



## Estabilidade de agregados, retenção hídrica e resistência mecânica a penetração em Cambissolo sob dois modos de aplicação de calcário e gesso <sup>(1)</sup>.

Delcio Rudinei Bortolanza<sup>(2)</sup>; Vilson Antonio Klein<sup>(3)</sup>.

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos da Fapergs.

<sup>(2)</sup> Doutorando do programa de Pós-graduação em Agronomia; Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS; E-mail: drbrudi@hotmail.com <sup>(3)</sup> Professor titular da FAMV, Bolsista CNPq; Universidade de Passo Fundo.

**RESUMO:** A aplicação de calcário em solos com elevada acidez subsuperficial é mais eficiente quando incorporado, no entanto, pode alterar as propriedades físicas do solo, sendo o gesso uma alternativa. O objetivo do trabalho foi avaliar alteração físico-hídricas em um Cambissolo Húmico alumínico típico, três anos após aplicação de calcário em superfície e incorporado e gesso em superfície. Foram aplicadas as doses de 0, 8 e 16 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário superficial e incorporado e as doses de 0 e 6 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso em superfície e três anos após foram coletadas as amostras de solo. O delineamento experimental foi de blocos casualizados arranjo em parcelas subdivididas. Na parcela principal foram aplicadas as doses de calcário em superfície e incorporadas com uma aração e gradagem, a subparcela recebeu as doses gesso, e na subsubparcela o fator camadas amostradas. Houve efeito do revolvimento do solo em diminuir a estabilidade de agregados na camada superficial e a dose de gesso não foi significativa. Três anos após o solo ter recebido a aração e gradagem, não foram constatadas alterações na retenção hídrica do solo e na resistência mecânica à penetração do solo (RP), pois houve sobreposição dos intervalos de confiança dos parâmetros da equação para estas duas avaliações. Assim, conclui-se que a estabilidade de agregados diminui em superfície quando ocorre revolvimento do solo; e a resiliência de Cambissolos permite que após a decorrência de um período de tempo após seu preparo, a retenção hídrica e a RP tornam-se semelhantes ao solo mantido sob sistema de plantio direto.

**Termos de indexação:** parâmetros de equações, intervalo de confiança, resiliência do solo.

### INTRODUÇÃO

A caracterização do solo como Cambissolo Húmico alumínico típico (Streck et al., 2008), remete à dificuldade de correção desses solos devido à elevada concentração de alumínio. A eficiente correção em subsuperfície ocorre quando as doses de calcário são incorporadas ao solo. Cambissolos são unidades pedológicas em formação, caracterizadas com horizonte B incipiente,

normalmente com elevados teores de silte. Devido à sua gênese, esses solos são altamente susceptíveis a problemas ambientais, como elevadas perdas de solo e contaminações, especialmente da água, tanto subterrânea quanto superficial (Mello et al., 2005).

A RP, a agregação e a porosidade são propriedades físicas do solo que podem ser modificadas pelos sistemas de preparo do solo (Tormena et al., 2002).

O objetivo do trabalho foi determinar a estabilidade de agregados em um Cambissolo até 25 cm de profundidade, após ter recebido como tratamentos doses de calcário aplicadas em superfície e incorporadas e doses de gesso aplicadas em superfície. Também objetivou-se avaliar o efeito do revolvimento do solo (para a incorporação do calcário) na retenção hídrica e na RP.

### MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho de campo foi realizado em área agrícola no município de Bom Jesus, RS, localizada a 50° 37' W e 28° 28' S, com altitude de 1100 m, em solo classificado como Cambissolo Húmico alumínico típico (Streck et al., 2008), horizonte B incipiente. A composição granulométrica do solo foi realizada obtendo-se 165 g kg<sup>-1</sup> de areia, 241 g kg<sup>-1</sup> de silte e 594 g kg<sup>-1</sup> de argila e teores médios de matéria orgânica de 4,8%. A área do experimento encontrava-se sob campo nativo e foi pastejada até 2002, quando passou então a ser cultivada com culturas anuais, para produção de grãos.

