



XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas
31 de julho à 05 de agosto - Center Convention - Uberlândia/Minas Gerais

CORREÇÃO DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO EM FUNÇÃO DO CONTEÚDO DE ÁGUA EM UM LATOSSOLO VERMELHO

Moacir Tuzzin de Moraes⁽¹⁾; Henrique Debiasi⁽²⁾; Julio Cesar Franchini⁽²⁾; Vanderlei Rodrigues da Silva⁽³⁾

⁽¹⁾ Estudante; Curso de Agronomia; Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen, Linha Sete de Setembro, BR-386, Km-40, Frederico Westphalen, 98400-000, moacir.tuzzin@gmail.com; ⁽²⁾ Pesquisador; Manejo do Solo; Embrapa Soja, Rodovia Carlos J. Strass, Distrito de Warta, Caixa Postal 231, CEP 86001-970, Londrina/PR, debiasi@cnpso.embrapa.br, franchin@cnpso.embrapa.br ⁽³⁾ Professor, Departamento de Agronomia, UFSM, campus de Frederico Westphalen; Linha Sete de Setembro, BR-386, Km-40, Frederico Westphalen, 98400-000, vanderlei.1974@gmail.com

Resumo – A resistência do solo à penetração (RP) é utilizada para avaliação do estado de compactação dos solos. Uma das limitações da RP é sua dependência em relação ao conteúdo de água do solo. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia visando à correção dos valores de RP para um conteúdo de água do solo de referência, em um Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso. Para isso, foram ajustadas equações de pedotransferência que relacionam a RP à densidade do solo e ao conteúdo de água em base gravimétrica (Ug). A variabilidade dos valores de densidade do solo (Ds) e RP, necessária para a estimativa das funções de pedotransferência, foi obtida pela simulação de seis níveis de compactação por meio de escarificação do solo e de diferentes intensidades de tráfego por uma colhedora de grãos com massa de 10,28 Mg (0, 4, 8, 10 e 20 passadas). A variação no Ug foi gerada a partir da determinação da RP em diferentes épocas. Os resultados obtidos permitiram o ajuste de várias equações de pedotransferência que, quando empregadas em conjunto, possibilitam a correção da RP para um valor constante e de referência de Ug. A aplicação da metodologia em uma determinada camada de solo requer, como variáveis de entrada dos modelos, apenas o valor de RP e da Ug, não havendo necessidade de se conhecer a Ds. A principal limitação da metodologia proposta relaciona-se à necessidade de se ajustar as equações para cada condição específica de solo e, possivelmente, para cada profundidade considerada.

Palavras-Chave: funções de pedotransferência; modelos; penetrômetro de impacto; compactação do solo.

INTRODUÇÃO

A compactação do solo pode ser avaliada pelos valores de resistência do solo à penetração (RP), determinada através da penetrometria. Este método possui algumas vantagens, dentre elas pode-se citar a facilidade e rapidez na obtenção dos dados, identificação de camadas compactadas em profundidade e correlação satisfatória com o crescimento radicular (Bengough & Mullins, 1990).

Apesar das vantagens do uso dos penetrômetros, a RP varia diretamente com a densidade do solo (Ds) e

inversamente com o conteúdo de água do solo (Ug) (Busscher et al., 1997). Isso limita comparações entre mesmos solos com diferentes Ug, pois, uma pequena redução nesse parâmetro resulta em um grande incremento na RP, o que faz com que haja uma sub ou superestimativa na interpretação dos resultados.

Busscher et al. (1997) testaram diversos modelos que expressam as relações entre a RP e Ug. Os autores concluíram que funções exponenciais e de potência são as que melhor expressam essas relações.

