



SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

Umidade crítica para compactação de um Latossolo Vermelho de textura muito argilosa

Critical moisture for compaction of a very clayey Oxisol

Marcos Vinícius Rampi Costa¹, Rachel Muylaert Locks Guimarães²,
Vacilania Pacheco³

RESUMO

A curva de compactação do solo obtida pelo ensaio de proctor normal é uma relação entre densidade de solo e umidade gravimétrica. Por meio da curva é possível a identificação da umidade ótima ou crítica para máxima compactação do solo. O objetivo do presente trabalho foi a obtenção da curva de compactação de um Latossolo Vermelho muito argiloso, por meio do ensaio de Proctor, sem o reuso de amostras, buscando obter a densidade máxima e a umidade crítica de compactação deste solo. O solo foi coletado da camada de 0,00–0,25 m, de um Latossolo Vermelho distroférrico com textura muito argilosa. As amostras foram divididas e umedecidas em diferentes umidades e posteriormente submetidas ao ensaio Proctor Normal. Foi ajustado um modelo polinomial quadrático a regressão entre umidade e densidade do solo e pela derivada primeira determinou-se a densidade máxima e a umidade crítica para compactação. A densidade máxima alcançada foi de 1,28 Mg m⁻³ e a umidade crítica foi de 0,33 kg kg⁻¹. Os valores observados podem servir como referência para cálculo da densidade relativa limitante para a região, auxiliando e alertando produtores a respeito do tráfego de máquinas agrícolas no campo em pontos de umidade crítica.

Palavras-chave: compactação do solo, ensaio de Proctor, umidade crítica de compactação, densidade máxima de compactação.

ABSTRACT

The soil compaction curve obtained by the normal proctor test is a relationship between soil density and gravimetric moisture. Through the curve it is possible to identify the optimum or critical moisture for maximum soil compaction. The objective of this work was to obtain the compaction curve of a very clayey Red Latosol by means of the Proctor test, without the reuse of samples, seeking to obtain the maximum density and the critical compaction moisture of this soil. The soil was collected from the 0,00-0,25 m layer of a distroferic Red Latosol with a very clayey texture. The samples were divided and moistened at different humidities and later submitted to the Normal Proctor test. A quadratic polynomial model was fitted to the regression between soil moisture and density, and the maximum density and the critical density for compaction were determined by the first derivative. The maximum density reached was 1,28 Mg m⁻³ and the critical moisture was 0,33 kg kg⁻¹. The values observed can serve as a reference for calculating the limiting relative density for the region, helping and alerting producers about the traffic of agricultural machinery in the field at points of critical moisture.

Keywords: soil compaction, Proctor test, optimum compaction moisture, maximum compaction density.

¹ Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil; marcos.131099@alunos.utfpr.edu.br

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco; rachelguimaraes@utfpr.edu.br

³ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil; vacilania.vp@gmail.com



1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que a compactação do solo é um problema muito sério para na agricultura, principalmente no desenvolvimento das plantas e na capacidade de retenção de água no solo, será que o problema disso não está no tráfego de máquinas pesadas, sobre solos encharcados ou úmidos? Se esta for a questão, qual seria o melhor momento após uma chuva, para entrar em uma lavoura?

A tecnologia na agricultura tem facilitado as atividades do campo resultando em rapidez e eficiência do trabalho. Com este avanço surgiram máquinas maiores e mais pesadas, otimizando o trabalho no campo, porém, isto vem trazendo sérios problemas aos nossos solos, principalmente a compactação, que por sua vez resulta em grandes perdas de produção das lavouras em vários aspectos.

A compactação do solo é ocasionada pela compressão do solo não saturado, provocando uma reorganização estrutural das partículas e de seus agregados, resultando em aumento da densidade do solo e redução da porosidade total e da macroporosidade (GUPTA; ALLMARAS, 1987; STONE; GUIMARÃES; MOREIRA, 2002).

