

**ESTIMATIVA DA PRESSÃO DE PRECONSOLIDAÇÃO PELA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO\***

SUZUKI, L.E.A.S.(1); REINERT, D.J.(2); REICHERT, J.M.(2); LIMA, C.L.R.(3)

\*Pesquisa realizada com recursos da CAPES, CNPq e FAPERGS.

1. Engenheiro Agrônomo, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal (PPGEF), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria/RS. Bolsista Capes. E-mail: [suzuki@mail.ufsm.br](mailto:suzuki@mail.ufsm.br).
2. Engenheiro Agrônomo, Professor do Departamento de Solos, Centro de Ciências Rurais (CCR), UFSM. E-mail: [dalvan@ccr.ufsm.br](mailto:dalvan@ccr.ufsm.br); [reichert@smail.ufsm.br](mailto:reichert@smail.ufsm.br).
3. Engenheira Agrícola, Pós Doutoranda em Ciência do Solo, UFSM. Bolsista CNPq. E-mail: [clrlima@mail.ufsm.br](mailto:clrlima@mail.ufsm.br)

**RESUMO:** As relações entre os parâmetros físicos e mecânicos do solo podem auxiliar e contribuir no entendimento e no desenvolvimento de funções de pedotransferência, que permitam estimar algumas propriedades do solo de difícil mensuração. Objetivou-se avaliar a relação da resistência à penetração com alguns parâmetros mecânicos do solo, tentando estimar, pela resistência à penetração, a suscetibilidade à compactação e capacidade de suporte de carga de solos sob plantio direto no sul do Brasil. Foram estudados seis solos, sendo coletadas amostras com estrutura preservada para serem submetidas ao teste de compressão uniaxial. A resistência do solo à penetração foi avaliada no campo, sendo os dados ajustados em função da densidade e umidade do solo. Quanto maior a resistência do solo à penetração, menor sua deformação e maior capacidade de suporte de carga. Não foi possível estimar a suscetibilidade do solo à compactação somente pela resistência à penetração. A capacidade de suporte de carga do solo pôde ser estimada pela resistência à penetração.

**Palavras-chave:** *funções de pedotransferência, suscetibilidade do solo à compactação, capacidade de suporte de carga do solo*

**INTRODUÇÃO:** A estimativa do comportamento mecânico do solo a partir de propriedades de simples obtenção, como a resistência à penetração, apresenta dificuldades por depender de fatores relacionados às características de cada solo.

O estudo das relações entre as propriedades físicas e mecânicas do solo pode contribuir para o entendimento e desenvolvimento de funções de pedotransferência, que permitam estimar algumas propriedades do solo de difícil obtenção como sua suscetibilidade à compactação e capacidade de suporte de carga. Trabalhos nesse sentido vêm sendo realizados (ALEXANDROU & EARL, 1998; CANARACHE et al., 2000; MOSADDEGHI et al., 2003; IMHOFF et al., 2004; DIAS JUNIOR et al., 2004; LIMA, 2004), mas ainda há necessidade de informações para o desenvolvimento de novas funções.

DIAS JUNIOR et al. (2004) relatam que o método para a determinação da pressão de preconsolidação está difundido, porém são necessárias metodologias alternativas que possam ser utilizadas no campo. Uma alternativa seria a calibração de seus valores com outras medidas de fácil e rápida obtenção a campo.

O objetivo do presente estudo foi avaliar a relação da resistência à penetração com alguns parâmetros mecânicos do solo, tentando estimar, pela resistência à penetração, a suscetibilidade à compactação e capacidade de suporte de carga de solos sob plantio direto no sul do Brasil.

**MATERIAL E MÉTODOS:** No primeiro semestre de 2004 e 2005 foram coletados no Rio Grande do Sul, em propriedades agrícolas e parcelas experimentais sob plantio direto, seis solos com teor de argila variando entre 92 a 658 g kg<sup>-1</sup> na camada de 0,05-0,15 m, classificados, segundo EMBRAPA (1999), como: Argissolo Vermelho distrófico arênico, Argissolo Vermelho distrófico latossólico, Argissolo Vermelho-Amarelo aluminico típico, Latossolo Vermelho distrófico típico, Latossolo Vermelho aluminoferrico típico e Latossolo Vermelho distroférrico típico.