Vaz et al. (2002) sugerem que o ideal seria medir o Ug no momento da avaliação da RP e, posteriormente, efetuar algum tipo de correção ou normalização para um valor constante de umidade. A correção dos dados de RP no mesmo Ug pode reduzir problemas de interpretação de resultados obtidos em diversas condições de campo e sistemas de manejo (Busscher et al., 1997). Segundo Almeida et al. (2008), a correção dos dados de RP necessita de várias equações, baseadas em diferentes condições de granulometria e Ds.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia visando à correção dos valores de RP para um valor de Ug de referência, por meio de equações de pedotransferência que relacionem a RP à Ds e à Ug. Pretende-se, com essa metodologia, reduzir ou eliminar o efeito da Ug nos valores de RP determinados em um Latossolo Vermelho.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental da Embrapa Soja, localizada no município de Londrina/PR (23° 11' S e 51° 11' W). O solo da área experimental, que vinha sendo cultivado em sistema plantio direto (SPD) por 15 anos, é classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVDF), com textura muito argilosa, apresentando na camada de 0-0,2 m, teores médios de 731 g kg⁻¹ de argila, 146 g kg⁻¹ de silte e 123 g kg⁻¹ de areia, densidade de partículas de 2,96 Mg m⁻³ e 18,50 g kg⁻¹ de carbono orgânico.

A obtenção das equações de correção requer que os parâmetros utilizados para o seu ajuste (RP, Ds e Ug) apresentem suficiente amplitude de variação. Para isso, foi instalado um experimento em faixas, no delineamento inteiramente casualizado, com duas repetições. Os tratamentos, alocados em parcela de 2,5 m de largura e 20 m de comprimento, foram constituídos por seis níveis de

compactação do solo, simulados por meio da escarificação do solo (SPDE) e da compactação adicional pelo tráfego de uma colhedora autopropelida de grãos, em quatro diferentes intensidades, representadas por 4 (SPDC4), 8 (SPDC8), 10 (SPDC10) e 20 (SPDC20) passadas, além de uma testemunha que foi mantida sob SPD sem escarificação e sem compactação adicional (SPDNC). A colhedora utilizada apresentava uma massa de 10,28 Mg e pressão de contato pneu-solo de 0,23 MPa. A escarificação foi realizada por um escarificador de cinco hastes até a profundidade de 0,3 m.

As avaliações da RP foram realizadas em diferentes épocas durante a condução do experimento, para se obter variação nos valores de Ug. Antes da primeira avaliação da RP, todo o experimento foi irrigado, com o objetivo de uniformizar e aumentar o Ug para valores superiores à capacidade de campo, garantindo, assim, que esse parâmetro apresentasse maior amplitude de variação. A RP foi determinada na camada de 0,06-0,10 m conforme ASAE (2004), usando-se um penetrômetro de impacto (modelo IAA/Planasucar-Stolf) (Stolf et al., 1991), equipado com cone de 130 mm² de área da base e 30° de ângulo sólido. As leituras de RP foram realizadas em oito pontos distanciados 0,15 m, sobre uma transecta disposta transversalmente ao tráfego da colhedora e à passagem do escarificador. Em cada avaliação, foram utilizadas duas repetições (transectas) por nível de compactação. Junto a cada transecto, foram coletadas duas amostras deformadas de solo na camada de 0,06-0,1 m, para determinação dos valores de Ug, conforme metodologia descrita em Embrapa (1997).

Amostras indeformadas de solo foram coletadas em cilindros de aço (0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro interno) inseridos horizontalmente no centro da camada de 0,06-0,10 m de profundidade, com o auxílio de um macaco hidráulico. Em cada tratamento, foram amostrados 24 cilindros, totalizando 144 amostras. No laboratório, as amostras foram utilizadas para determinação da Ds, conforme Embrapa (1997).

Os valores de RP foram ajustados aos de Ug utilizando-se o modelo linear representado pela eq. (1).

$$RP = b + a * \text{Ln}(Ug) \quad (1)$$

Onde, *a* e *b* são parâmetros empíricos de ajuste dos modelos.