### Tratamentos e amostragens

No ano de 2010 foi implantado o experimento. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, arranjo em parcelas subdivididas, com duas repetições. A parcela principal recebeu doses de 0, 8 e 16 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário (dolomítico, PR 80 %, PN 95 %, CaO 27 %, MgO 17 %) em superfície e incorporado com arado e uma gradagem leve. Na subparcela foram aplicadas superficialmente as doses de 0 e 6 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso (20 % de Ca e 16 % de S). Na subsubparcela foi alocado o fator camada amostrada de 5 cm de espessura até a profundidade de 25 cm. No ano de 2013 foram coletadas as amostras de estrutura preservada e também as amostras de estrutura deformada.

Para a análise da estabilidade de agregados em água foram utilizados 50 g de agregados secos com os quais foi calculado o DMP pela equação de Kemper & Chepil (1965):

$$DMP = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \cdot x_i)}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

em que DMP é o diâmetro médio ponderado de agregados;  $w_i$  é a proporção de agregados nas diferentes classes de peneiras; e  $x_i$  é o valor médio de cada classe (mm).

Para a construção das curvas de retenção hídrica e determinação da RP foram comparados apenas os manejos empregados ao solo, desconsiderando-se os demais tratamentos. As curvas de retenção hídrica foram geradas utilizando-se o modelo matemático de van Genuchten (1980):

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \Psi_m)^n]^m}$$

em que  $\theta$  é a umidade ( $m^3 m^{-3}$ ) em determinado potencial mátrico ( $\Psi_m$ );  $\theta_s$  é a umidade do solo saturado;  $\theta_r$  é a umidade residual do solo no ponto de murcha permanente; e  $\alpha$ ,  $n$  e  $m$  são parâmetros empíricos da equação. A umidade medida foi obtida nos  $\Psi_m$  de -1, -3, -6, -10, -14 kPa, em funis de Haines, -100 e -300 kPa em câmara de Richards e em -1500 kPa no psicrômetro modelo WP4-T, marca Decagon Devices®.

A RP foi obtida em penetrômetro de bancada e sendo que foram determinadas a DS e a  $\theta$  (no momento da penetração) de cada amostra. Após a RP foi determinada em função da DS e da  $\theta$  pela equação de Busscher (1990):

$$RP = a \cdot DS^b \cdot \theta^c$$

em que RP é a resistência mecânica à penetração; DS é a densidade do solo;  $\theta$  é umidade volumétrica;  $a$ ,  $b$ , e  $c$  são os parâmetros empíricos da equação. Após a RP ser estimada, fixou-se o valor de 2 MPa (RP crítica) para determinar a umidade limitante, em função da DS:

$$\theta = e^{\left( \frac{\ln\left(\frac{RP}{a \cdot e^b \cdot \ln(DS)}\right)}{c} \right)}$$

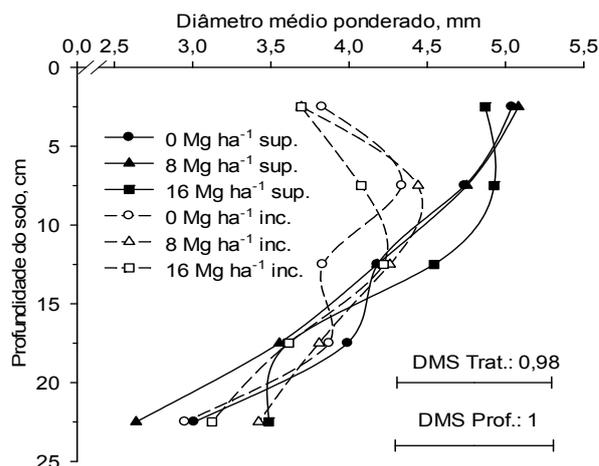
### Análise estatística

Os dados obtidos do diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) foram submetidos à análise de variância, e após os fatores significativos foram comparados pelo teste Tukey a 5% de significância. A determinação dos coeficientes da equação de van Genuchten (1980) e Busscher (1990), foi realizada pelo método do quadrado mínimo dos desvios.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância para o DMP foi significativa para a interação entre o fator manejo de aplicação de calcário e as camadas de solo amostradas. As doses de gesso não foram significativas.

