



Densidade máxima pelo ensaio de Proctor normal para seis solos em diferentes manejos e sua relação com o teste de compressão uniaxial

MARCELO IVAN MENTGES⁽¹⁾, ERACILDA FONTANELA⁽²⁾, JOSÉ MIGUEL REICHERT⁽³⁾, DALVAN JOSÉ REINERT⁽³⁾, LUIS EDUARDO AKIYOSHI SANCHES SUZUKI⁽⁴⁾

RESUMO - Uma alternativa para avaliar a suscetibilidade do solo à compactação é o ensaio de Proctor Normal, mas que deve ser comparado com a densidade referência obtida em outros testes, como o de compressão uniaxial. É interessante para verificar a eficiência do ensaio de Proctor na avaliação da densidade máxima de diferentes solos. Este trabalho teve como objetivos: (i) avaliar a densidade máxima obtida pelo ensaio de Proctor normal para seis solos e diferentes manejos; (ii) comparar a densidade máxima obtida no teste de Proctor normal com as densidades obtidas nas cargas de 200, 400, 800 e 1600 kPa no teste de compressão uniaxial em amostras de solo com estrutura preservada. Para realização dos ensaios, foram utilizadas amostras de seis solos, coletadas na profundidade de 0,08 a 0,15m. O ensaio de Proctor apresentou uma densidade referência um pouco superior a da pressão de 400 kPa do teste de compressão uniaxial. Os teores de areia e argila influenciaram os valores de densidade máxima e umidade crítica dos solos estudados. A densidade máxima reduziu e a umidade ótima aumentou com o incremento do teor de argila. Efeito contrário pode ser observado com maiores teores de areia no solo. O ensaio de Proctor mostrou-se eficiente na determinação da densidade máxima em solos sob tráfego de máquinas mais comumente usadas, como tratores e colhedoras. Porém, para solos que foram submetidos a cargas superiores a 400 kPa, a carga de 1600 kPa parece ser a mais adequada para avaliarmos a densidade máxima de solos, abrangendo assim toda amplitude das cargas aplicadas ao solo pelas máquinas.

Introdução

Com a crescente globalização e evolução tecnológica, estamos nos deparando com máquinas mais sofisticadas e de grande porte, facilitando, assim, o trabalho no campo. No entanto, esse aumento no peso das máquinas, aliada a uma inadequada umidade do solo durante as operações, está refletindo em a compactação do solo. Várias pesquisas vêm sendo realizadas, nas últimas décadas, demonstrando a necessidade de diminuir o tráfego de máquinas sobre as áreas de cultivo. Um grande avanço foi a adoção do sistema de plantio direto. No entanto, com o passar do tempo, nessas áreas também surgiram problemas, principalmente relacionados à estrutura do solo, como a redução do espaço poroso, afetando o movimento da água no interior do solo e o crescimento das plantas.

Dessa forma, a compactação do solo é um problema comumente observado em lavouras em que foi adotado o sistema de plantio direto, especialmente em solos argilosos. Sua origem está relacionada ao não revolvimento do solo, permitindo o acúmulo de pressões produzidas pelo tráfego contínuo de máquinas agrícolas e/ou animais, principalmente em dias de alta umidade do solo, provocando, assim, mudanças significativas em algumas propriedades físicas do solo [1, 2].

Estudos sobre o processo de compactação do solo têm demonstrado que diferentes classes de solos apresentam comportamentos distintos quando submetidos ao processo de compactação. Isso se deve a vários fatores, tais como: energia de compactação, textura, matéria orgânica, umidade e história de tensão. Portanto, a compreensão do comportamento dos solos, quando submetidos ao processo de compactação, é de grande importância, principalmente para aspectos relacionados ao manejo (Dias Júnior & Miranda [3]).

Uma alternativa para avaliar a suscetibilidade do solo à compactação é o ensaio de Proctor Normal. Esse se baseia no fato de que a densidade no qual um solo é compactado, sob determinada energia de compactação, depende da umidade do solo no momento da compactação (Proctor [4]). Através deste ensaio determina-se o ponto ótimo para compactação do solo, ou seja, a umidade crítica em que não devemos tráfegar com máquinas agrícolas ou realizar pastoreio na lavoura.

