



## Densidade Relativa de um Argissolo e sua Relação com Atributos do Solo e Produtividade do Milho

**Jackson Adriano Albuquerque**<sup>(1)</sup>; **Douglas Rodrigo Kaiser**<sup>(2)</sup> & **Dalvan José Reinert**<sup>(3)</sup>;  
**José Miguel Reichert**<sup>(3)</sup>; **Miriam Fernanda Rodrigues**<sup>(4)</sup>; **Maurício Kunz**<sup>(5)</sup>.

<sup>(1)</sup> Professor do Depto Solos e Recursos Naturais, Universidade do Estado de Santa Catarina, (UDESC), Av. Luis de Camões, 2090, Lages, SC, CEP 88520-000, [jackson@cav.udesc.br](mailto:jackson@cav.udesc.br), Bolsista do CNPq, (apresentador do trabalho); <sup>(2)</sup> Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Bolsista CAPES, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, CEP 97105-900, [douglasrodrigokaiser@gmail.com](mailto:douglasrodrigokaiser@gmail.com); <sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Solos, UFSM, [reinert@ccr.ufsm.br](mailto:reinert@ccr.ufsm.br); [reichert@mail.ufsm.br](mailto:reichert@mail.ufsm.br), Pesquisador do CNPq. <sup>(4)</sup> Acadêmica do Curso de Engenharia Florestal, bolsista CNPq, [miriamf\\_rodrigues@yahoo.com.br](mailto:miriamf_rodrigues@yahoo.com.br); <sup>(5)</sup> Mestrando do curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS) da UFSM, Bolsista CAPES

Apoio: CNPq, Capes.

**RESUMO:** A densidade relativa (DR) pode ter relação estreita com outros atributos do solo e com a produtividade das culturas, independente da textura do solo. Objetivou-se avaliar o efeito do manejo do solo na DR e a relação desta com atributos do solo e produtividade das culturas. Foi conduzido experimento a campo em Argissolo Vermelho Arênico cultivado com milho em cinco sistemas de manejo. Os diferentes manejos modificaram especialmente a DR do solo, a porosidade total, a macroporosidade, mas não a produtividade das culturas. A DR se relacionou negativamente com a porosidade total e com o volume de macroporos.

restrição para as culturas variou de 0,77 a 0,84.

A densidade máxima pode ser obtida através do teste Proctor (Carter, 1990), com compressão uniaxial a 200 kPa (Håkansson, 1990). A quantificação desses índices baseados na densidade do solo facilita o monitoramento da qualidade física do solo com uma propriedade fácil de ser determinada no campo e com significação prática no manejo do solo e otimização do rendimento de culturas.

**Palavras-chave:** grau de compactação, densidade do solo, densidade do solo crítica.

### INTRODUÇÃO:

A compactação do solo é avaliada pela densidade, porosidade total, distribuição do tamanho dos poros e resistência ao cisalhamento e à penetração do solo. Estes atributos, isolados ou em conjunto, podem afetar a produtividade das culturas, no entanto, os limites críticos variam com a textura, assim, um indicador que independe deste atributo poderia ser utilizado para comparar a qualidade de solos (Håkansson & Lipiec, 2000). Carter (1990) observou que a relação entre a densidade do solo ( $D_s$ ), medida no campo, e a densidade máxima ( $D_{s\text{ máx}}$ ), medida em laboratório, denominada de densidade relativa (DR), foi relacionada com a macroporosidade e a produtividade das culturas.

$$DR = \frac{D_s}{D_{s\text{ máx}}} \quad \text{Equação [1]}$$

Naquele estudo, a faixa de compactação relativa para os dois solos avaliados em que não havia

### MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental do Departamento de Solos da UFSM, em Santa Maria-RS. O clima da região, segundo a classificação de Köepen, é subtropical úmido, tipo "Cfa". O solo do local é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico (Typic Hapludalf), com teores médios até a profundidade de 0,3 m de 106 g kg<sup>-1</sup> de argila, 240 g kg<sup>-1</sup> de silte e 654 g kg<sup>-1</sup> de areia (classe textural franco arenosa).