O DMP foi maior na primeira camada amostra quando as doses de calcário foram aplicadas superficialmente (**Figura 1**). Comparando-se as camadas amostradas, à medida que a profundidade aumenta, diminui o DMP para as doses de calcário aplicadas superficialmente e nas doses aplicadas com incorporação ao solo o DMP é estável até 15 cm de profundidade e diminui em maiores profundidades. A estabilidade de agregados está associada à matéria orgânica do solo (Suzuki et al., 2014). Assim, o menor DMP em superfície para o solo revolvido, pode ser atribuído ao efeito da oxidação da matéria orgânica. A fratura de agregados por ocasião da aração e gradagem também pode ter contribuído.



**Figura 1** – Efeito do manejo de aplicação de calcário no diâmetro médio ponderado de agregados em um Cambissolo Húmico aluminoso para 5 camadas de avaliação. As barras indicam diferença mínima significativa (DMS) pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O intervalo de confiança dos parâmetros da equação de van Genuchten não inclui o valor zero, de modo que todos são estatisticamente significativos (Glantz & Slinker, 1990), e comparando-se os intervalos de confiança (0,95) dos parâmetros para os dois manejos de aplicação de calcário ao solo, verifica-se que há sobreposição de valores (**Tabela 1**). Assumindo que cada um dos parâmetros é responsável por modificar a curva de retenção hídrica de alguma maneira, a sobreposição dos intervalos de confiança demonstra similaridades na curva de retenção hídrica para os dois manejos empregados ao solo.

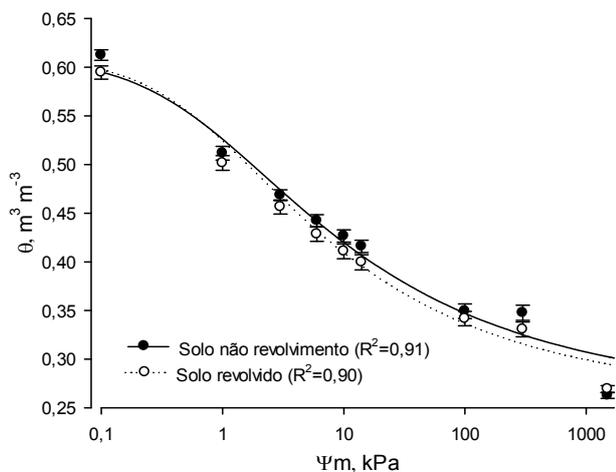
**Tabela 1** – Coeficientes estimados dos parâmetros da equação de van Genuchten (1980) e seus intervalos de confiança (0,95)

Parâmetro	Coeficiente	IC inferior	IC superior	Valor de t	p valor
Aplicação de calcário em superfície do solo					
$\alpha$	1,651	1,070	2,232	5,58	< 0,001
$n$	0,936	0,739	1,133	9,32	< 0,001
$m$	0,297	0,214	0,380	7,01	< 0,001
Aplicação de calcário com incorporação do solo					
$\alpha$	1,645	1,070	2,220	5,62	< 0,001
$n$	1,031	0,787	1,276	8,28	< 0,001
$m$	0,295	0,204	0,387	6,33	< 0,001

**Tabela 2** – Coeficientes estimados dos parâmetros da equação de Busscher (1990) e seus intervalos de confiança (0,95)

Parâmetro	Coeficiente	IC inferior	IC superior	Valor de t	p valor
Aplicação de calcário em superfície do solo					
$a$	0,132	0,054	0,210	3,38	0,001
$b$	3,612	1,002	6,221	2,77	0,008
$c$	-2,294	-2,670	-1,919	-12,24	< 0,001
Aplicação de calcário com incorporação ao solo					
$a$	0,032	0,007	0,058	2,52	0,015
$b$	4,493	1,327	7,658	2,85	0,006
$c$	-3,162	-3,662	-2,663	-12,70	< 0,001

A similaridade na curva de retenção hídrica ajustada pelo modelo de van Genuchten (1980) nos dois manejos empregados ao solo para a aplicação de calcário pode ser constatada na **figura 2**. Também há sobreposição dos intervalos de confiança de  $\theta$  mensurada para boa parte dos  $\Psi_m$  utilizados.