A relação entre a densidade atual do solo e alguma densidade referência ou de compactação máxima tem se mostrado útil na caracterização da compactação do solo e na resposta das culturas em diferentes tipos de solo (Silva et al [5]). A densidade referência ou densidade máxima do solo é o estado mais adensado resultante de uma pressão estática de 200 kPa, obtida no teste de compressão uniaxial, utilizando amostras com estrutura não preservada (Hakansson [6]) ou a densidade máxima obtida no teste de Proctor normal (Carter [7]).

Segundo Hakansson [6], o uso do “grau de compactação” visou apenas camadas de solo revolvidas anualmente pelo manejo do solo, sendo testado apenas para este propósito, havendo necessidade de se estudar esse parâmetro para solos sob sistema de plantio direto. Nesse sentido, Suzuki [8] avaliou a pressão (200, 400, 800, 1600 ou 3200 kPa) mais adequada no teste de compressão uniaxial utilizando amostras com estrutura preservada para se obter uma densidade máxima ou densidade referência para solos sob plantio direto.

Tendo por base as considerações acima, este trabalho teve como objetivos: (i) avaliar a densidade máxima obtida pelo ensaio de Proctor para seis solos e

diferentes manejos; (ii) comparar a densidade máxima obtida no teste de Proctor com as densidades obtidas nas pressões de 200, 400, 800 e 1600 kPa no teste de compressão uniaxial, com amostras de estrutura preservada.

Palavras-Chave: densidade referência do solo, grau de compactação do solo, plantio direto.

Material e métodos

O trabalho foi realizado nos anos de 2006 e primeiro semestre de 2007, utilizando amostras de seis solos do Rio Grande do Sul, sob diferentes manejos, classificados segundo EMBRAPA [9]: (i) Argissolo Vermelho distrófico arênico (PVda), sendo uma área escarifica em 2002 e plantio direto (PD) nos anos seguintes (PVda_{esc.}), e outra área em PD há 13 anos (PVda_{PD}); (ii) Argissolo Vermelho distrófico latossólico (PVdl), com uma área em PD há quatro anos e anteriormente utilizada como pastagem (PVdl_{PD}) e outra área cultivada com batata em 2002 e PD nos anos seguintes (PVdl_{batata}); (iii) Argissolo Vermelho-Amarelo aluminico típico (PVAa), sendo a primeira área em plantio convencional de 1980 até 1995 e PD nos anos seguintes (PVAa_{PD1}), a segunda em PD desde 1986 e no inverno com o cultivo de azevém, utilizado para pastagem animal por 90 dias e após colhido (PVAa_{PD2}) e uma terceira cultivada com batata, com revolvimento do solo em 1998, escarificação em 2000 e PD nos anos seguintes (PVAa_{batata}); (iv) Latossolo Vermelho distrófico típico, o qual foi escarificado no inverno de 2002 e cultivada em PD nos anos seguintes (LVd_{PD}); (v) Latossolo Vermelho aluminoférrico típico (LVaf), onde a área está sendo cultivada em PD á 10 – 13 anos (LVaf_{PD}) e a segunda em PD á 10 – 13 anos e (vi) Latossolo Vermelho distroférrico típico, o qual está em PD a sete anos (LVdf_{PD}).

Foram coletados, na profundidade de 0,08 - 0,13 m, aproximadamente 30 kg de solo em um único ponto de cada manejo.

A análise granulométrica foi realizada segundo o método da pipeta (EMBRAPA [10]) e, para o teor de matéria orgânica do solo, determinou-se o teor de carbono orgânico do mesmo, seguindo-se o método descrito pela EMBRAPA [10]. O ensaio de Proctor seguiu o padrão normalizado pela ABNT/NBR 7182 MB 33 [11], onde a curva de compactação é obtida compactando-se o solo em três camadas com cinco ou seis umidades, com intervalos de 2,5% entre os pontos, de forma que o terceiro ponto esteja o mais próximo da umidade crítica.