Foram coletadas amostras com estrutura de solo preservada na camada de 0,08-0,13 m, onde freqüentemente é relatada presença de maior estado de compactação no sistema de plantio direto, devido ao acúmulo de pressões pelo tráfego de máquinas. As amostras foram equilibradas à tensão de 33 kPa e submetidas ao teste de compressão uniaxial, com aplicação de cargas sucessivas e estáticas de 12,5; 25; 50; 100; 200; 400; 800 e 1600 kPa, no consolidômetro de modelo S-450 Terraload (Durham Geo- Interprises). Com base no deslocamento vertical medido no

consolidômetro após a aplicação de cada carga, foram calculadas: a densidade (DSf) e a deformação do solo ao final do teste (Def), e a umidade volumétrica antes do teste (UVi). O índice de compressão (Cc) e a pressão de pré-consolidação (sp) foram determinados pelo método de Casagrande (CASAGRANDE, 1936) com ajuste manual dos dados (método 2) no programa computacional Compress (REINERT et al., 2003). A resistência à penetração no campo (RP) foi avaliada a cada 0,015 m de profundidade, utilizando-se um penetrômetro digital marca Remik CP 20 Ultrasonic Cone Penetrometer. A RP foi ajustada pelo modelo não linear proposto por BUSSCHER (1990):  $RP = a \theta^b Ds^c$ , onde: RP é a resistência do solo à penetração (MPa),  $\theta$  é a umidade volumétrica (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>), Ds é a densidade do solo (Mg m<sup>-3</sup>) e a, b, c são parâmetros do ajuste.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** As Tabelas 1 e 2 mostram a variação dos dados utilizados no presente estudo. Observa-se que a densidade (DSi) e umidade volumétrica (UVi) das amostras com estrutura preservada utilizadas no teste de compressão foram semelhantes à densidade (DSrp) e à umidade volumétrica (UVrp) utilizados no ajuste do modelo (BUSSCHER, 1990).

**Tabela 1.** Valor médio, desvio padrão, coeficiente de variação, e valores máximos e mínimos da densidade (DSrp, Mg m<sup>-3</sup>) e umidade volumétrica (UVrp, m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), na camada de 0,05-0,15 m, utilizados no ajuste do modelo (BUSSCHER, 1990), resistência do solo à penetração (RP, MPa); umidade volumétrica (UVi, m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), densidade do solo antes e ao final do teste de compressão (DSi e DSf, Mg m<sup>-3</sup>), deformação do solo (Def, mm), índice de compressão (Cc) e pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ , kPa), para os Argissolos em estudo.

Variável	Média	Desvio padrão	Coeficiente de variação	Máximo	Mínimo
Argissolo Vermelho distrófico arênico					
DSrp	1,70	0,11	6,69	1,89	1,36
UVrp	0,21	0,02	7,81	0,25	0,18
RP	1,86	0,61	32,87	3,11	0,53
UVi	0,15	0,02	15,47	0,24	0,10
DSi	1,61	0,09	5,73	1,81	1,41
DSf	1,86	0,04	2,46	1,99	1,77
Def	0,34	0,09	27,38	0,57	0,18
Cc	0,18	0,06	35,29	0,34	0,07
$\sigma_p$	134,46	35,70	26,55	195,90	63,70
Argissolo Vermelho distrófico latossólico					
DSrp	1,61	0,08	5,27	1,71	1,45
UVrp	0,25	0,02	6,46	0,27	0,23
RP	1,65	0,34	21,09	2,14	1,15
UVi	0,22	0,02	10,00	0,26	0,18
DSi	1,60	0,06	3,84	1,69	1,48
DSf	1,90	0,03	1,40	1,93	1,84
Def	0,40	0,07	18,30	0,54	0,28
Cc	0,20	0,04	21,28	0,27	0,13
$\sigma_p$	122,85	35,31	28,74	176,50	78,20
Argissolo Vermelho-Amarelo alumínico típico					
DSrp	1,47	0,06	4,18	1,52	1,30
UVrp	0,33	0,02	5,77	0,37	0,29
RP	1,92	0,13	6,81	2,30	1,83
UVi	0,32	0,03	9,77	0,37	0,26
DSi	1,50	0,06	4,19	1,58	1,40

