

# Ajuste dos valores obtidos por Resistência a Penetração (índice de cone), em função da Umidade e Densidade do Solo em condições de campo.

GUSTAVO PORTZ<sup>(1)</sup>, EDUARDO SCHOENKNECHT<sup>(2)</sup>, MARCIO ALBUQUERQUE<sup>(2)</sup>, CARLOS TREIN<sup>(3)</sup>.

**RESUMO** - A preocupação com a compactação do solo em lavouras conduzidas no sistema plantio direto é uma realidade, sendo o uso de penetrômetros a forma mais fácil de identificar e quantificar o problema. Porém, a umidade do solo, é um fator, que influencia neste tipo de medição, sendo recomendado fazer medições em condições próximas à capacidade de campo ou compensar a influência da umidade. Visando elaborar uma fórmula de simples utilização para ajuste dos valores lidos a campo em condições de umidade diferentes da de capacidade de campo, em diferentes densidades de solo, este trabalho propõe a equação  $RP = (a + \Delta a) + bU^c$ , que é derivada de outras equações publicadas. Para validar a equação e o método propostos, fez-se uma pesquisa em campo, onde foram coletados dados de resistência à penetração (índice de cone) em dois locais de solos distintos, em diferentes densidades e umidades de solo. Com estes dados foram feitas curvas de resistência à penetração em diferentes densidades versus a umidade, usando a equação proposta, e então os resultados foram analisados. O método proposto se mostrou adequado para ajustar a interferência da umidade e densidade de solo na resistência à penetração (índice de cone), aliado a maior facilidade na obtenção de parâmetros, pois usa somente valores tabelados e de obtenção a campo.

**Palavras-Chave:** (Compactação do solo, Índice de Cone, Umidade do solo, Densidade do solo)

## Introdução

É de conhecimento geral que o sistema plantio direto foi desenvolvido visando buscar a sustentabilidade das áreas de produção agrícola, comprovando-se eficiente no controle da erosão. Porém, o não revolvimento das áreas, aliado ao tráfego de máquinas pesadas sobre superfície úmida provoca alterações na estrutura do solo que, associadas à reduzida rugosidade superficial, podem ser desfavoráveis à infiltração de água, desenvolvimento de raízes e produção vegetal. A descompactação do solo utilizando escarificadores, subsoladores que produzem superfícies mais rugosas aumentando a porosidade, reduzindo a densidade e rompendo as camadas superficiais e sub-superficiais compactadas, se mostra uma rápida forma de remediar o problema.

Porém gera alta demanda energética e custo, devendo-se desta forma identificar as áreas problemáticas para que a atuação desta operação seja feita de forma específica e consequentemente viável, sem causar impacto ambiental.

Segundo Taylor and Ratliff (1969a) penetrômetros podem ser equipamentos de grande utilidade na correlação de força e resistência do solo com a taxa de crescimento radicular, que expressa a qualidade física do solo. A avaliação da resistência mecânica do solo à penetração (RP) em campo, normalmente é realizada pelo Índice de Cone, que consiste da resistência à penetração de uma ponta cônica padronizada (ASAE, 1983) e expressa como a força por unidade de área na base do cone até uma determinada profundidade. Entretanto, este índice apresenta grandes variações em função de propriedades do solo, principalmente teor de água e densidade.

Ainda não é consenso entre os pesquisadores o valor de RP que seja limite ao desenvolvimento de raízes e produtividade das culturas, pois, este varia principalmente em função da espécie vegetal. Em geral, tem-se adotado o valor de 2000 KPa como crítico ao crescimento radicular, estando a umidade do solo no estado de capacidade de campo (CC) (Klein et al., 1998). Portanto, para analisar se um solo possui problemas de compactação restritivos ao crescimento radicular ou não, os dados devem se referir à umidade do solo na condição de CC, sendo que na prática as medições quase nunca são realizadas quando o solo encontra-se nesta condição.