O processo de compactação causa a redução da penetração e ramificação das raízes devido à alta resistência do solo, resultando na redução da produtividade das culturas e da sustentabilidade dos solos agrícolas. Em consequência da compactação ocorre, portanto, a redução na infiltração e capacidade de armazenamento de água no solo, a redução das trocas gasosas, afetando a disponibilidade de oxigênio e a limitando a absorção de água e nutrientes pelas plantas (HAKANSSON; VOORHEES, 1998).

Dentre as várias técnicas laboratoriais derivadas da engenharia geotécnica usada para reproduzir as condições de compactação em áreas agrícolas e obras civis, pode-se citar o ensaio de Proctor (normal ou modificado), sendo este usado para determinar a curva de máxima compactação do solo (BRAIDA et al., 2006). Este ensaio de laboratório foi apresentado em 1933 pelo engenheiro americano Ralph R. Proctor, o qual estabeleceu que a compactação é uma função do peso específico do solo, teor de umidade, energia de compactação e do tipo de solo. No ensaio Proctor, a amostra de solo é submetida a um processo de compactação por impacto, sendo a amostra confinada em um molde cilíndrico e submetida a uma série de golpes por um soquete. Na compactação do solo de campo o procedimento consiste em espalhar o solo uniformemente, em camadas, sendo cada camada escarificada para haver a junção destas e homogeneidade na compactação, desta forma a compactação é feita empregando impacto sobre o solo utilizado.

Há duas maneiras de se realizar o ensaio, a primeira é partindo de uma amostra única e reusando-a em cada ponto-amostra, apenas acrescentando mais água (ensaio com reuso) ou utilizar um novo solo (ensaio sem uso) para cada ponto-amostra, adicionando a respectiva quantidade de água para se obter a umidade desejada para realizar o amassamento.

De acordo com Raghavan et al. (1990), no ramo agrônômico, a curva de compactação está relacionada à determinação da umidade crítica de compactação que permite compreender se o solo está com umidade elevada para trafegabilidade, causando um aumento na densidade do solo e na derrapagem dos rodados, que também contribui para a compactação do solo. Portanto, para aproximar o ensaio Proctor de uma interferência causada por máquinas, realizou-se o ensaio de Proctor.

O objetivo do presente trabalho foi a obtenção da curva de compactação de um Latossolo argiloso, por meio do ensaio de Proctor, sem o reuso de amostras, buscando obter a densidade máxima e a umidade crítica de compactação deste solo.

2 MÉTODO

O experimento foi conduzido em laboratório de física do solo na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Pato Branco-PR.

Para disposição do experimento utilizou-se solo de classificação Latossolo Vermelho distroférico (BHERING et al., 2007), textura muito argilosa (81% argila; 16,7% silte; 2,3% areia) (Almeida et al., 2012). Foram coletados aproximadamente 15 kg de solo da camada de 0,00–0,25 m de profundidade, que posteriormente foi destorroado, seco ao ar, peneirado em malha de 4,8 mm e homogeneizado (ABNT, 2016).

Realizou-se o ensaio de Proctor normal, sem o reuso do solo, utilizando um cilindro com 1000 cm³ de volume, dividindo o solo em três camadas, camada cada uma recebendo 26 golpes de um soquete de 2,50 kg, a uma altura de 0,30 m, resultando uma energia de compactação igual a 560 kPa (Figura 1). Para cada camada, realizou-se a escarificação da superfície para garantir melhor contato entre o solo compactado e a próxima camada a ser compactada. A carga de compactação escolhida corresponde a tráfego de tratores e implementos mais utilizados na região (colheitadeira, pulverizador e semeadeira/plantadeira), sobre a área de cultivo.

Figura 1 – Material utilizado para realização do ensaio de Proctor.



