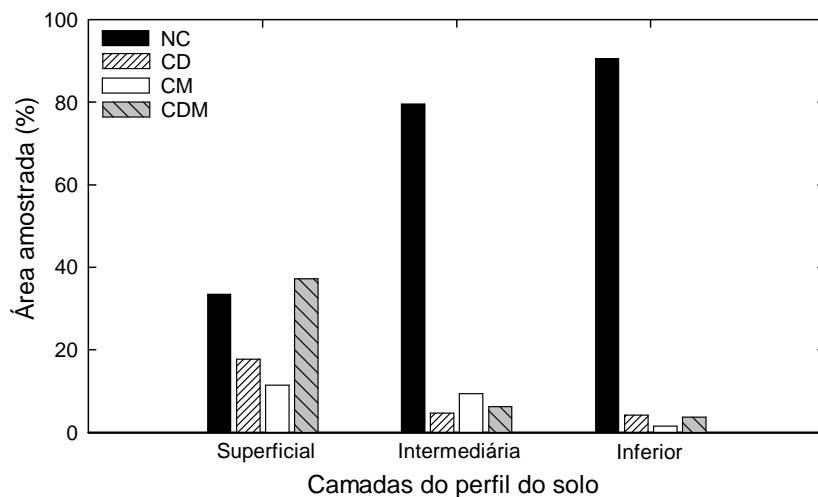
Para os solos dos Estados da BA, GO e MG, a Ds média foi inferior ao valor crítico estabelecido em função dos teores de argila. Isso provavelmente ocorreu em função do sistema de manejo do solo adotado, com predominância de preparo convencional a cada safra agrícola. Entretanto, a Ds máxima observada nas amostras de solo coletadas nesses Estados foram superiores aos limites críticos estabelecidos indicando que existem áreas com problemas de compactação em função da Ds.

O maior percentual de área com problemas de compactação no RS foi observado na camada superficial (Figura 6). Do total dos 6.627,7 ha amostrados, 2.220,2 ha (33,5 %) não apresentaram problemas de compactação; 1.179,7

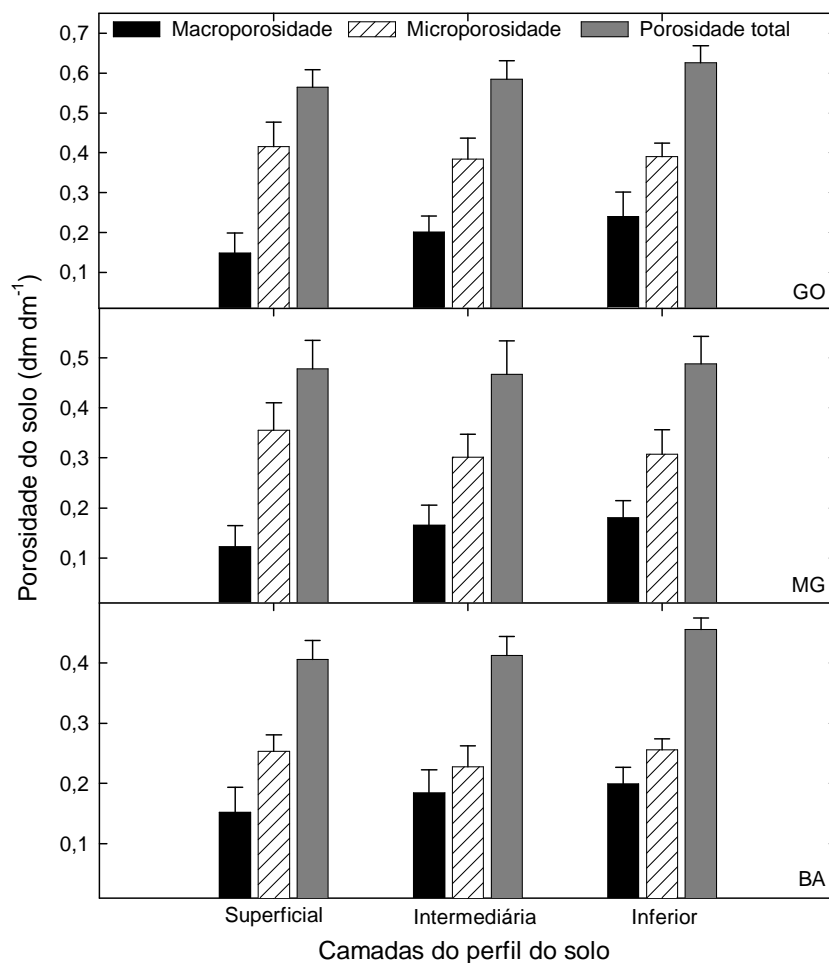
ha (17,8 %) apresentaram-se compactados em função da Ds; 762,1 ha (11,5 %) apresentaram-se compactados em função da macro e; 2.465,5 ha (37,2 %) apresentaram-se compactados em função da Ds e da macro.