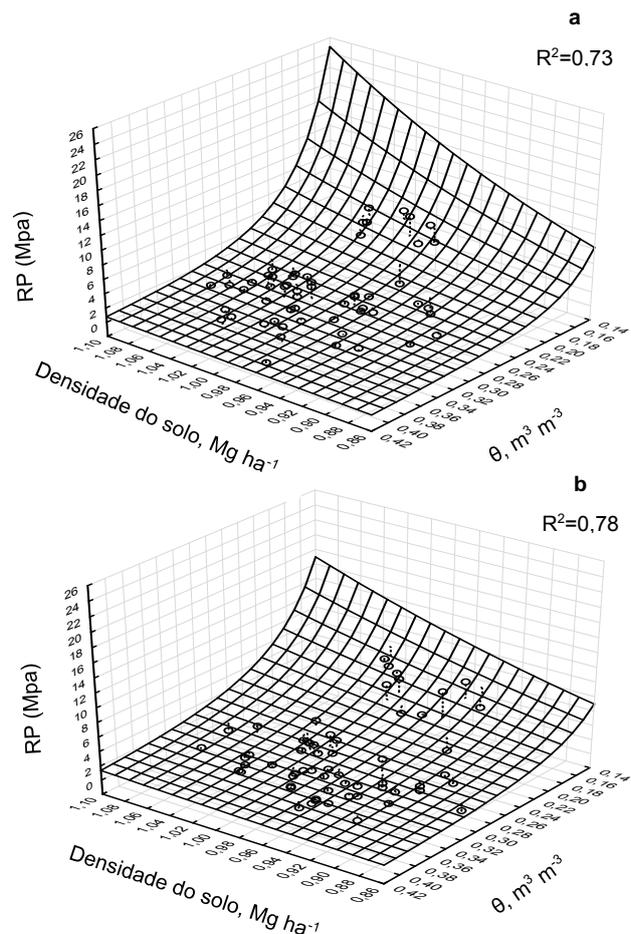


**Figura 2** – Curva de retenção hídrica ajustada ao modelo de van Genuchten (1980) para dois manejos de aplicação de calcário. Barras representam o intervalo de confiança da  $\theta$  observada em cada  $\Psi_m$  ( $n=60$ ).

Tal similaridade pode ser explicada pelo tempo decorrido entre a aração e gradagem do solo e a coleta das amostras, já que segundo Silva Jr. et al. (2013), em qualquer tipo de preparo, após determinado período, ocorre à reestruturação e reorganização das partículas do solo. A capacidade de um solo recuperar sua integridade funcional e estrutural após um distúrbio é denominada resiliência do solo (Vezzani & Mielniczuk, 2009).

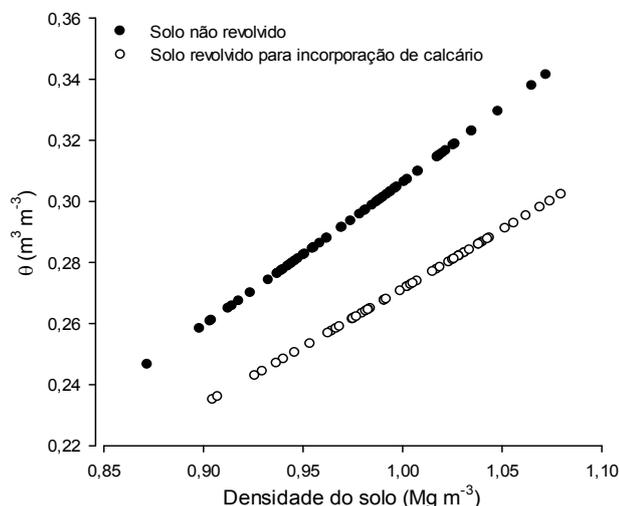
Os coeficientes dos parâmetros da equação de Busscher (1990) para os dois manejos empregados ao solo são apresentados na **tabela 2**.

