

## Qualidade física de um Latossolo Vermelho avaliada por meio da curva de resistência do solo à penetração<sup>(1)</sup>.

**Moacir Tuzzin de Moraes<sup>(2)</sup>; Henrique Debiasi<sup>(3)</sup>; Reimar Carlesso<sup>(4)</sup>; Vanderlei Rodrigues da Silva<sup>(4)</sup>; Julio Cezar Franchini<sup>(3)</sup>; Renato Levien<sup>(5)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos da Embrapa Soja, e bolsa de mestrado concedida pela CAPES.

<sup>(2)</sup> Doutorando em Ciência do Solo; Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Porto Alegre; RS; moacir.tuzzin@gmail.com; <sup>(3)</sup> Pesquisador, Embrapa Soja; <sup>(4)</sup> Professor, Universidade Federal de Santa Maria; <sup>(5)</sup> Professor, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

**RESUMO:** A qualidade física do solo pode ser avaliada por meio da resistência mecânica do solo à penetração (RP) e esta pode ser descrita pela curva de RP (CRP). Objetivou quantificar a influência do tempo de ausência da mobilização do solo em sistemas de manejo sobre a CRP em um Latossolo. Foi utilizado um esquema fatorial 5x2, com quatro repetições. Os fatores manejo do solo foram: sistema de preparo convencional; sistema plantio direto (SPD) escarificado a cada ano e/ou a cada três anos; SPD contínuo por 11 e/ou 24 anos. Os fatores modelos de produção foram: rotação e sucessão de culturas. Foi determinada a CRP (RP, umidade volumétrica e densidade do solo) em três camadas de solo. Para uma mesma situação de densidade do solo a RP sempre foi maior em função do aumento do tempo sem intervenção no solo. Quanto maior o tempo do solo sob SPD, maior foi o aumento da resistência da estrutura do solo. Há necessidade de se estabelecer limites distintos de RP em função do tempo de adoção do SPD.

**Termos de indexação:** escarificação do solo, recuperação da resistência, sistema plantio direto.

### INTRODUÇÃO

A variação da resistência mecânica do solo à penetração (RP) em função da umidade e da densidade do solo (Ds) pode alterar a interpretação do nível de compactação do solo (Moraes et al., 2012). Para contornar este problema, pode ser optado por determinar a curva de resistência do solo à penetração (CRP). Para tanto, são utilizadas amostras indeformadas de solo, obtendo medidas de RP durante o secamento do solo (umidade do solo entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente) em distintos valores de Ds (Blainski et al., 2008).

A formação de uma camada caracterizada por um maior grau de compactação, em sistema plantio direto (SPD), a qual se localiza, geralmente, em uma profundidade equivalente a 0,08-0,20 m (Franchini et al., 2009), vem questionando sua sustentabilidade, necessitando em alguns casos, a utilização de práticas de manejo que envolvam a mobilização do solo. Porém, os níveis de RP considerados como críticos, para intervenções mecânicas (escarificação

do solo) não são dependentes dos sistemas de manejo do solo, nem são em função do tempo de adoção do SPD. Em muitas áreas sob SPD com elevados valores de RP (acima de 2 MPa) não houve redução da produtividade de grãos (Betoli Jr et al., 2012) e nem do crescimento radicular (Kaiser et al., 2009), indicando que pode haver mudanças na resistência da estrutura do solo em função do sistema de manejo do solo.

A definição dos valores críticos de RP sob SPD de longo prazo vêm sendo buscado por diversos pesquisadores para o monitoramento da compactação do solo e da qualidade física do solo por meio de penetrômetros (Betoli Jr et al., 2012).

O objetivo do trabalho foi quantificar a influência do tempo de ausência da mobilização do solo em função de sistemas de manejo do solo na alteração da curva de resistência mecânica do solo à penetração (CRP) de um Latossolo Vermelho Distroférico muito argiloso.

### MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em um experimento de longa duração, implantado em 1988 na Fazenda Experimental da Embrapa Soja (23°11' S, 51°11' O, e altitude de 620 m). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico com textura muito argilosa. Na camada de 0,0-0,30 m, o solo apresentou 755, 178 e 67 g kg<sup>-1</sup> de argila, silte e areia, respectivamente.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 5 x 2 (manejos x modelos), com quatro repetições e parcelas de 30 x 10 m. O fator manejo do solo foi constituído pelos seguintes tratamentos: (i) sistema preparo convencional (SPC) utilizando grade pesada a uma profundidade média de 0,15 m, seguida de grade leve antes de cada cultivo de inverno e verão; (ii) SPD com escarificação periódica a cada ano (SPDE1); (iii) SPD com escarificação periódica a cada três anos (SPDE3); (iv) SPD contínuo por 11 anos, implantado em 2001 (SPDC11); e (v) SPD contínuo por 24 anos, implantado em 1988 (SPDC24). No SPDC11, entre os anos de 1988 e 2001, o preparo do solo foi realizado com a utilização de arado de aivecas (0,32 m), seguido de

gradagem leve realizada antes da cultura de verão, e de gradagem pesada (0,15 m) seguida de gradagem leve realizada antes da implantação da cultura de inverno. A amostragem de solo no SPDE1 e SPDC3 foi realizada após 10 e 22 meses da última escarificação, respectivamente. Os sistemas de manejo do solo foram conduzidos sob dois modelos de produção: (i) sucessão trigo/soja; e (ii) rotação de culturas com ciclo de 4 anos, com: trevoço ou nabo/milho-aveia preta/soja-trigo/soja-trigo/soja.

Foram coletados vinte anéis de aço inox com volume de  $100 \text{ cm}^3$  (altura e diâmetro de 5 cm) por tratamento e camada (0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m), nas entrelinhas da cultura de verão (soja). As 600 amostras coletadas foram divididas em cinco grupos de 120, sendo oito por sistema de manejo e camada avaliada, independente dos modelos de produção. Posteriormente, cada grupo de amostras foi submetido às tensões equivalentes a um dos seguintes potenciais matriciais de água no solo ( $\Psi$ ): -3 e -6 kPa utilizando mesa de tensão; -10; -33; -100; -500 kPa por meio de pressões aplicadas em câmaras de Richards. Após atingirem o equilíbrio em cada  $\Psi$ , as amostras foram pesadas e a RP determinada utilizando um penetrógrafo de bancada.

O penetrógrafo, modelo MA 933 da marca Marconi, é constituído de uma haste metálica com um cone na sua extremidade com semi-ângulo de  $30^\circ$ , diâmetro de 4 mm e área da base de  $0,1256 \text{ cm}^2$ . A taxa de penetração foi de  $20 \text{ mm min}^{-1}$ . Em seguida, as amostras foram secas em estufa a  $\pm 105^\circ\text{C}$  por 24h para determinação do conteúdo volumétrico de água ( $\theta$ ) e da  $D_s$ . Foi utilizado um WP4-C para determinação de  $\theta$  no  $\Psi$  de -1.500 kPa.

O ajuste da CRP aos dados de RP,  $D_s$  e  $\theta$  (funções de pedotransferência), foi realizado por meio de um modelo não-linear conforme Busscher (1990). Para avaliar o efeito do tempo de ausência de mobilização do solo (manejos do solo), foram estimados valores de RP para toda a amplitude de  $\theta$  entre a capacidade de campo (-10 kPa) e o ponto de murcha permanente (-1500 kPa) em uma  $D_s$  fixa de  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$ . Utilizando uma  $D_s$  de  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$  para todos os sistemas de manejo do solo, foi possível isolar a influência de  $D_s$  nos valores de RP.

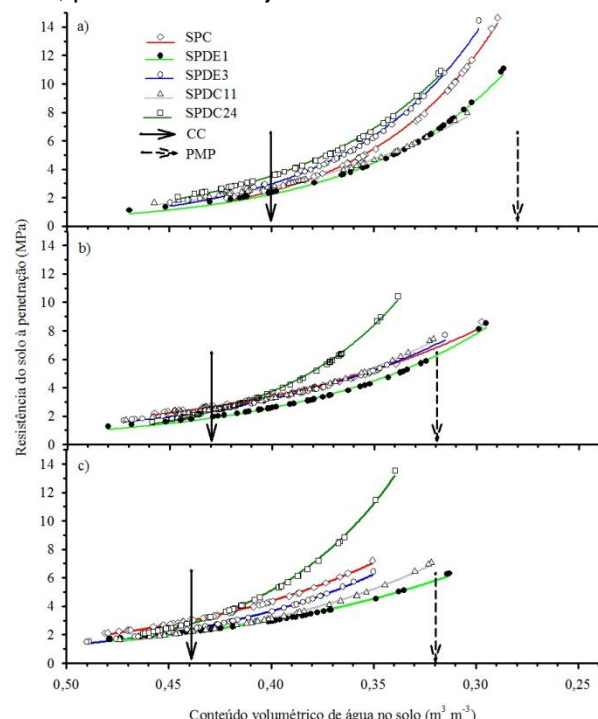
Os ajustes da CRP foram realizados por meio da rotina "PROC NLIN", do módulo de estatística do SAS Learning Edition (2002). As equações de ajuste da RP foram submetidas à análise da variância (teste F,  $p < 0,05$ ). Na comparação das CRP, foram utilizados os valores de RP em cada manejo do solo observados em diferentes  $\theta$  (repetições), submetendo à análise de variância (Teste F,  $p < 0,05$ ) e quando significativos analisados pelo teste T ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação entre os sistemas de manejo do solo e os modelos de produção não foram significativas nas três camadas do perfil do solo (Moraes, 2013). Portanto, os resultados de RP, independente do modelo de produção, apresentaram as mesmas variações nos sistemas de manejo do solo.