Muitos outros estudos já foram feitos. Dentre estes surgiram várias fórmulas matemáticas eficientes para corrigir a umidade e densidade, porém restritivas aos solos onde foram desenvolvidas para serem usadas com facilidade, restringindo seu uso à pesquisa. Isso porque precisam de muitos parâmetros adicionais para serem usadas em diferentes solos, sendo estes difíceis de obter-se em campo. Exemplo disto são as equações de correlação da RP com umidade e densidade propostas por da Silva e Kay (1997) e To e Kay (2005).

Mais recentemente Dexter, A. R. (2007) publicou um artigo onde propõe uma nova fórmula, que através de uma pesquisa em campo retirou amostras de RP em mais de oitenta pontos em diferentes tipos de solo com um penetrômetro eletrônico, validando a mesma com sucesso, porém, igualmente as outras, os parâmetros da fórmula são obtidos em parte no laboratório.

Baseado nos resultados de Dexter A.R. (2007) e sua equação, que se mostrou eficaz e confiável usando dados

<sup>(1)</sup> Mestrando do PPG em Máquinas Agrícolas. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP. Av. Pádua Dias, 11 Piracicaba – SP. Caixa Postal 9, CEP 13418-900. E-mail: gportz@gmail.com.

<sup>(2)</sup> Equipe técnica Falker Automação Agrícola. www.falker.com.br.

<sup>(3)</sup> Professor Adjunto do Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 7712, Porto Alegre – RS. Caixa Postal 15.100, CEP 91501 970.

de campo, juntamente com a simplicidade matemática da equação de Silva e Kay, o presente trabalho visa aliar este conhecimento com o objetivo de obter uma equação simplificada. Pretende-se que a equação proposta possa ser usada por usuários de agricultura de precisão na interpretação de dados de qualidade física do solo, oriundos de resistência a penetração do solo, de uma forma mais simples e descomplicada.

## Material e Métodos

### A) Obtenção de dados:

Visando investigar e compreender a RP relacionada à umidade e densidade do solo, foi realizada uma pesquisa de campo, onde foram feitas avaliações de RP em dois locais com solos agrícolas distintos. O primeiro na Estação Experimental Agronômica da UFRGS, situada as margens da BR 290 no Município de Eldorado do Sul - RS, sobre um Argissolo vermelho-amarelo distrófico típico de textura franco-argilo-arenosa com 28% de argila no horizonte A. O segundo, em uma lavoura, situada as margens da BR 386 no Município de Estrela-RS sobre um Nitossolo Vermelho Distrófico típico, com 60 % de argila e textura argilosa. Ambos os solos apresentam boas características físicas em seu estado natural, como drenagem, porosidade e densidade, situados em relevo suave ondulado, caracterizando-os como sendo de boa aptidão agrícola.

Em cada um dos locais foi escolhida uma lavoura conduzida no sistema Plantio Direto, sendo feita a coleta de dados de RP com um penetrômetro eletrônico denominado PenetroLOG, modelo PLG1020 - Falker Automação Agrícola, capaz de medir até 60 cm de profundidade com resolução de 1 cm e memória passível de armazenar até 2 mil medições.

As medições foram feitas em três pontos distintos dentro de cada lavoura. No argissolo, ainda foi feita à avaliação em um quarto ponto, este em uma área fora da lavoura. Porém todos os pontos eram próximos uns aos outros, para evitar variações de ocorrência natural do solo. Os pontos escolhidos são conhecidos por terem valores de densidade diferentes em função do tráfego de máquinas que recebem; ou seja, no local onde as máquinas entram na lavoura o ponto de maior densidade, na borda (área de manobra) densidade intermediária, e no meio da lavoura o ponto de menor densidade de solo. No argissolo, o ponto fora da lavoura representa a densidade natural do solo. Nestes locais, com cerca de 4m<sup>2</sup> cada, foram coletados anéis para a quantificação da densidade do solo, nas profundidades de 5 a 15 cm, nas duas áreas pesquisadas, estando os resultados na tabela 01.