Para o ensaio de compressão uniaxial foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada nas mesmas áreas descritas anteriormente, na camada de 0,08-0,13 m. As amostras foram saturadas e equilibradas na tensão de 33 kPa e submetidas ao teste de compressão uniaxial para obter a curva de compressão do solo, com aplicação de carga seqüencial de 12,5, 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa. Considerou-se como $D_{s,ref}$ as densidades obtidas com a

aplicação das cargas de 200, 400, 800 e 1600 kPa. Maiores detalhes podem ser obtidos no trabalho de Suzuki et al. [12], apresentado neste mesmo evento.

Resultados e discussão

Os valores médios de densidade máxima do solo ($D_{s,max}$), umidade crítica de compactação ($U_{g,c}$), análise granulométrica e matéria orgânica dos solos estão dispostos na tabela 1. O manejo PVda_{esc.} apresentou maior $D_{s,max}$ e menor $U_{g,c}$, fato que pode estar associado ao maior teor de areia presente nesse solo (Figura 1a e 2a). Os manejos PVAa_{batata}, PVAa_{PD2}, PVAa_{PD1} e LVdf_{PD} apresentaram comportamento semelhante, com menor $D_{s,max}$ e maior $U_{g,c}$ (Figura 1c e 2c). Esse comportamento pode ser devido ao maior teor de argila presente nesses solos. O manejo LVd_{PD}, mesmo com valores intermediários de areia e argila, 338 e 452 g kg⁻¹ respectivamente, apresentou também uma menor $D_{s,max}$, mostrando o efeito da matéria orgânica em dissipar parte da energia aplicada (Figura 1d). Portanto, cada solo apresenta um comportamento em relação à compactação, principalmente devido à sua distribuição do tamanho de partículas e mineralogia. Segundo Braida [13], o efeito da matéria orgânica na redução da densidade máxima do solo pelo teste de Proctor Normal foi maior para um Argissolo Vermelho-Amarelo arênico (155 g kg⁻¹ de argila) do que para um Nitossolo Vermelho distrófico (787 g kg⁻¹ de argila). Os manejos PVda_{PD}, PVdl_{PD}, PVdl_{batata}, LVaf_{PD1} apresentaram valores intermediários de $D_{s,max}$ e $U_{g,c}$.

A densidade máxima reduziu (Figura 1c) e a umidade ótima aumentou com o aumento do teor de argila (Figura 2c). Efeito contrário pode ser observado com maiores teores de areia no solo (Figura 1a e 2a). Isso se deve pelo fato da argila apresentar uma CTC entre 0 e 150 cmol_c e ASE variando de 7 e 800 m² g⁻¹, enquanto que a areia tem CTC nula e ASE inferior a 0,10 m² g⁻¹ (Meurer et al. [14]). Essas características tornam a argila muito mais reativa que a areia, sendo capaz de interagir mais com a água, diminuindo seu efeito lubrificante entre as partículas minerais, assim como é capaz de apresentar maior coesão, diminuindo a suscetibilidade à compactação do solo (Braida [13]). O silte não apresentou relação com a $D_{s,max}$ (Figura 1b) e $U_{g,c}$ (Figura 2b).

Para um mesmo solo, os manejos apresentaram valores semelhantes de $D_{s,max}$ e $U_{g,c}$ (Tabela 1). Embora no campo os distintos manejos apresentem diferentes estruturas do solo, no ensaio de Proctor esse efeito é nulo, pois as amostras são trabalhadas com estrutura não preservada.