Fonte: Autoria própria (2021)

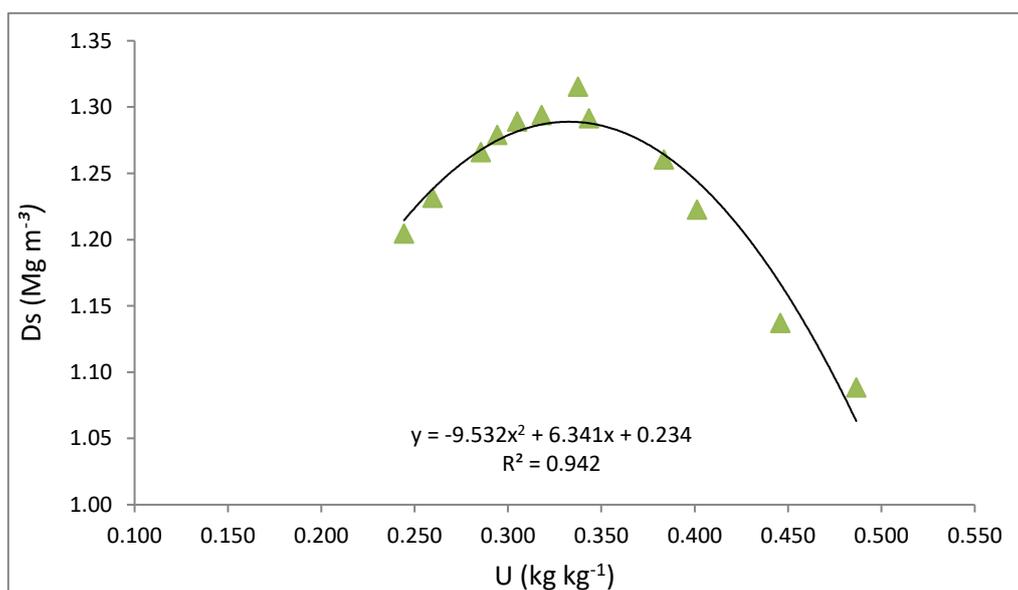
Foram estimados valores de umidade gravimétrica para o ensaio, sendo eles: 0,25; 0,27; 0,28; 0,29; 0,31; 0,32; 0,33; 0,35; 0,36; 0,40; 0,44 e 0,48 kg kg⁻¹. O solo foi umedecido com a respectiva quantidade de água necessária e armazenado em sacos hermeticamente fechados por 24 h, para assegurar a homogeneização da umidade na amostra. Após a compactação as amostras de solo foram pesadas e removidas do interior do cilindro, utilizando um macaco hidráulico, e secas em estufa a 105 °C por 48 h para determinação da umidade gravimétrica.

Para a obtenção da curva de compactação, os pares de valores umidade (U) e densidade do solo (Ds) foi ajustado um modelo polinomial quadrático a regressão, conforme a equação ($D_s = aU^2 + bU + c$) em que a, b e c são os parâmetros estimados, entre umidade e densidade do solo. Pela derivada primeira determinou-se a densidade máxima [$D_{s\text{máx}} = - (b - 4ac)/4a$] e a umidade crítica ($U_c = -b/2a$) para compactação.

3 RESULTADOS

De acordo com os dados obtidos por meio do ensaio Proctor normal, a densidade máxima alcançada para o Latossolo estudado é de $1,28 \text{ Mg m}^{-3}$ e a umidade crítica é de $0,33 \text{ kg kg}^{-1}$ (Figura 2); condição em que deve ser evitado o tráfego de máquinas sobre o solo. O ajuste do modelo polinomial quadrático a regressão resultou num coeficiente de determinação de 0,94, ou seja, 94% da variabilidade da D_s pode ser explicado pela variabilidade na U do solo.

Figura 2 – Densidade máxima obtida por meio do ensaio Proctor Normal.



Fonte: Autoria própria (2021)

De acordo com Sobreira et al. (2018), os solos argilosos, comparados com os solos arenosos e siltosos, apresentam menor densidade máxima de solo e maior umidade. Solos argilosos apresentam maior capacidade de retenção de água, pois possuem maior quantidade de microporos, conseqüentemente menor permeabilidade comparado com solos arenosos. Além disso, a densidade máxima do solo ($D_{s_{\max}}$) também pode variar dependendo do conteúdo de matéria orgânica (MO) (BRAIDA et al., 2006) e do manejo do solo adotado (BLANCO-CANQUI et al., 2010).