Em cada lavoura foram realizadas cinco amostragens de RP em diferentes datas, nas quais o solo encontrava-se em uma ampla escala de umidade. Durante as amostragens foram feitas dez repetições com o penetrômetro eletrônico, a 20 cm uma da outra, até a profundidade de 60 cm em cada ponto de densidade conhecida na lavoura, ou seja, quarenta penetrações no argissolo e trinta penetrações nitossolo,

para cada data de coleta. Em cada data e ponto de amostragem também foi feita a quantificação da umidade gravimétrica através da coleta de amostras de solo na profundidade de 0 a 20 cm, seguida de posterior pesagem em balança de precisão e secagem por 48 horas em estufa a 105°C em laboratório.

Das dez repetições de RP feitas em cada ponto se fez uma média, sendo a resultante o valor utilizado. Estes valores foram plotados juntamente com os respectivos valores de umidade de solo de cada ponto, gerando um gráfico de resistência à penetração, em diferentes densidades versus umidade do solo para cada solo estudado. Desta forma foi contemplado em um só gráfico a RP, a umidade e a densidade do solo. Para a elaboração destas médias que geraram cada ponto, ainda fez-se a correção da profundidade inicial, através do software fornecido juntamente com o penetrômetro. Também foram excluídos os primeiros cinco cm de profundidade do solo devido a pouca consistência destes dados, em função da construção cônica da ponteira do penetrômetro, que não usa sua área total de medição nos primeiros 2,5 cm, e devido à característica natural do solo em dissipar a energia em sua superfície.

A medição da umidade de “capacidade de campo” foi feita igualmente nas lavouras de ambos os locais, através da coleta de amostras de solo cerca de 30 horas após chuva que o saturou, sendo estas processadas em laboratório como já descrito.

### B) Equação matemática:

Para a formulação de uma equação matemática simplificada, iniciou-se por estudar equações existentes e os dados do experimento a campo realizado e, a partir de então, surgiu a equação proposta da seguinte forma:

Com o uso da fórmula e dados de Dexter foram calculadas as 12 curvas de RP versus umidade do triângulo americano de classes texturais de solo (Soil Survey Manual, NRCS Soil), (figura 01).

Analisando as curvas geradas na figura 01 foi feita uma análise matemática da conformação das mesmas. A partir desta, conseguiu-se uma equação capaz de reproduzir o mesmo formato de curva, porém usando uma matemática que usa termos mais simples, assim como fez Silva e Kay (1997). Chegou-se então a uma nova equação que utiliza apenas três parâmetros, de simples obtenção, para caracterizar os diferentes tipos de solo, sendo esta:

$$RP = (a + \Delta a) + bU^c$$

Na equação “RP” é a resistência a penetração, U é o valor de umidade do solo no momento da amostragem de RP, “ $\Delta a$ ” expressa o comportamento da densidade, e “a”, “b” e “c” são atributos tabelados por classe de solo, derivados das 12 classes da Figura 01 ou obtidos a campo para cada solo, após ajuste específico. Para a classe de solos muito argilosa existente na classificação textural brasileira, pode-se considerar os mesmos valores da classe argilosa da classificação americana.

A equação proposta é capaz de reproduzir as curvas obtidas com a equação de Dexter, que relacionam resistência à penetração e umidade para cada classe de solo, bastando utilizar os valores tabelados para os

parâmetros  $a$ ,  $b$  e  $c$  (tabela 02). Estes valores foram obtidos sobrepondo curvas criadas pela equação proposta às curvas originais da equação de Dexter (Figura 01). Porém, na prática os solos não apresentam características iguais à média da classe a que pertencem, mas sim semelhantes, pois há variações nas proporções de areia, silte e argila em relação à média destes componentes em sua classe (Ex: figura 02). Para isto fez-se um ajuste dos valores tabelados de  $a$ ,  $b$  e  $c$  da classe em que o solo se encontra, aos valores reais do solo em questão com uso de uma planilha eletrônica, sobrepondo a curva típica da classe de solo aos pontos obtidos no campo, gerando as curvas presentes nas figuras 03 ( $a - b$ ) e 04 ( $a - b$ ).