As funções que expressam a relação entre RP e Ug foram estimadas para cada tratamento (nível de compactação). Isto significa que, para cada valor médio de Ds obtido no campo, tem-se um valor do parâmetro *a*, o qual, uma vez sendo o coeficiente angular das funções, representa a “taxa” de variação da RP com o Ug. A magnitude de variação da RP em função do Ug aumenta com o incremento nos valores de Ds (Busscher et al., 1997). Assim, o passo seguinte da metodologia proposta foi relacionar os valores do coeficiente angular das funções que representam a relação entre RP e Ug (parâmetro *a*) com os valores médios de Ds determinados em cada tratamento, conforme a eq. (2).

$$a = c * Ds^d \quad (2)$$

Onde, *c* e *d* são parâmetros empíricos de ajuste dos modelos.

A correção dos valores da RP foi obtida através do modelo representado pela eq. (3), que utiliza como uma das variáveis de entrada o coeficiente angular da relação RP vs LnUg (parâmetro *a*) (eq. 2). Foi utilizado o valor de 27 % de Ug como referência para a correção da RP, pois o mesmo corresponde ao centro da faixa de friabilidade deste Latossolo Vermelho.

$$RP_{\text{corr.}} = RP_{\text{lida}} - [a * (\text{Ln}Ug_{\text{ref.}} - \text{Ln}Ug_{\text{lida}})] \quad (3)$$

Onde, *RP_{corr.}* = resistência do solo à penetração corrigida em função do valor de *Ug_{ref.}*; *RP_{lida.}* = resistência do solo à penetração lida no campo; *LnUg_{ref.}* = logaritmo natural do valor de referência do conteúdo de água em base gravimétrica (27%); *LnUg_{lida.}*: logaritmo natural do conteúdo de água em base gravimétrica obtido no mesmo local e camada de avaliação da RP.

Diante do exposto, a metodologia proposta para correção da RP em função da Ug requer o conhecimento dos valores de Ds. No entanto, quando se pensa na utilização da RP como indicador do estado de compactação do solo em nível de campo, a avaliação da Ds é, na maioria dos casos, inviável, pois a metodologia para sua quantificação é trabalhosa e demorada. Para eliminar a necessidade de se determinar a Ds, foram ajustadas funções de pedotransferência para estimativa deste atributo em função da *RP_{lida.}*, específicas para seis intervalos de valores de Ug (eq.3 a eq. 8). O modelo que relaciona a RP à Ds e ao conteúdo de água volumétrico proposto por Busscher et al. (1997) não foi utilizado, pois se mostrou incapaz de fornecer estimativas confiáveis da Ds para valores extremos de RP e Ug (dados não apresentados).

$$\text{Se, } 21,1 < Ug (\%) \leq 23,1: \\ Ds = e * RP^f \quad (3)$$

$$\text{Se, } 23,1 < Ug (\%) \leq 25,1: \\ Ds = g + h * RP \quad (4)$$

$$\text{Se, } 25,1 < Ug (\%) \leq 27,1: \\ Ds = i + j * RP \quad (5)$$

$$\text{Se, } 27,1 < Ug (\%) \leq 29,1: \\ Ds = k * RP^l \quad (6)$$

$$\text{Se, } 29,1 < Ug (\%) \leq 31,5: \\ Ds = m * RP^n \quad (7)$$

$$\text{Se, } 31,5 < Ug (\%) \leq 34,5: \\ Ds = o * RP^p \quad (8)$$

Onde, *e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o* e *p* são parâmetros empíricos de ajuste dos modelos.

O ajuste dos modelos foi realizado no programa estatístico SAS (SAS Institute, 1999). Os gráficos foram plotados por meio do programa SigmaPlot®10.0 (Systat software, Inc.).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A obtenção das equações de ajuste necessitou de uma ampla faixa de Ds (Tabela 1), resultante dos diferentes níveis de compactação. A Ds variou de 1,10 Mg m⁻³ (SPDE) à 1,49 Mg m⁻³ (SPDC20). Porém, considerando o

comportamento do penetrômetro de impacto modelo Stolf (Stolf et al., 1991), não foi possível realizar leituras corretas de RP em altas Ds. Assim, para a determinação das equações, os dados obtidos no SPDC20 foram desconsiderados.