A principal causa da compactação em solos agrícolas é o tráfego de máquinas e equipamentos em operações de preparo do solo, semeadura, tratos culturais e colheita (Salire *et al.* 1994; Hankansson e Voorhees, 1997; Reinert *et al.* 2001). Ainda, segundo Salire *et al.* (1994) e Hankansson e Voorhees (1997), a compactação superficial é causada basicamente pela pressão de inflação de ar dos pneus e a subsuperficial pela massa total por eixo.





**Figura 6.** Resultados dos níveis de compactação das áreas amostradas do Estado do Rio Grande do Sul, nas camadas superficial, intermediária e inferior, em relação aos níveis críticos de densidade e macro do solo. Santa Maria, RS, 2005. NC: não compactado; CD: compactado em função da densidade do solo; CM: compactado em função da macro; CDM: compactado em função da densidade do solo e macro)



**Figura 7.** Resultados de macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo, nas camadas superficial, intermediária e inferior de amostras de solo coletadas em áreas irrigadas nos Estados de Goiás (GO), Minas Gerais (MG) e Bahia (BA)



A ação antrópica provoca alterações nas características físicas do solo, quando comparado à sua condição natural. O manejo do solo altera principalmente a estrutura do mesmo, influenciando no ambiente de crescimento radicular. Na maioria das vezes, há degradação da qualidade do solo, cujos principais atributos indicadores parecem ser a agregação e a compactação (Reichert *et al.*, 2003). Solos argilosos são bem estruturados, sendo mais resistentes à desagregação do que solos arenosos, porém são mais suscetíveis à compactação quando comparados a solos arenosos.

Segundo Cavenage *et al.* (1999), o uso do solo resultou em alteração nos atributos físicos, principalmente na Ds e macro do solo, quando comparado a um solo de cerrado com vegetação natural.

A macro dos solos amostrados nos Estados de GO, MG e BA, em todas as camadas do perfil do solo, foi superior a  $0,10 \text{ dm dm}^{-1}$  (Figura 7). Isso provavelmente ocorreu pois esses solos geralmente são mais permeáveis e bem estruturados, o que pode ser atribuídos aos sistemas de manejo do solo (sistemas de cultivo convencional) e pela reconsolidação natural do solo durante os ciclos de umedecimento e secamento (Ahuja *et al.* 1998).

## CONCLUSÕES

A maior frequência das amostras coletadas em áreas irrigadas do Estado do Rio Grande do Sul (RS) foram classificadas na faixa de  $400\text{-}500 \text{ g kg}^{-1}$  de argila, na camada superficial e na faixa de argila superior a  $700 \text{ g kg}^{-1}$  nas camadas intermediária e inferior. No Estado de Goiás (GO), a maior frequência das amostras coletadas foram classificadas na faixa de argila superior a  $700 \text{ g kg}^{-1}$  nas três camadas do perfil do solo. Em Minas Gerais (MG) a maior frequência das amostras de solo coletadas foi classificada na faixa de  $200\text{-}300$  de argila na camada superficial e  $300\text{-}400 \text{ g kg}^{-1}$  de argila nas camadas intermediária e inferior. No Estado da Bahia (BA) a maior frequência das amostras coletadas foram classificadas na faixa de  $0\text{-}200 \text{ g kg}^{-1}$  de argila, nas três camadas do perfil do solo.