Antes de ser incorporada ao sistema produtivo, essa área foi mantida em pousio por 15 anos, predominando na área gramíneas nativas, e em 2004 foi cultivada sob semeadura direta. O experimento consistiu de sistemas de manejos e níveis de compactação com os tratamentos: plantio direto (PD); plantio direto com tráfego adicional por 2 passadas sobrepostas de uma pá carregadeira de 8 toneladas (PDc); Escarificação até 0,15 m de profundidade (Esc); Subsolação até 0,35 m de



profundidade (Sub); e Preparo convencional com lavração até 0,35 m de profundidade e gradagem superficial (PC). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com 4 repetições.

Para avaliar a densidade e a porosidade, coletou-se amostras com estrutura preservada, em 11/2007, em anéis metálicos com 0,057 m de diâmetro e 0,04 m de altura, nas camadas de 0,0 a 0,05; 0,05 a 0,10; 0,10 a 0,15; 0,15 a 0,20; 0,30 a 0,40 e 0,40 a 0,50 m. No laboratório as amostras foram saturadas pesadas e submetidas às tensões de 1, 6 e 10 kPa na mesa de tensão e 33 e 100 kPa em Câmara de Richards, para calcular a distribuição de poros pela equação fundamental da capilaridade. No final, as amostras foram secas em estufa a 105° C até peso constante para calcular a densidade do solo (Ds). A DR foi calculada pela equação [1], considerando a densidade máxima de 1,87 Mg m<sup>-3</sup> (Braidá, 2004)

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para verificar a distribuição de normalidade. Foi feita análise correlação de Pearson entre DR com os demais atributos avaliados. Procedeu-se a análise de variância (teste F) e comparação de médias utilizando-se o teste de Tukey a 5 % de probabilidade (SAS, 2002).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estrutura do solo foi alterada pelos tratamentos, pois os mesmos apresentam diferenças marcantes no grau de mobilização e na compactação do solo. Analisando todas as amostras, a densidade do solo variou de 1,05 a 1,84 Mg m<sup>-3</sup> com média de 1,58 Mg m<sup>-3</sup> e a porosidade total de 0,29 a 0,59 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> com média de 0,39 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (Tab. 1). Na média dos sistemas, a densidade do solo variou de 1,41 a 1,69 Mg m<sup>-3</sup> no plantio direto e no sistema com compactação adicional a densidade aumentou para 1,56 a 1,71 Mg m<sup>-3</sup> com diferença significativa até a camada de 40 a 50 cm. No preparo convencional, sistema com maior mobilização, a densidade reduziu para até 1,31 Mg m<sup>-3</sup>. Enquanto a subsolagem modificou a estrutura do solo, o sistema escarificado, praticamente não diferiu do plantio direto. Isto se deve a pequena espessura de solo que foi mobilizada neste sistema (0 a 10 cm).

A porosidade do solo, especialmente a macroporosidade, foi modificada pelos sistemas. No plantio direto a macroporosidade estava acima de 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, e com a mobilização aumentou até 0,26

m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> no PC, mas reduziu para 0,07 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> no PDc. No PDc o volume de macroporos foi menor que 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> na camada de 5 a 15 cm. No PC, na camada de 30 a 40 cm, a macroporosidade diminuiu para 0,11 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> o que pode ser devido a pressão dos discos do arado no solo durante a lavração.

Dos macroporos, ambas as classes (maior que 297 µm e de 50 a 297 µm) foram modificadas pelos sistemas de manejo, no entanto, os poros com diâmetro entre 50 e 297 µm diferiram até a camada mais profunda, com menor volume no PC. O volume de microporos diferiu pouco entre os sistemas, mas na classe com diâmetro menor que 3 µm o PC teve o menor volume e o PDc o maior, indicando que a mobilização ou a compactação, além de modificar os macroporos altera o volume de poros pequenos.