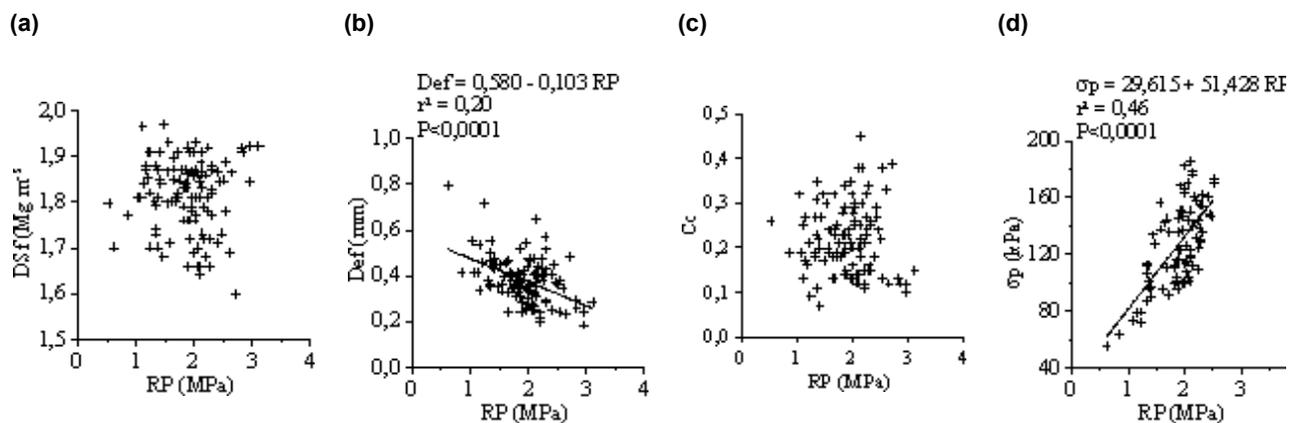
DSf	1,79	0,04	2,32	1,84	1,72
Def	0,36	0,07	18,82	0,52	0,26
Cc	0,23	0,05	24,55	0,34	0,15
$\sigma_p$	124,83	22,87	18,32	165,40	95,40

**Tabela 2.** Valor médio, desvio padrão, coeficiente de variação, e valores máximos e mínimos da densidade (DSrp, Mg m<sup>-3</sup>) e umidade volumétrica (UVrp, m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), na camada de 0,05-0,15 m, utilizados no ajuste do modelo (BUSSCHER, 1990), resistência do solo à penetração (RP, MPa); umidade volumétrica (UVi, m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), densidade do solo antes e ao final do teste de compressão (DSi e DSf, Mg m<sup>-3</sup>), deformação do solo (Def, mm), índice de compressão (Cc) e pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ , kPa), para os Latossolos em estudo.

Variável	Média	Desvio padrão	Coeficiente de variação	Máximo	Mínimo
Latossolo Vermelho distrófico típico					
DSrp	1,44	0,11	7,46	1,59	1,28
UVrp	0,32	0,04	12,84	0,37	0,21
RP	1,79	0,35	19,70	2,29	1,34
UVi	0,31	0,02	8,10	0,35	0,27
DSi	1,48	0,09	6,08	1,63	1,33
DSf	1,77	0,04	2,55	1,82	1,70
Def	0,41	0,08	20,63	0,55	0,25
Cc	0,24	0,06	27,41	0,35	0,12
$\sigma_p$	118,67	20,89	17,60	161,00	95,60
Latossolo Vermelho aluminoférico típico					
DSrp	1,42	0,10	7,23	1,59	1,21
UVrp	0,38	0,02	5,78	0,42	0,34
RP	2,23	0,22	9,96	2,71	1,96
UVi	0,36	0,05	14,35	0,43	0,27
DSi	1,43	0,08	5,72	1,58	1,28
DSf	1,76	0,08	4,50	1,93	1,60
Def	0,42	0,08	19,48	0,65	0,31
Cc	0,31	0,07	22,18	0,45	0,18
$\sigma_p$	128,78	19,66	15,26	160,40	99,10
Latossolo Vermelho distroférico típico					
DSrp	1,39	0,13	9,46	1,55	1,04
UVrp	0,38	0,04	11,65	0,42	0,28
RP	1,76	0,51	29,08	2,21	0,62
UVi	0,36	0,04	11,46	0,41	0,30
DSi	1,40	0,13	9,25	1,55	1,15
DSf	1,68	0,02	1,19	1,70	1,64
Def	0,41	0,20	48,24	0,80	0,20
Cc	0,22	0,10	42,93	0,38	0,12
$\sigma_p$	132,72	39,25	29,57	185,70	54,60