No Estado do RS, 66,5 % das áreas irrigadas amostradas apresentaram indicação de compactação do solo em função da densidade do solo (Ds) e macroporosidade (macro), na camada superficial, 20,5 % na camada intermediária e 9,5 % na camada inferior do perfil do solo. A maior frequência de indicação de compactação do solo em função da macro (C-M) e da Ds e

macro (C-DM), na camada superficial dos solos do Estado do RS, foi observada na faixa de  $400\text{-}500 \text{ g kg}^{-1}$  de argila. A faixa de  $500\text{-}600 \text{ g kg}^{-1}$  de argila apresentou a maior frequência de indicação de compactação em função da Ds (C-D).

## REFERÊNCIAS

- Ahuja, L.R. e Nielsen, D.R., (1990). Field soil-water relations. En Stewart, B.A. e Nielsen, D.R., Irrigation of agricultural crops. Madison, American Society of Agronomy, pp. 143–189.
- Carlesso, R. e Zimmermann, F.L., (2000). Água no solo: Parâmetros para o dimensionamento de sistemas de irrigação. Santa Maria UFSM/Departamento de Engenharia Rural, pp 88.
- Cavenage, A., Moraes, M.L.T., Alves, M.C., Carvalho, M.C., Freitas, M.L.M. e Buzzeiti, S., (1999). Alterações nas propriedades de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 23 (4), pp. 997–1003.
- Christofidis, D., (1999). Recursos hídricos e irrigação no Brasil. En Workshop Disponibilidade de água e irrigação no nordeste, Brasília, pp 34.
- Christofidis, D. (2002). Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. En Irrigação e Tecnologia, Brasília, pp. 46–55.
- Doran, J.W. e Parkin, T.B., (1994). Defining and assessing soil quality. En Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F. e Stewart, B.A. (eds.), Defining soil quality for a sustainable environment, pp. 3–21, SSSA Spec. Publ., No. 35, Madison, WI, ASA, CCSA e SSSA.
- Dumanski, J., Pieri, C. (2000). Land quality indicators: research plan. Agriculture Ecosystems & Environment, 81, pp. 155–162.
- EMBRAPA (1997). Manual de métodos de análises de solo. 2ed., ver. E atual. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, pp. 212.
- Forsythe, W.M., (1967). Lãs propiedades físicas, los factores físicos de crecimiento y la productividad del suelo. Fitotecnia Latino Americana, 4, pp. 165–176.