Os parâmetros de ajuste dos modelos da CRP aos dados de RP em função de  $D_s$  e  $\theta$  (funções de pedotransferência), para as camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, encontram-se disponíveis em Moraes (2013).

A variação da RP com  $\theta$ , na  $D_s$  de  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$ , foi alterada em função do manejo do solo nas três camadas avaliadas (Figura 1). O aumento do tempo sem mobilização do solo favoreceu o endurecimento da estrutura do solo independente da camada de solo, pois nas camadas de 0,0-0,10 m (Figura 1a), 0,10-0,20 m (Figura 1b) e 0,20-0,30 m (Figura 1c) foram observados aumentos dos valores de RP em função do aumento do tempo sem escarificação (SPDE1 e SPDE3) e em relação ao aumento do tempo de adoção do SPD (SPDC11 e SPDC24). Desta forma, mantendo uma  $D_s$  igual para todos os tratamentos ( $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$ ), foi possível observar alteração no aumento exponencial da RP em função de  $\theta$ , para cada manejo do solo.



**Figura 1** - Variação da resistência do solo à penetração, pelo modelo de Busscher (1990) para cada manejo do solo, em função do  $\theta$  na  $D_s$  de  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$ , nas camadas de 0,0-0,10 m (a); 0,10-0,20 m (b) e 0,20-0,30 m (c) em um Latossolo Vermelho Distroférrico. CC: capacidade de campo (10 kPa); PMP: ponto de murcha permanente (1.500 kPa).

Na camada de 0,0-0,10 m, observa-se que, em uma mesma  $D_s$  e  $\theta$ , os valores de RP observados no SPDC24 são maiores do que os demais sistemas de manejo, indicando que a ausência de mobilização do solo resulta, ao longo do tempo, em um aumento de resistência da estrutura do solo (**Figura 1 e Tabela 1**). Esta constatação fica ainda mais evidente quando o SPDC24 foi comparado com o SPDC11. Para os valores de  $\theta$  abaixo de  $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  (próximo da capacidade de campo) há modificações no padrão de RP do solo em função do tempo de adoção do SPD. Quando ocorrem reduções de  $\theta$  para  $0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , as diferenças tornam-se mais evidentes, sendo possível observar diferenças de até 3 MPa a mais no SPDC24 em relação ao SPDC11.

Comportamento similar ao SPD, na camada de 0,0-0,10 m, foi observado quando comparados os sistemas com escarificação periódica do solo (**Figura 1 e Tabela 1**). Para uma mesma  $D_s$ , em todos os valores de  $\theta$ , o SPDE3 mostrou-se com maior RP do que o SPDE1. Este incremento de RP em uma mesma  $D_s$  enfatiza que, ao longo do tempo, há um fortalecimento da estrutura do solo, mantendo os agregados mais estáveis, e possibilitando a formação de poros contínuos ao longo do perfil do solo.

**Tabela 1** – Comparação das curvas de resistência mecânica do solo à penetração<sup>(1)</sup> (MPa), na densidade do solo de  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$ , em função de sistemas de manejo do solo em um Latossolo Vermelho Distroférrico.