Para essas condições específicas de umidade e com avaliações na camada de maior compactação (0,05-0,15 m), em sistema de plantio direto, a resistência à penetração não apresentou relação com a densidade final (Figura 1a) e índice de compressão (Figura 1c). Com aumento da resistência à penetração, ocorreu uma redução da deformação do solo ( $r^2 = 0,20$ ) (Figura 1b) e aumento da pressão de pré-consolidação ( $r^2 = 0,46$ ) (Figura 1d). Um aumento da resistência à penetração permite ao solo suportar maiores pressões. Porém, deve-se observar até que ponto o solo poderia suportar tal pressão sem prejuízo à sua estrutura e ao desenvolvimento das plantas.

Assim como verificado neste trabalho, DIAS JUNIOR et al. (2004) obtiveram uma relação linear entre resistência à penetração e pressão de preconsolidação. CANARACHE et al. (2000) também observaram aumento da pressão de preconsolidação com aumento da resistência do solo à penetração. A relação entre RP:sp observada neste estudo foi de 15:1, enquanto que CANARACHE et al. (2000), para um solo com aproximadamente 228 g kg<sup>-1</sup> de argila, e MOSADDEGHI et al. (2003), para um solo com 348 g kg<sup>-1</sup> de argila, verificaram uma relação de 10:1, e LIMA (2004) verificou uma relação de 17:1 para um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico com 170 g kg<sup>-1</sup> de argila. A menor relação RP:sp obtida por CANARACHE et al. (2000) e MOSADDEGHI et al. (2003) pode estar associada ao fato de que eles trabalharam com solos revolvidos, enquanto que neste trabalho utilizou-se solos sob plantio direto e LIMA (2004) trabalhou em um solo com pomar de laranja.



**Figura 1.** Relações entre resistência do solo à penetração (RP) e densidade ao final de teste de compressão (Dsf) (a), deformação ao final do teste (Def) (b), índice de compressão (Cc) (c) e pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ) (d).

**CONCLUSÕES:** Quanto maior a resistência do solo à penetração, menor sua deformação e maior capacidade de suporte de carga. Não foi possível estimar a suscetibilidade do solo à compactação somente pela resistência à penetração. A capacidade de suporte de carga do solo pôde ser estimada pela resistência à penetração.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

ALEXANDROU, A. & EARL, R. The relationship among the pre-compaction stress, volumetric water content and initial dry bulk density of soil. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 71:75-80, 1998.

BUSSCHER, W.J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. *Transactions of the ASAE*, 3:519-524, 1990.

CANARACHE, A.; HORN, R. & COLIBAS, I. Compressibility of soils in a long term field experiment with intensive deep ripping in Romania. *Soil & Tillage Research*, 56:185-196, 2000.

CASAGRANDE, A. The determination of the pre-consolidation load and its practical significance. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING*, 1936, Cambridge. *Proceedings*. Cambridge: MA Harvard University, 1936. p.60-64.

DIAS JUNIOR, M.S.; SILVA, A.R.; FONSECA, S. & LEITE, F.P. Método alternativo de avaliação da pressão de preconsolidação por meio de um penetrômetro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:805-810, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: EMBRAPA – Embrapa Produção de Informação, 1999. 412p.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P. & FALLOW, D. Susceptibility to compaction, load support capacity, and soil compressibility

of Hapludox. Soil Science Society of America Journal, 68:17-24, 2004.

LIMA, C.L.R. de. Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada. 2004. 60p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MOSADDEGHI, M.R.; HEMMAT, A.; HAJABBASI, M.A. & ALEXANDROU, A. Pre-compression stress and its relation with the physical and mechanical properties of a structurally unstable soil in central Iran. Soil & Tillage Research, 70:53-64, 2003.

REINERT, D.J.; ROBAINA, A. & REICHERT, J.M. Compress – software e proposta de modelo para descrever a compressibilidade dos solos e seus parâmetros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. Anais. Ribeirão Preto: SBCS, 2003. (CD-ROM)