Comparando a densidade referência obtida pelo ensaio de Proctor com as densidades referências do teste de compressão uniaxial utilizando amostras com estrutura preservada (figura 3), ela parece ser um pouco superior à carga de 400 kPa. Isso mostra que o ensaio de Proctor é eficiente para avaliar a compactação causada pela maioria das máquinas agrícolas, pois a carga aplicada pelas mesmas se encontra em torno de 100 a 200 kPa [15,16]). Porém, Horn *et al.* [17], em colheita florestal, mediram a carga aplicado ao solo pelas colheitadeiras, ficando esta entre 400 e 600 kPa. Carpenedo [15] observou cargas aplicadas ao

solo por carretas de grãos superior a 600 kPa. Portanto, considerando que podem ser aplicadas ao solo carga de 600 kPa ou até superiores, o teste de Proctor deveria ser modificado para obter densidades superiores para que esse método pudesse ser utilizado como forma de obter uma densidade referência para cálculo do grau de compactação do solo; caso contrário, densidades superiores podem ser obtidas no campo em relação às obtidas pelo teste de Proctor normal.

Considerações finais

Os teores de areia e argila influenciaram os valores de $D_{s_{máx}}$ e U_{g_c} dos solos. À medida que aumentou o teor de areia, houve um aumento na $D_{s_{máx}}$ e uma redução na U_{g_c} . Já, com o aumento do teor de argila, ocorreu um decréscimo na $D_{s_{máx}}$ e um aumento na U_{g_c} do solo.

O teor de matéria orgânica do solo também teve influência na $D_{s_{máx}}$ e U_{g_c} , causando o mesmo efeito do teor de argila, ou seja, aumentando a U_{g_c} e diminuindo a $D_{s_{máx}}$ de compactação do solo.

O ensaio de Proctor apresentou densidade máxima um pouco superior à obtida pela carga de 400 kPa no teste de compressão uniaxial, mostrando-se eficiente na determinação da $D_{s_{máx}}$ em solos sob tráfego de máquinas mais comumente utilizadas em áreas agrícolas, como tratores e colhedoras. Porém, quando se consideram máquinas maiores, como colheitadeira florestal e/ou carreta de grãos, necessitamos de cargas superiores a 400 kPa. Isso nos leva a considerar a carga de 1600 kPa como mais adequada para avaliarmos a $D_{s_{máx}}$, abrangendo assim toda amplitude das cargas aplicadas ao solo.

Referências

- [1] DIAS JUNIOR, M. S. & PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 20:175-182, 1996.
- [2] SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. II – grau de saturação em água. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26:9-15, 2002.
- [3] DIAS JUNIOR, M. S. & MIRANDA, E. E. V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras (MG). *Ciência Agrotecnica*, Lavras v.24, n.2: 337-346, 2000.
- [4] PROCTOR, R. R. Fundamental principles of soil compaction. *Engineering News Record*, ago/set 1933.
- [5] SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Managment versus inherent soil properties effects on bulk density and relative compaction. *Soil & Tillage Research*, v.44, p.81-93, 1997.
- [6] HAKANSSON, I. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. *Soil & Tillage Research*, v.16, p.105-120, 1990.
- [7] CARTER, M.R. 1990. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. *Canadian Journal of Soil Science*, 70:425-433.
- [8] SUZUKI, L. E. A. S. Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.
- [9] EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1999. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília, EMBRAPA – Embrapa Produção de Informação. 412p.
- [10] EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. NBR 7182: Solo. Ensaio de compactação - ABNT. 1986. NBR 3. Rio de Janeiro, 1986. 11p.
- [12] SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Densidade referência do solo e grau de compactação como parâmetro indicador do crescimento das plantas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31, Gramado, 2007, *Resumos...* Gramado: SBCS, 2007. (CD-ROM)
- [13] BRAIDA, J.A. Matéria orgânica e resíduos vegetais na superfície do solo e suas relações com o comportamento mecânico do solo sob plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. 106p. (Tese de Doutorado)
- [14] MEURER, E. J.; RHENHEIMER, D. & BISSANI, C. Fenômenos de superfície. In: MEURER, E. J. (Ed) *Fundamentos de Química do Solo*. Porto Alegre: Genesis, 2000. 174p.
- [15] CARPENEDO, V. 1994. Compressibilidade de solos em sistemas de manejo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Tese de Doutorado, UFRGS, Porto Alegre. 106 p.
- [16] SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. 2000b. Suscetibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24:239-249.
- [17] HORN, R. 2004. Time dependence of soil mechanical properties and pore functions for arable soils. *Soil Science Society of America Journal*, 68:1131-1137.