Manejo do solo	Camadas (m)		
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30
SPC	4,58c	4,64bc	6,40b
SPDE1	3,81d	3,85c	4,03d
SPDE3	5,31b	4,61bc	5,61bc
SPDC11	4,09d	4,75b	4,57cd
SPDC24	5,86a	7,13a	9,52a
Média	4,73	5,00	6,02

<sup>(1)</sup> valores médios de resistência mecânica do solo à penetração entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente; \*Médias seguidas de mesma letra, na mesma camada do solo, não diferem entre si pelo teste T, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Na camada de 0,10-0,20 m, houve um comportamento semelhante ao da camada de 0,0-0,10 m, pois, para um valor constante de  $D_s$  ( $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$ ) e para um mesmo  $\theta$ , os maiores valores de RP foram observados no SPDC24 (**Figura 1b e Tabela 1**). Observa-se que, em um  $\theta$  de  $0,34 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , a RP aumentou de 6 MPa no SPDC11, para 11 MPa no SPDC24, demonstrando assim os efeitos de longo prazo na “cimentação” da estrutura dos agregados do solo. Estas diferenças, especialmente do SPDC24 em relação aos demais manejos do solo, são incrementadas em função da redução de  $\theta$  do solo. Portanto, estes resultados, sugerem que

devem ser utilizados limites diferentes em função do tempo de adoção do SPD e manejo do solo.

Comparando os diferentes sistemas com escarificação periódica do solo (SPDE1 e SPDE3), observa-se que há um incremento nos valores de RP, na camada de 0,10-0,20 m, em função do tempo entre as escarificações de um para três anos. No SPDE1, observa-se que, para um  $\theta$  de  $0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , tem-se uma RP de 6 MPa, já o SPDE3, apresenta uma RP de 7,5 MPa. Esta diferença pode ser de pequena magnitude, porém em uma mesma  $D_s$  e  $\theta$ , isso indica que este curto período sem mobilização do solo, já foi suficiente para elevar a resistência da estrutura do solo no SPDE3 em relação ao SPDE1.

Os efeitos da alteração da estrutura do solo são detectados pela CRP mesmo na camada de 0,20-0,30 m (**Figura 1c**). Nesta camada, há comprovação da mesma tendência das camadas superficiais. Há incrementos da RP em função do tempo de adoção do SPD. Nesta camada, os efeitos da “cimentação” dos agregados do solo são mais pronunciados, pois em um umidade de  $0,34 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , o SPDC24, apresenta uma RP de 14 MPa, contrastado com uma RP de 6 MPa com o SPDC11.

Na camada de 0,20-0,30 m, considerando uma mesma  $D_s$  e  $\theta$ , o SPDE3 novamente apresentou valores de RP superiores aos observados no SPDE1. Assim, mesmo em subsuperfície (0,20-0,30 m), há incrementos da RP do solo, para uma mesma  $D_s$ , em função do tempo após a realização da ruptura dos agregados pelas hastes do escarificador. Nesta camada, em um  $\theta$  de  $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , o SPDE1 apresentou RP de 4,5 MPa, enquanto que, no SPDE3, a RP foi de 7,3 MPa.

O SPC, na camada de 0,20-0,30 m, apresenta valores de RP superiores aos demais sistemas de manejo do solo, em uma mesma  $D_s$  e  $\theta$ , com exceção ao SPDC24. No SPC com utilização de grade pesada todo ano, a atuação dos discos ocorre somente até a profundidade de 0,15 m. Assim, com relação ao tempo e com ausência de revolvimento do solo, o SPC e o SPDC24 são idênticos (24 anos), então se esperava que a RP, em uma mesma  $D_s$  e  $\theta$ , fossem semelhantes. Porém, para a  $D_s$  de  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$ , e  $\theta$  abaixo de  $0,41 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , isso não ocorreu. Observa-se que, na camada de 0,20-0,30 m, para um  $\theta$  de  $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  a RP foi de 7 MPa no SPC, e de 11,5 MPa no SPDC24. Isso indica que não foi apenas a ausência de revolvimento do solo que causou elevação dos valores de RP no SPDC24. Uma hipótese destas diferenças entre o SPDC24 e o SPC, é de que no SPC há uma formação de um “pé de grade” com ausência de bioporos, poros contínuos e crescimento radicular das plantas e, isso, contribuiu para alterar o nível de agregação do solo na camada de 0,20-0,30 m. Assim, no SPC, não houve um aumento de resistência da estrutura do solo de igual magnitude como observado no SPDC24 em função de que as ligações entre os



agregados do solo, no SPC, são fracas, e há menor estabilidade estrutural dos agregados.