A superfície de resposta da RP em função da DS e  $\theta$  teve coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,73 para o solo mantido sem revolvimento e 0,78 para quando o houve incorporação do calcário, assim, podemos considerar que o modelo se ajustou bem aos dados (**Figura 3a e b**).



**Figura 3** – Resistência mecânica à penetração estimada pelo modelo de Busscher (1990) para a aplicação de calcário em superfície do solo (a) e aplicação de calcário com incorporação ao solo (b).

A RP quando o calcário foi aplicado superficialmente, mantendo o sistema de plantio direto (**Figura 3a**), e quando houve revolvimento do solo (**Figura 3b**), não pode ser considerada diferente estatisticamente, pois ocorre a sobreposição dos intervalos de confiança (0,95) de todos os parâmetros estimados (**Tabela 2**). O mesmo ocorre para a  $\theta$  umidade na qual a RP é limitante (2 MPa) (**Figura 4**), já que os coeficientes dos parâmetros são os mesmos. Embora as diferenças nas curvas estimadas tenham sido consideráveis, estas se devem a pequena sobreposição dos intervalos de confiança dos parâmetro  $a$  e  $c$  para os dois manejos empregados ao solo. Se menor confiança no intervalo (por exemplo 0,90) fosse adotada, seria constatada diferença nos parâmetros  $a$  e  $c$ .



**Figura 4** –  $\theta$  na qual a RP crítica de 2MPa é atingida para a aplicação de calcário em superfície do solo e aplicação de calcário com incorporação ao solo.

## CONCLUSÕES

A estabilidade de agregados não é influenciada pela utilização de calcário e gesso e diminui em superfície, quando o solo é mobilizado.

Três anos após o solo ser mobilizado com aração e gradagem, a sua alta resiliência permite que a retenção hídrica e a RP não apresentem diferenças em relação ao solo mantido sob plantio direto.

## AGRADECIMENTOS

A Capes e a Universidade de Passo Fundo pelo apoio com bolsa de estudos, a Fapergs pelo financiamento do projeto (2115/13-4) e ao CNPq pela bolsa produtividade em pesquisa.

## REFERÊNCIAS

BUSSCHER, W. J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water

content. Transaction of the American Society of Agronomists, 33:519-524, 1990.

GLANTZ, S. A. & SLINKER, B. K. Primer of applied regression and analysis of variance. New York, McGraw-Hill, 1990. 777p.

KEMPER, W. D. & CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L. et al. eds. Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods. 1.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.499-510.

MELLO, C. R. D.; OLIVEIRA, G. C. D.; FERREIRA, D. F. et al. Modelos para determinação dos parâmetros da equação de van Genuchten para um Cambissolo. Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental, 9:23-29, 2005.

SILVA JUNIOR, C. A.; CARVALHO, L. A.; CENTURION, J. F. et al. Comportamento da cana-de-açúcar em duas safras e atributos físicos do solo sob diferentes tipos de preparo. Bioscience Journal, 29:1489-1500, 2013.

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D. et al. Solos do Rio Grande do Sul. 2.ed. Porto Alegre: Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Rio Grande do Sul, 2008. 222p.

SUZUKI, L. E. A. S.; DE LIMA, C. L. R.; REINERT, D. J. et al. Estrutura e armazenamento de água em um argissolo sob pastagem cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto no rio grande do sul. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 38:94-106, 2014.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. D. et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. Scientia Agricola, 59:795-801, 2002.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society America Journal, 44:892-898, 1980.

VEZZANI, F. M. & MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. Revista brasileira de ciência do solo, 33:743-755, 2009.