**Tabela 2.** Estatística básica para os atributos físicos do Argissolo Vermelho-Amarelo.

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio
DS	1.05	1.84	1.58	0.12
DR	0.56	0.98	0.85	0.06
PT	0.288	0.592	0.387	0.045
Macro	0.032	0.354	0.139	0.049
Micro	0.105	0.392	0.249	0.030
D297 <sup>(1)</sup>	0.005	0.222	0.074	0.029
D50-297	0.002	0.181	0.065	0.032
D30-50	0.004	0.044	0.019	0.007
D10-30	0.000	0.123	0.031	0.018
D3-10	0.000	0.124	0.031	0.018
D<3	0.031	0.322	0.171	0.035

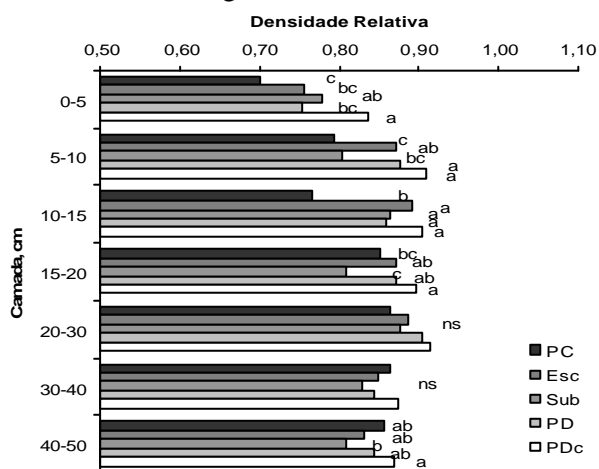
<sup>(1)</sup> D = diâmetro dos poros em micrometros.

As principais modificações na densidade e porosidade do solo foram observadas até a profundidade de 20 cm, o que refletiu na DR do solo. A densidade máxima obtida pelo teste de Proctor Normal para este solo é de 1,87 Mg m<sup>-3</sup> (Braidá, 2004). A DR no PD variou de 0,75 a 0,90; com a mobilização diminuiu para 0,70 no PC (0 a 5 cm); com a compactação aumentou para 0,92 no PDc (20 a 30 cm) (Fig. 1); com a subsolagem a DR foi menor também na camada de 40 a 50 cm comparada ao PDc.

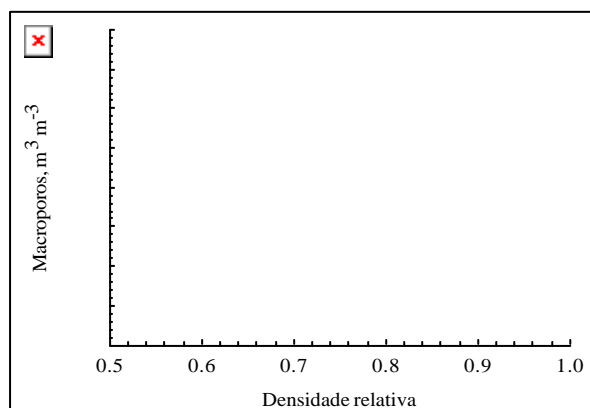
Os atributos do solo que se relacionaram com a DR foram os macroporos (Fig. 2) e destes, os poros com diâmetro entre 50 e 297 µm. Isto confirma que a compactação modifica inicialmente os poros de maior diâmetro. Quando a DR foi de 0,90 o volume de macroporos foi de 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (Fig. 2) próximo da DR relatada por Carter (1990) para solos franco arenosos de 0,89, enquanto Lipiec & Håkansson (2000), também para solos franco arenosos, relataram DR de 0,95.