Tabela 1. Valores de densidade do solo (Ds) na camada de 0,06-0,1 m, em função de níveis de compactação em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto.

Tratamentos	Ds (Mg m ⁻³)
SPDE	1,10 e*
SPDNC	1,25 d
SPDC4	1,36 c
SPDC8	1,43 b
SPDC10	1,45 b
SPDC20	1,49 a

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

As funções de pedotransferência para estimativa da Ds a partir da RP são apresentadas na Figura 1. A variação da Ds com a RP comportou-se de forma exponencial em valores extremos de Ug. Nesses casos, os modelos que melhor explicaram a relação entre Ds e RP foram os do tipo potência (Figura 1). Já para valores intermediários de Ug, situados na faixa de friabilidade do solo, os modelos foram lineares.

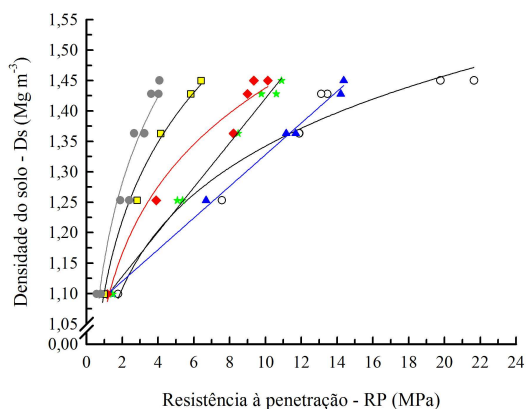


Figura 1. Funções de pedotransferência para estimativa da densidade do solo em função da resistência do solo à penetração, para diferentes faixas de conteúdo de água do solo em base gravimétrica.

Quando se relaciona a RP com o LnUg (Figura 2), verifica-se que o coeficiente angular (parâmetro *a*) desta relação aumenta exponencialmente conforme o aumento da Ds (Figura 3). Ou seja, o incremento na RP em função da diminuição da Ug ocorre de forma mais acentuada nos tratamentos mais compactados.

O modelo potencial que representa a variação do parâmetro *a* em função da Ds é apresentado na Figura 3. A partir desse modelo, foi possível estimar o parâmetro *a* em diferentes valores de Ds, o qual foi

utilizado na equação de correção da RP (eq. 3).

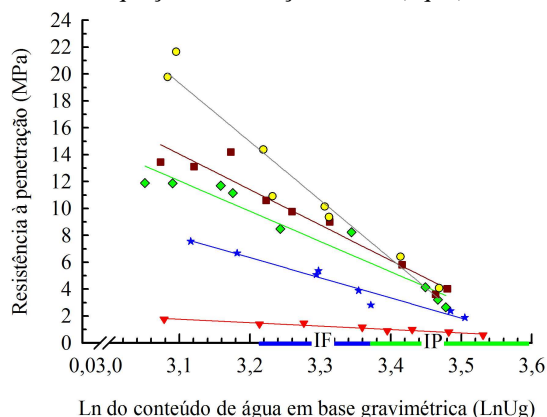


Figura 2. Coeficiente angular da relação entre resistência à penetração e o logaritmo natural do conteúdo de água do solo em base gravimétrica para cada tratamento.

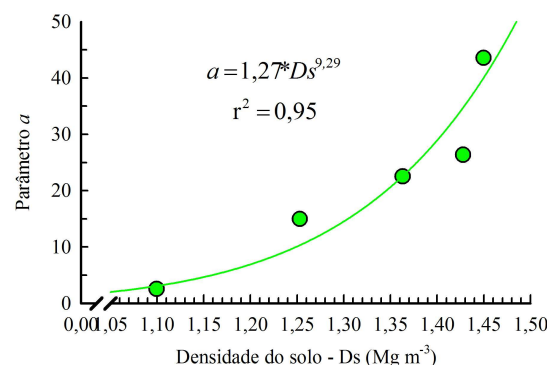


Figura 3. Relação dos coeficientes angulares da RP vs LnUg (parâmetro *a*) com a densidade do solo.