Tabela 1. Valores médios de densidade do solo máxima, umidade crítica de compactação, areia, silte e argila e matéria orgânica para os solos em estudo.

Solos e manejos	$D_{s_{máx}}^*$ $Mg\ m^{-3}$	$U_{g_c}^{**}$ %	Areia	Silte	Argila	MO
				$g\ kg^{-1}$		%
PVda _{esc}	1,85	9,15	655	253	92	1,0
PVda _{PD}	1,79	10,30	655	253	92	0,7
PVdl _{PD}	1,755	13,50	399	342	259	2,1
PVdl _{batata}	1,78	11,35	399	342	259	2,4
PVAa _{PD1}	1,57	20,10	146	458	395	3,4
PVAa _{PD2}	1,56	18,05	146	458	395	3,1
PVAa _{batata}	1,55	20,30	146	458	395	2,8
LVd _{PD}	1,56	19,80	338	210	452	3,3
LVaf _{PD1}	1,68	21,55	121	340	539	4,1
LVdf _{PD}	1,57	24,60	84	257	658	1,4

$D_{s_{máx}}^*$ = densidade máxima do solo; $U_{g_c}^{**}$ = Umidade crítica de compactação; PV = Argissolo Vermelho, PVA = Argissolo Vermelho-Amarelo, LV = Latossolo Vermelho; esc = escarificado, PD = sistema plantio direto, batata = cultivado com batata.

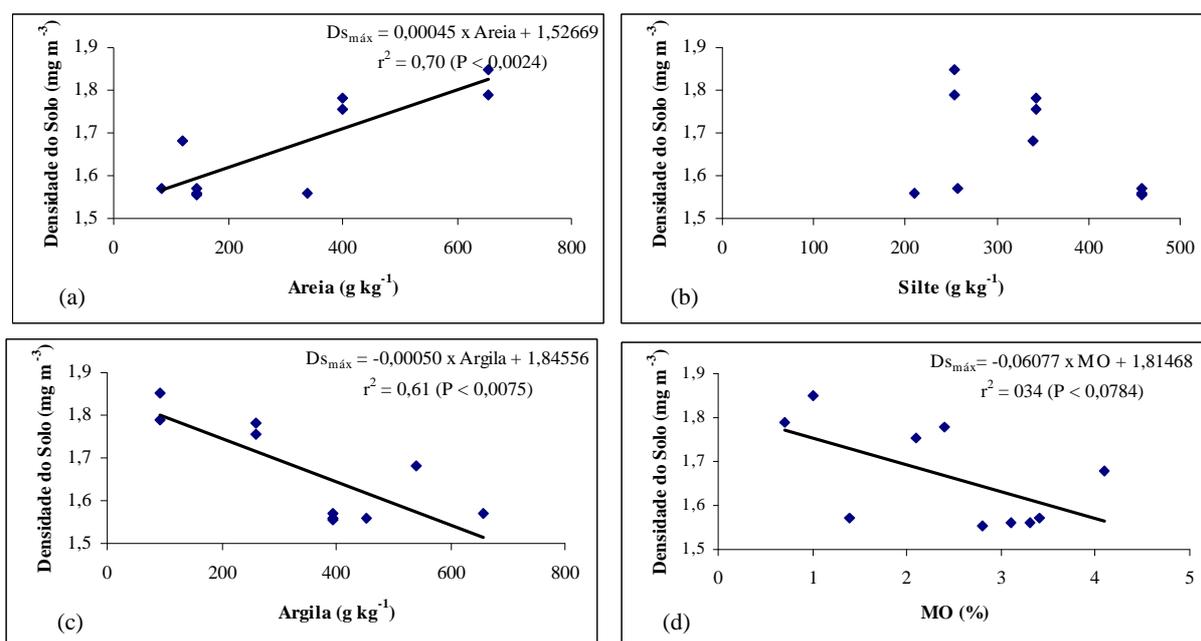
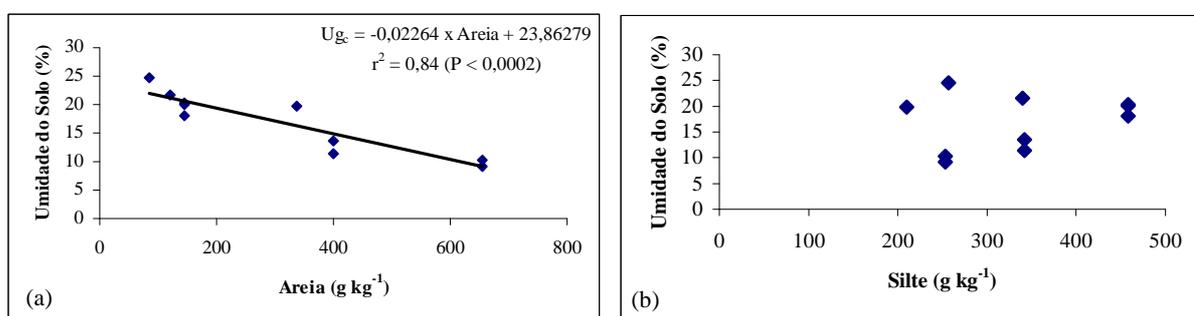