Uma possibilidade é que o aumento da resistência da estrutura do solo no SPDC24 em relação aos demais tratamentos pode estar ligado ao aumento do estoque de carbono do solo, o que poderá ter aumentado a cimentação e estabilização dos agregados no SPDC24. Assim, sistemas com altos valores de RP podem não ser limitantes ao desenvolvimento das plantas, tendo em vista que os mesmos podem refletir uma alta resistência da estrutura do solo ao cone e não, necessariamente, uma redução no espaço poroso. Além disso, em sistemas sem revolvimento do solo, o crescimento radicular pode ocorrer nos bioporos ou zonas de menor resistência no perfil do solo. Neste sentido, seria necessário estipular valores críticos de RP diferenciados em função dos manejos do solo.

Este fenômeno de incremento da RP pela estruturação do solo foi definido por Dexter (1988) como sendo o processo de "age-hardening" ou "recuperação da resistência". Este processo consiste em um aumento da resistência da estrutura em função do tempo sem perturbação do solo. Também pode ser considerado como uma recuperação da resistência do solo em função do tempo (Tormena et al., 2008). Os mecanismos envolvidos no fenômeno de endurecimento do solo relacionam-se com o rearranjo das partículas do solo via processos de floculação das partículas de argila, com as modificações na distribuição do tamanho de poros e com a recuperação das ligações cimentantes entre as partículas do solo, refletindo em aumento da resistência tênsil (Tormena et al., 2008).

Este processo de incremento da resistência da estrutura foi observado por Debiasi et al. (2008), os quais avaliaram efeitos de plantas de cobertura de inverno e do tráfego de rodados de trator sobre a capacidade de suporte de carga e compressibilidade de um Argissolo. Estes autores observaram um aumento nos valores de capacidade de suporte de carga, na camada de 0,03-0,06 m, em função da época de amostragem do solo. O aumento nos valores de pressão de pré-consolidação não foram atribuídas à  $D_s$ , à porosidade total e à macroporosidade do solo, pois essas propriedades não foram afetadas pela época de amostragem (Debiasi et al., 2008). Portanto, houve um processo de recuperação da resistência na camada superficial do Argissolo em função do tempo sem mobilização.

## CONCLUSÕES

O aumento da resistência da estrutura, em um Latossolo Vermelho Distroférico muito argiloso com iguais densidades do solo e conteúdo volumétrico de água no solo, foi comprovado entre os tempos de adoção do SPD (SPDC24 e SPDC11) e em função do tempo após a escarificação do solo (SPDE1 e SPDE3).

Os resultados da curva de resistência do solo à penetração em diferentes tempos de adoção (SPDC11 e SPDC24) ou de escarificação (SPDE1 e SPDE3) do sistema plantio direto, em mesma densidade do solo, indicam a necessidade de estabelecer limites distintos de resistência mecânica do solo à penetração em função do seu manejo e tempo de adoção do sistema plantio direto.

## REFERÊNCIAS

- BETIOLI JÚNIOR, E.; MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; FERREIRA, C. J. B.; SILVA, A. P. & GIAROLA, N. F. B. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um Latossolo Vermelho após 30 anos sob plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 36:971-982, 2012.
- BLAINSKI, É.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J. & GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. R. Bras. Ci. Solo, 32:975-983, 2008.
- BUSSCHER, W. J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. Transactions of the ASAE, 33:519-524, 1990.
- DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O. & MAZURANA, M. Capacidade de suporte e compressibilidade de um Argissolo, influenciadas pelo tráfego e por plantas de cobertura de inverno. R. Bras. Ci. Solo, 32:2629-2637, 2008.
- DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. Soil Tillage Res. 11:199-238, 1988.
- FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; SACOMAN, A.; NEPOMUCENO, A. L. & FARIAS, J. R. B. Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca. Londrina: Embrapa Soja, 2009. 39 p. (Embrapa Soja. Documentos, 314).
- KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; COLLARES, G. L. & KUNZ, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um Latossolo sob diferentes níveis de compactação. R. Bras. Ci. Solo, 33:845-855, 2009.
- MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. & SILVA, V. R. Correction of resistance to penetration by pedofunctions and a reference soil water content. R. Bras. Ci. Solo, 36:1395-1406, 2012.
- MORAES, M. T. Qualidade física do solo sob diferentes tempos de adoção e de escarificação do sistema plantio direto e sua relação com a rotação de culturas. 2013. 205p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- SAS LEARNING EDITION. Getting started with the SAS Learning Edition. Cary, 2002. 200p.
- TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. E.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S. & SILVA, A. P. Quantificação da resistência tênsil e da friabilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 32:943-952, 2008.