A umidade e a densidade do solo variaram de 0,196 a 0,327 kg kg^{-1} e 1,09 a 1,32 Mg m^{-3} respectivamente. As densidades variaram de 0,196 a 0,327 kg kg^{-1} e as umidades do solo de 1,09 a 1,32 Mg m^{-3} . Observa-se que os valores de densidade ficaram relativamente baixos quando comparados com outros trabalhos envolvendo solos com classificação semelhante, como por exemplo Betioli Júnior et al. (2012) que encontraram valores de 1,52 Mg m^{-3} de $D_{s_{\max}}$ e 0,29 kg kg^{-1} de U_c em Latossolo Vermelho distroférico após 30 anos com sistema plantio direto, sem reuso do solo e, Beutler et al. (2005), que encontraram valores de 1,54 Mg m^{-3} de $D_{s_{\max}}$ e 0,27 kg kg^{-1} de U_c em um Latossolo Vermelho eutroférico, com reuso do solo.

Uma discussão pertinente para o ensaio Proctor é o teor de matéria orgânica, pois para um nível de energia aplicado no solo que contém uma porcentagem significativa dela, quanto maior for o seu teor neste solo, menor vai ser a densidade máxima obtida, e será necessária uma maior quantidade de água. Isto ocorre por conta do efeito amortecedor da matéria orgânica, que dissipa a energia aplicada e aumenta a capacidade de retenção de



água, não deixando que a água atue como lubrificante das partículas do solo e que aumente a coesão entre as partículas e a MO, devido à ação das cargas (ARAGÓN et al., 2000; ZHANG et al., 1997).

Outro fato importante é a comparação entre os ensaios com e sem o reuso do solo, pois o ensaio com o reuso de amostra, Ramos et al. (2013) mostrou que embora não ocasione uma variação clara no teor da umidade crítica de compactação, superestimou nitidamente a densidade máxima de compactação, provavelmente pela quebra dos agregados e uma nova reorganização das partículas do solo. Por outro lado, sem o reuso do solo, é possível obter a umidade crítica de compactação. Quando realizado um experimento em vasos, temos que um ensaio realizado sem o reuso do solo pode ser entendido pela comparação entre os diferentes sistemas de manejo realizados naquele solo, enquanto que o reuso de solos nas amostras pode superestimar a capacidade de suporte do solo, por desconsiderarem o efeito dos agregados na redução do limite máximo, gerando uma condição possivelmente menos representativa da estrutura do solo.

Sabe-se que a compactação do solo é modificada pelo teor de argila e pela quantidade de matéria orgânica presente em cada tipo de solo, influenciando diretamente a $D_{s\text{máx}}$ e a umidade crítica de compactação do solo. O resultado do presente trabalho ressalta a importância do conhecimento da umidade que ocasiona a máxima compactação em solos argilosos agrícolas e de realizar o ensaio Proctor sem o reuso de amostra.

4 CONCLUSÃO

A densidade máxima obtida para o solo estudado foi de $1,28 \text{ Mg m}^{-3}$ e a umidade crítica $0,33 \text{ kg kg}^{-1}$. Para efeitos práticos de campo, os valores de densidade máxima e umidade crítica de compactação obtidos, podem servir como uma referência para cálculo da densidade relativa limitante para a região onde foi realizado o teste, auxiliando e principalmente alertando produtores a respeito do tráfego de máquinas agrícolas no campo em pontos de umidade crítica.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, pela infraestrutura disponibilizada e pela concessão da bolsa de iniciação científica disponibilizada para realização desse trabalho, e a todos os colegas do Grupo de Física do Solo (GFIS).

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7182. **Solo - Ensaio de compactação**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. p. 9.