A produtividade do milho variou pouco entre os sistemas (PDc = 106; PC = 109; PD = 111; Sub = 115 e Esc = 116 sacos  $ha^{-1}$ ). Apesar da intensa seca que ocorreu em parte do Estado do RS, na região do experimento os períodos de déficit hídrico foram pequenos e durante o estágio vegetativo, o que prejudicou pouco a produtividade. Assim, as diferenças na estrutura do solo, em condições adequadas de umidade durante a maior parte do ciclo, praticamente não influenciaram a produtividade. Apesar disso, a elevada DR no PDc, que variou de 0,84 a 0,92 em função da camada amostrada, e sua menor produtividade (106 sacos  $ha^{-1}$ ), pode indicar que esse sistema, principalmente em anos com déficit hídrico mais acentuado, é prejudicial a cultura do milho. Além disso, as maiores produtividades foram observadas com DR entre 0,80 e 0,85. Na Fig. 3 estão os resultados da DR média da camada de 0 a 20 cm. Quando a DR foi calculada para a média das camadas de 0 a 30, 0 a 40, e 0 a 50 cm a relação da produtividade com esta DR média tem padrão semelhante a da figura 3.



**Figura 1.** Densidade relativa do Argissolo Vermelho-marelo em sistemas de manejo.



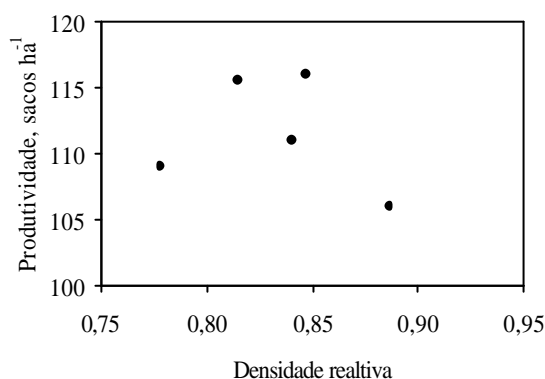
**Figura 2.** Relação entre macroporos e densidade relativa para o Argissolo Vermelho-Amarelo. \*\* Significativo a 5 %.

Hakansson (1990) avaliou a DR para 102 experimentos em ampla faixa de solos, com conteúdo de argila variando de 20 a 600  $g\ kg^{-1}$ , com a cultura de cevada como teste e observou que a DR ótima foi próximo de 0,87, independente da textura. Beutler et al. (2005) observaram que a DR ótima para a soja em um Latossolo Vermelho foi de 0,80. Portanto, considerando os estudos acima e o realizado no Argissolo Vermelho, a DR ótima situa-se entre 0,77 e 0,87, com maior frequência sendo relatado valores entre 0,80 a 0,85.

## CONCLUSÕES

Os diferentes manejos modificaram especialmente a densidade relativa, a porosidade total, macroporosidade, mas não a produtividade das culturas. A Densidade Relativa tem relação negativa com a porosidade total e volume de macroporos.

As maiores produtividades foram observadas com DR variando entre 0,80 e 0,85.



**Figura 3.** Relação entre a produtividade do milho em função da densidade relativa média da camada de a 20 cm do Argissolo Vermelho-Amarelo.

## REFERÊNCIAS

- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; ROQUE, C.G.; FERRAZ, M.V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. R. Bras. Ci. Solo, 29:843-849, 2005.
- BRAIDA, J.A. matéria orgânica e resíduos vegetais na superfície do solo e suas relações com o comportamento mecânico do solo sob plantio direto. UFSM, Santa Maria. 106p. (Tese de doutorado)



CARTER, M.R. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. Can. J. Soil Sci. 70:425-433, 1990.

HAKANSSON, I. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. soil & tillage research, 16:105-120, 1990.

LIPIEC, J. & HÅKANSSON, I. Influences of

degree of compactness and matric water tension on some important plant growth factors. Soil Till. Res., 53:87-94, 2000.

SAS INSTITUTE. Getting started with the SAS learning edition. Cary: SAS, 2002. 200p.

**Tabela 1.** Densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) e distribuição de tamanho de poros ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) em classes de diâmetros do Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo.