## Resultados e Discussão

Foram gerados dois gráficos por solo, diferindo na profundidade da RP, ou seja, 5 a 25 cm e 5 a 40 cm, não se utilizando a profundidade inicialmente medida até 60 cm, pois nesta profundidade em ambos os solos os valores apresentaram pouca variação de ação antrópica, mas sim uma homogeneidade resultante de característica natural do solo.

Nos gráficos, foi introduzido um limite em 2000 KPa como sendo o ponto indicado a partir do qual existe impedimento significativo ao crescimento radicular, e uma faixa mostrando a área na qual se situa aproximadamente a umidade de capacidade de campo, visando facilitar a interpretação dos dados. Com esta metodologia, interpretamos claramente nos gráficos oriundos do argissolo, onde a equação proposta foi utilizada para gerar a curva, que os dois pontos de maior densidade, que são o ponto de entrada de máquinas na lavoura ( $1,72 \text{ Mg.m}^{-3}$ ) e a borda onde as máquinas manobram na lavoura ( $1,65 \text{ Mg.m}^{-3}$ ) estão compactados, apresentando valores superiores ao limite indicado na umidade de CC, como mostra o gráfico “a”. No gráfico “b” a linha referente à borda da lavoura esta situada levemente abaixo da linha limite, sendo este um erro provocado pela média do valor de RP que usa valores até 40 cm de profundidade, pois ocorre uma diluição dos valores mais acentuados de RP que se encontram em torno dos 20 cm de profundidade. Com isto vemos claramente a importância de se fazer a interpretação dos dados de RP estratificados por profundidades, evitando erros.

Analisando-se os gráficos oriundos do argissolo, ainda nota-se maior precisão onde a profundidade analisada foi de 5 – 25 cm devido ao fato de o valor de umidade do eixo X ter sido obtido da profundidade de 0 - 20 cm, sendo normalmente encontrados valores superiores de umidade em maiores profundidades. Da mesma forma as amostras de densidade foram coletadas de 5 – 15 cm de profundidade, explicando parte da diferença de valores presente no gráfico de RP com profundidade de 5 - 40 cm. Aliado a isto se observou que as camadas de maior densidade média estavam em profundidades inferiores a 40 cm, sendo os valores de RP medidos nesta profundidade de maior

escala, exceto para os dois pontos de menor densidade, onde não há compactação e os valores de RP são levemente maiores em profundidade devido ao horizonte natural “Bt”, característico neste argissolo.

Nos gráficos oriundos do nitossolo os dois pontos de maior densidade ( $1,40 \text{ Mg.m}^{-3}$ ) e ( $1,31 \text{ Mg.m}^{-3}$ ) estão compactados, apresentando valores superiores ao limite. Também nota-se que a camada compactada atingiu maior profundidade, pois os gráficos com diferentes profundidades não apresentaram grandes variações, exceto na curva do meio da lavoura ( $1,19 \text{ Mg.m}^{-3}$ ) onde os valores de RP foram menores no gráfico de menor profundidade (a). Possivelmente, isso deveu-se ao fato desta lavoura ter sofrido preparo de solo cerca de cinco anos antes das amostragens e ainda haver influência do preparo onde o tráfego de máquinas foi menor.

As tabelas 03 e 04 mostram em sua primeira linha de dados, os valores tabelados típicos da classe de solo a que pertencem. Na terceira linha de dados, estão os valores da curva corrigida, em relação à classe do solo em questão, ou seja, a curva com os parâmetros “a”, “b” e “c” corrigidos para o específico solo, e as demais curvas se referem à curva já corrigida mudando somente a valor de “ $\Delta a$ ”, pois as curvas possuem diferentes densidades de solo.