ALMEIDA, Brivaldo Gomes de; DONAGEMMA, Guilherme Kangussu; RUIZ, Hugo Alberto; BRAIDA, João Alfredo; VIANA, João Hebert Moreira; REICHERT, José Miguel Maria; CEDDIA, Luís Bezerra Oliveira; Marcos Bacis; WADT, Paulo Guilherme Salvador; FERNANDES, Raphael Bragança Alves; PASSOS, Renato Ribeiro; DECHEN, Sônia Carmela Falci; KLEIN, Vilson Antonio; TEIXEIRA, Wenceslau Geraldes. Embrapa Solos - Comunicado Técnico. **Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil**, p. 11, 2012.

ARAGÓN, A.; GARCÍA, Mirta G.; FILGUEIRA, Roberto Raúl; PACHEPSKY, Ya. Maximum compactibility of Argentine soils from the Proctor test: The relationship with organic carbon and water content. **Soil and Tillage Research**, v. 56, n. 3-4, p. 197-204, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00144-6](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00144-6).



BHERING, S. B.; SANTOS, H. D.; MANZATTO, C. V.; BOGNOLA, I.; FASOLO, P. J.; CARVALHO, A. P.; POTTER, R. O.; CURCIO, G. R. Mapa de Solos do Estado do Paraná. **Embrapa Solos-Documents (INFOTECA-E)**, 2007. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/339505/103/PR600.pdf>. Acesso em: 10 set. 2021.

BETIOLI JÚNIOR, Edner; MOREIRA, Wagner Henrique; TORMENA, Cássio Antônio; FERREIRA, Camila Jorge Bernabé; SILVA, Álvaro Pires; GIAROLA, Neyde Fabíola Balarezo. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um Latossolo Vermelho após 30 anos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 971–982, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300027>.

BEUTLER, Amauri Nelson; CENTURION, José Frederico; ROQUE; Cassiano Garcia; FERRAZ, Marcos Vieira. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 843–849, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000600002>.

BLANCO-CANQUI, Humberto; STONE, L. R.; SCHLEGEL, A. J.; BENJAMIN, J. G.; VIGIL, M. F.; STAHLMAN, P. N. Continuous cropping systems reduce near-surface maximum compaction in no-till soils. **Agronomy Journal**, v.102, n. 4, p.1217–1225, 2010. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0113>.

BRAIDA, João Alfredo; REICHERT, José Miguel; VEIGA, Milton da; REINERT, Dalvan José. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 4, p. 605–614, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000400001>.

GUPTA, Satish C.; ALLMARAS, R. R. Models to Assess the Susceptibility of Soils to Excessive Compaction. *In*: STEWART, B. A. (org.). **Advances in Soil Science**. New York: Springer New York, 1987. v. 6, p. 65–100. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-1-4612-4682-4_2. Acesso em: 6 ago. 2021.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W. B. Soil compaction. **Methods for assessment of soil degradation**. [S. l.]: CRC Press, 1998. p. 167–179. Acesso em: 6 ago. 2021.

RAGHAVAN, G. S. V.; ALVO, P.; MCKYES, E. Soil Compaction in Agriculture: A View Toward Managing the Problem. *In*: LAL, Rattan; STEWART, B. A. (orgs.). **Soil Restoration**. New York, NY: Springer New York, 1990. v. 17, p. 1–36.

RAMOS, Fabricio Tomaz; RAMOS, Denis T.; MAIA, João C. de S.; SERAFIM, Milson E.; AZEVEDO, Emilio C. de; ROQUE, Márcio W. Curvas de compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo: com e sem reúso de amostras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 129–137, fev. 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000200003>.

SOBREIRA, Danielle Savala Vieira; LUCENA, Adriano Elísio De Figueiredo Lopes; LUCENA, Lêda Christiane De Figueiredo; SOUSA, Talita Miranda De. Estudo comparativo entre os métodos de compactação de solos por impacto e amassamento. v. 37, n. 3, p. 683–693, 2018.

STONE, Luís Fernando; GUIMARÃES, Cleber Moraes; MOREIRA, Aloíso Alves Jose. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 207–212, 2002. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000200004>.

ZHANG, Haiquan; HARTGE, K.H.; RINGE, H. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactability. **Soil Science Society of America**, v. 61, n. 1, p. 239–245. 1997. <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100010033x>.