- Gee, G.W. e BAUDER, J.W., (1986). Particle-size analysis. En Klute, A. Methods of soil analysis. Part 1. 2ed., Madison, American Society of Agronomy.
- Gupta, S.C. e Allmaras, R.R., (1987). Models to access the susceptibility of soil to excessive compaction. *Advances in Soil Science*, 6, pp. 65–100.
- Gupta, S.C, Hadas, A. e Schafer, R.L., (1989). Modeling soil mechanical behaviour during compaction. En Larson, W.E., Blake, G.R. Allmaras, R.R., Voorhees, W.B. e Gupta, S.C. (eds.) *Mechanics and related process in structured agricultural soils*, The Netherlands, kluwer Academic Publishers, pp. 137–152.
- Hakansson, I. e Medvedev, V.W., (1995). Protection of soils from mechanical overloading by establishing limits for stresses caused by heavy vehicles. *Soil Tillage Research*, 35, 85–97.
- Hakansson, I. e Voorhees, W.B., (1997). Chapter on soil compaction. En Lal, R., Blum, W.H. Valentin, C. e Stewart, B.A., (eds.) *Methods for assessment of soil degradation*, Lewis Publishers, Boca Raton, USA, pp. 576.
- Islam, K.R. e Weil, R.R., (2000). Soil quality indicator proprieties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. *Journal of Soiland Water Conservation*, 55, pp. 69–78.
- Karlen, D.L., Wollwnhaupt, N., Erbach, D.C., Berry, E.C., Swan, J.B., Eash, N.S. e Jordahl, J.L., (1994). Crop residue effects on soil quality following 10-years of no till corn. *Soil Tillage Research*, 31, pp. 149–167.
- Lal, R., (2000). Physical management of soils of the tropics: priorities for the 21st century. *Soil Science*, 165, pp. 191–207.
- Letey, J., (1985). Relationship between soil physical proprieties and crop productions. *Advances in Soil Science*, 1, pp. 277–294.
- Loiola, M.L. e Douza, F. De. (2001). Estatísticas sobre irrigação no Brasil segundo o Censo Agropecuário 1995–1996. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, 5(1), pp. 171–180.
- Oliveira, J.B. de, Jacomine, P.K.T. e Camargo, M.N., (1992). *Classes Gerais de Solos do Brasil. Guia auxiliar para seu reconhecimento*, 2ed., Jaboticabal, Funep/Unesp., pp. 201.
- Reichert, J.M., Reinert, D.J. e Briada, J.A., (2003). *Qualidade Dos Solos E Sustentabilidade De Sistemas Agrícolas*. *Ciência e Ambiente*, 27, pp. 29–48.
- Reinert, D.J., Reichert, J.M. e Silva, V.R., (2001). Propriedades físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado. En Carlesso, R., Petry, M.T., Rosa, G.M. e Ceretta, C.A. (eds.) *Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul*, Santa Maria, RS, pp. 165.
- Reinert, D.J., (1990). Soil structural form and stability induced by tillage in a Typic Hapludalf. Ph.D. in Agronomy, Michigan State University, pp. 129.
- Reynolds, W.D., Bowman, B.T., Drury, C.F., Tan, C.S. e Lu, X., (2002). Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*, 110, pp. 131–146.
- Salire, E.V., Hammel, J.E. e Hardcastle, J.H., (1994). Compression of intact subsolis under short - duration loading. *Soil Tillage Research*, 31, pp. 235–248.
- Silva, A.P. da, Libardi, P.L. e CAMARGO, O.A., (1986). Influência da compactação nas propriedades físicas de dois latossolos. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, 10, pp. 91–95.
- Silva, A.J.N. e Ribeiro, M.R., (1997). Caracterização de Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: atributos morfológicos e físicos. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, 21, pp. 677–684.
- Silva, V.R., (2003). Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação. Ph.D. em Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia UFSM, Santa Maria.
- Stepniewski, W., Horn, R. e Martyniuk, S., (2002). Managing soil biophysical properties for environmental protection. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88, pp. 175–181.
- Soane, B.D. e Ouwerkerk, C. van, (1994). Soil compaction problems in world agriculture. En Soane, B.D. e Ouwerkerk, C. van (eds.) *Soil compaction in crop production*, Netherlands, Elsevier, pp. 01–21.

- Tavares Filho, J., Ralisch, R., Guimarães, M.F., Medina, C.C., Balbino, L.C. e Neves, C.S.V.J., (1991). Método do perfil cultural para a avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, 23, pp. 111–119.
- Tormena, C.A. e Roloff, G. (1996). Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, 20, pp. 333–339.
- Watanabe, S.H., Tormena, C.A., Araujo, M.A. Gonçalves, A.C.A., SILVA, A.P. Pintro, J.C., Costa, A.C.S. e Filho, P.S.V. (2000). Resistência do solo à penetração e porosidade de aeração de um latossolo vermelho distrófico sob plantio direto por dois anos. *Acta Scientiarum*, 22 pp. 1055–1060.