## Conclusões

A resistência à penetração mostrou-se altamente relacionada à umidade e densidade do solo sendo que o formato das curvas ajustadas, usando a equação proposta, seguiu os pontos obtidos em campo e o mesmo padrão de curvas já obtido por Dexter, A.R. (2007).

O método proposto se mostrou adequado, ajustando a interferência da umidade e densidade de solo na resistência à penetração (índice de cone) oferecendo maior facilidade na obtenção dos parâmetros, pois usa somente valores tabelados ou de obtenção a campo.

## Referências

- [1] TAYLOR, H.M.; L.F. RATLIFF. 1969a. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and soil water content. *Soil Sci.* 108: 113-119.
- [2] AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 1999. Soil cone penetrometer (ASAE S313.3). St. Joseph: ASAE., p.834.
- [3] KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L.; SILVA, A.P, 1998. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.18, n.2, p.45-54.
- [4] SILVA, A.P.; KAY, B.D., 1997. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 877–883.
- [5] TO, J.; KAY, B.D., 2005. Variation in penetrometer resistance with soil properties: the contribution of effective stress and implications for pedotransfer functions. *Goederma* 126, 261–276.
- [6] DEXTER, A.R.; CZYZ, E.A.; GATE, O.P, 2007. A method for prediction of soil penetration resistance. *Soil & Tillage Research*, 93, 412–419.
- [7] NRCS Soil - SOIL SURVEY MANUAL.,1993 - Chapter 3 - Soil Texture. <http://soils.usda.gov/technical/manual/>.

**Tabela 01.** Valores das densidades de solo nos diferentes pontos nas duas lavouras amostradas.

densidades de solo	entrada da lavoura	borda da lavoura	meio da Lavoura	fora da lavoura
	Mg m <sup>-3</sup>			
argissolo	1,72	1,65	1,59	1,53
nitossolo	1,40	1,31	1,19	-----

**Tabela 02.** Valores dos parâmetros a, b e c para as 12 classes de solo americanas.

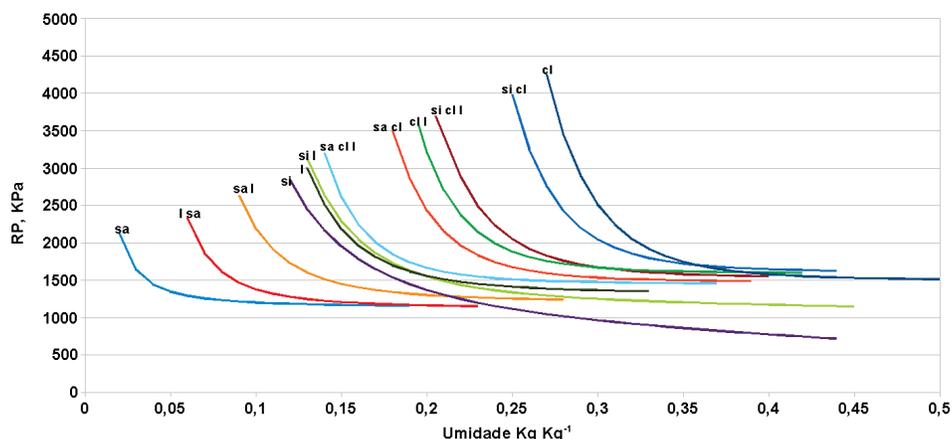
Classes/Parâmetros	a	b	c
Argilosa	1589,48	0,0015	11,00
Argilo arenosa	1490,00	0,0087	7,20
Argilo-siltosa	1656,39	0,0015	10,28
Franco argilosa	1611,61	0,0041	8,00
Franco argilo-siltosa	1559,44	0,0150	7,50
Franco argilo-arenosa	1462,74	0,0130	6,00
Franco	1340,24	0,0632	5,00
Franco-siltosa	1184,24	0,5594	4,00
Siltosa	798,66	11,2640	2,40
Areia-franca	1215,13	0,3200	3,50
Franco arenosa	1126,44	0,2165	3,00
Arenosa	1134,88	0,9504	1,80