Camada	PC	Esc	Sub	PD	PDc	PC	Esc	Sub	PD	PDc
<b>DS</b>						<b>Porosidade total</b>				
0-5	1,31	c	1,41	bc	1,46	ab	1,41	bc	1,56	a
5-10	1,48	c	1,63	ab	1,51	bc	1,64	a	1,70	a
10-15	1,43	b	1,66	a	1,61	a	1,61	a	1,69	a
15-20	1,59	bc	1,63	ab	1,51	c	1,63	ab	1,68	a
20-30	1,62	ns	1,66		1,64		1,69		1,71	
30-40	1,61	ns	1,59		1,55		1,58		1,64	
40-50	1,60	ab	1,56	ab	1,51	b	1,58	ab	1,62	a
Média	1,52		1,59		1,54		1,59		1,66	
<b>Macro, maior que 50 <math>\mu\text{m}</math></b>						<b>Micro, menor que 50 <math>\mu\text{m}</math></b>				
0-5	0,256	a	0,172	b	0,163	b	0,173	b	0,110	b
5-10	0,174	a	0,126	ab	0,155	ab	0,115	bc	0,070	c
10-15	0,200	a	0,107	b	0,115	b	0,137	b	0,097	b
15-20	0,140	ab	0,140	ab	0,171	a	0,135	ab	0,104	b
20-30	0,127	ns	0,104		0,111		0,100		0,111	
30-40	0,107	b	0,154	a	0,150	ab	0,157	a	0,120	ab
40-50	0,125	b	0,173	a	0,158	ab	0,158	ab	0,139	ab
Media	0,162		0,135		0,146		0,140		0,108	
<b>Maior que 297 <math>\mu\text{m}</math></b>						<b>50 a 297 <math>\mu\text{m}</math></b>				
0-5	0,133	a	0,062	b	0,079	b	0,080	b	0,060	b
5-10	0,079	a	0,065	ab	0,078	a	0,067	ab	0,045	b
10-15	0,103	a	0,053	c	0,063	bc	0,094	ab	0,054	c
15-20	0,070	b	0,075	ab	0,110	a	0,089	ab	0,066	b
20-30	0,070	ns	0,068		0,076		0,067		0,075	
30-40	0,059	ns	0,071		0,075		0,074		0,069	
40-50	0,057	ns	0,080		0,077		0,075		0,065	
Media	0,082		0,068		0,080		0,078		0,062	
<b>30 a 50 <math>\mu\text{m}</math></b>						<b>10 a 30 <math>\mu\text{m}</math></b>				
0-5	0,028	ns	0,029		0,026		0,030		0,027	
5-10	0,021	ab	0,023	ab	0,024	a	0,019	ab	0,015	b
10-15	0,020	ns	0,021		0,019		0,019		0,016	
15-20	0,019	ns	0,019		0,018		0,016		0,018	
20-30	0,018	ns	0,017		0,016		0,015		0,016	
30-40	0,017	ns	0,016		0,017		0,015		0,015	
40-50	0,017	bc	0,018	ab	0,019	a	0,015	bc	0,015	c
Media	0,020		0,020		0,020		0,018		0,017	
<b>3 a 10 <math>\mu\text{m}</math></b>						<b>Menor que 3 <math>\mu\text{m}</math></b>				
0-5	0,038	ns	0,040		0,037		0,044		0,027	
5-10	0,028	ns	0,030		0,031		0,033		0,037	
10-15	0,035	ns	0,028		0,032		0,038		0,026	
15-20	0,026	ns	0,027		0,038		0,028		0,029	
20-30	0,021	ns	0,039		0,033		0,024		0,023	
30-40	0,027	ns	0,023		0,028		0,027		0,020	
0-5	0,124	b	0,167	ab	0,173	ab	0,175	ab	0,211	a
5-10	0,172	ab	0,151	b	0,178	ab	0,172	ab	0,199	a
10-15	0,161	ns	0,163		0,185		0,158		0,170	
15-20	0,180	ns	0,163		0,159		0,165		0,166	
20-30	0,180	ns	0,173		0,169		0,184		0,163	
30-40	0,197	ns	0,139		0,179		0,166		0,182	



40-50	0,038	ns	0,036	0,045	0,030	0,020	0,169	ns	0,151	0,178	0,167	0,166
Media	0,030		0,032	0,034	0,032	0,026	0,169		0,158	0,174	0,170	0,180