A correção da RP através do parâmetro *a*, obtido em cada tratamento e a partir dos valores de Ds determinados no campo, foi eficiente (Figura 4). De acordo com essa Figura, observa-se que os valores de RP_{corr} não variaram em função da Ug. Neste sentido, a reta originada da relação entre RP_{corr} e Ug deve ser horizontal e paralela ao eixo das abcissas, cruzando pela RP_{lida} no valor da Ug_{ref} (27%). Assim, em todo o intervalo de variação da Ug, o valor da RP_{corr} deve ser o mais próximo possível do valor da RP_{lida} a 27% de Ug no campo, o que foi observado em todos os tratamentos (Figura 4).

Na Figura 5, o parâmetro *a*, utilizado para a correção da RP por meio da eq. (3), foi obtido a partir da Ds estimada pelas funções de pedotransferência da Figura 1. Observa-se que os valores de RP_{corr} utilizando a estimativa da Ds se comportaram de forma semelhante à correção realizada com o uso da Ds observada (Figura 4), em cada nível de compactação do solo. Verifica-se que não ocorre influência da Ug na RP_{corr}, considerando que pequenas variações estão relacionadas à variabilidade espacial da Ds que ocorre naturalmente, pois, no campo, a determinação da RP foi realizada em locais diferentes daqueles utilizados para a coleta das amostras utilizadas na determinação da Ds.

A importância da correção dos dados de RP é diminuir o efeito Ug na interpretação dos dados. Desta forma, a RP_{corr} , permite detectar efeitos de tratamentos que não seriam visíveis em situações de alta Ug. Nesse sentido, observa-se que a amplitude de variação da RP_{lida} foi de 2 a 8 MPa para o SPDNC (Ds = 1,25 Mg m⁻³), e de 4 a 22 MPa para o SPDC10 (Ds = 1,42 Mg m⁻³). Comparando estes tratamentos, observa-se uma pequena sobreposição das faixas de variação dos valores da RP, de modo que variações na Ug podem levar a uma interpretação errônea dos resultados.

No entanto, é importante considerar que as funções de pedotransferência que representam a relação entre RP e Ds em diferentes faixas de Ug, entre RP e Ug e entre o parâmetro *a* e a Ds são específicas para a camada e as condições de solo deste experimento. Em outras situações, é provável que os coeficientes de ajuste, e até mesmo o tipo de modelo utilizado para essas relações, sejam diferentes.

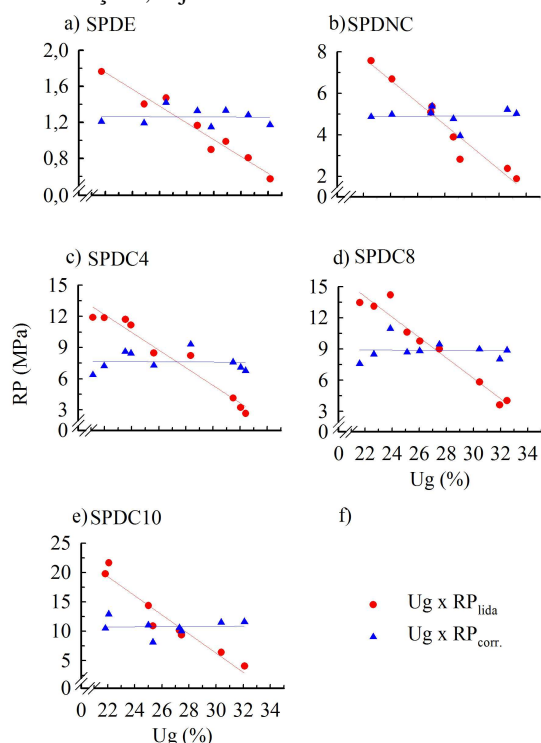


Figura 4. Correção da RP em função da Ug em cada um dos tratamentos, utilizando a densidade do solo determinada no campo. a) SPDE = sistema plantio direto (SPD) escarificado; b) SPDNC = SPD não compactado adicionalmente; c) SPDC4 = SPD com compactação adicional por quatro passadas de colhedora; d) SPDC8 = SPD com compactação adicional por oito passadas de colhedora; e) SPDC10 = SPD com compactação adicional por dez passadas de colhedora. f) Legenda.