Figura 1. Regressão linear entre densidade máxima do solo obtida pelo teste de Proctor normal ($D_{s_{máx}}$) e areia (a); silte (b), argila (c) e matéria orgânica (MO) do solo (d).



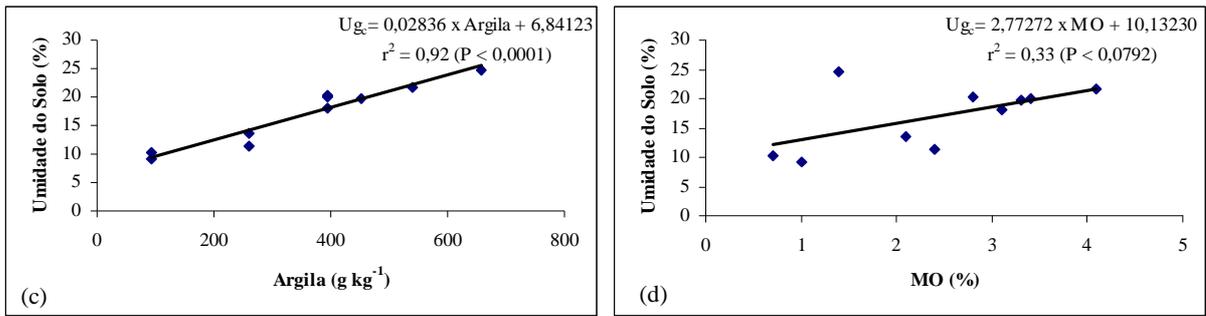


Figura 2. Regressão linear entre umidade gravimétrica crítica de compactação (U_{g_c}) obtida no teste de Proctor normal ($D_{s_{máx}}$) e areia (a); silte (b), argila (c) e matéria orgânica (MO) do solo (d).

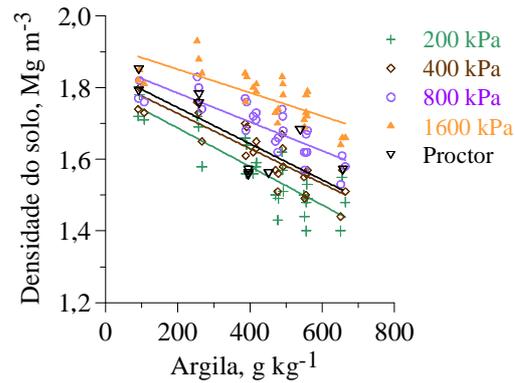


Figura 3. Densidade referência do solo obtida pelo teste de Proctor e cargas de 200, 400, 800 e 1600 kPa em amostras de solo com estrutura preservada no teste de compressão uniaxial, em função do teor de argila.