CONCLUSÕES

1. A utilização de funções de pedotransferência permite a correção da RP para um valor de Ug de referência.
2. É possível estimar a Ds a partir da RP, por meio de funções de pedotransferência ajustadas para diferentes intervalos de Ug. Assim, a correção da RP pela Ug pode ser realizada sem a determinação da Ds.
3. Com a correção da RP para um valor de Ug referência, é possível observar diferenças entre tratamentos mascaradas por variações na Ug.

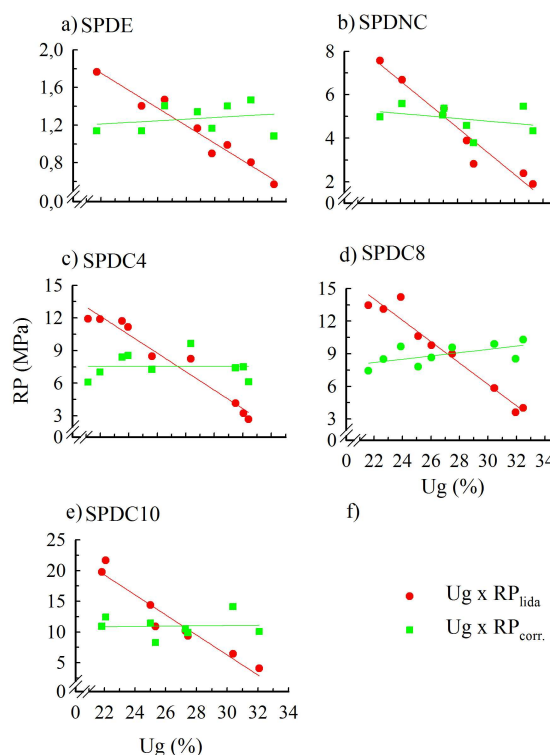


Figura 5. Correção da RP em função da Ug em cada um dos tratamentos, utilizando a densidade do solo estimada por funções de pedotransferência (Figura 1.). a) SPDE = sistema plantio direto (SPD) escarificado; b) SPDNC = SPD não compactado adicionalmente; c) SPDC4 = SPD com compactação adicional por quatro passadas de colhedora; d) SPDC8 = SPD com compactação adicional por oito passadas de colhedora; e) SPDC10 = SPD com compactação adicional por dez passadas de colhedora; f) Legenda.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, X.C.; CENTURION J.F.; FREDDI, O.S.; FALQUETO JORGE, R.; BARBOSA, J.C. Funções de pedotransferência para a curva de resistência do solo à penetração R. Bras. Ci. Solo, 32:2235-2243, 2008.
- ASAE – AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Soil cone penetrometer – ASAE S313.3 saint Joseph, 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2 ed. Rio de Janeiro. 1997. 212 p.
- BENGHOUGH, A.G.; MULLINS, C.E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. J. Soil Sci., 41:341- 358, 1990.
- BUSSCHER, W.J.;BAUER, P.J.; CAMP, C.R.; SOJKA, R.E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. Soil Till. Res., 43:205-217, 1997.
- SAS INSTITUTE - Statistical Analysis System. SAS/STAT User's Guide 8.0. North Caroline, NC: SAS Institute Inc., 1999.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, v. 15, p. 229-235, 1991.
- VAZ, C.M. P.; PRIMAVESI, O.; PATRIZZI, V.C.; IOSSI, M.F. Influência da Umidade na Resistência do Solo Medida com Penetrômetro de Impacto. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2002. 5p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Comunicado técnico, 51).