**Tabela 03.** Parâmetros ajustados em relação à classe, utilizados nas curvas no argissolo.

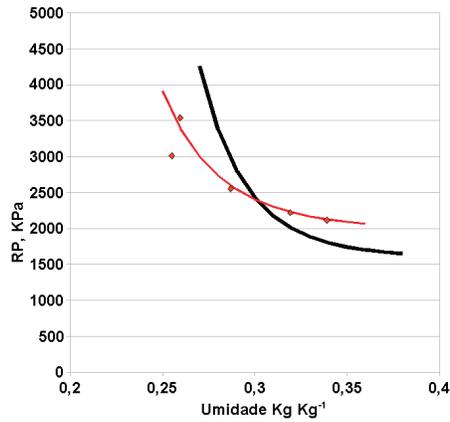
Gráfico	a) 5 -25				b) 5 - 40			
	a	b	c	Δa	a	b	c	Δa
Curva/Parâmetros								
Franco argilo-arenosa	1462	0,0130	6	-----	1462	0,0130	6	----
1,72 Mg m <sup>-3</sup>	1812	1,71	3	450	1712	0,81	3,3	300
<b>1,65 Mg m<sup>-3</sup></b>	<b>1812</b>	<b>1,71</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>1712</b>	<b>0,81</b>	<b>3,3</b>	<b>0</b>
1,59 Mg m <sup>-3</sup>	1812	1,71	3	-530	1712	0,81	3,3	-250
1,53 Mg m <sup>-3</sup>	1812	1,71	3	-1000	1712	0,81	3,3	-730

**Tabela 04.** Parâmetros ajustados em relação à classe, utilizados nas curvas no nitossolo.

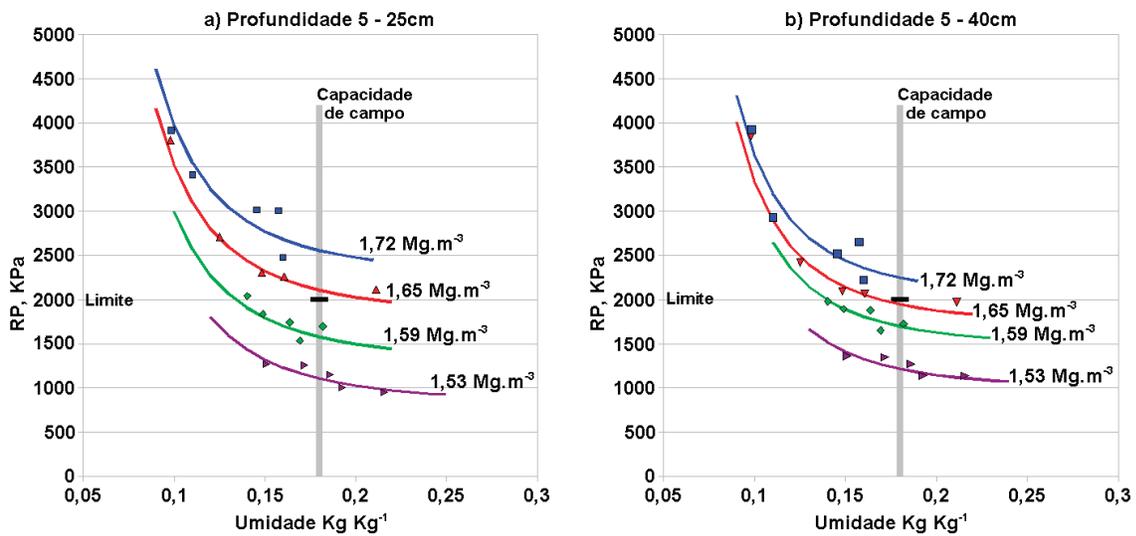
Gráfico	a) 5 -25				b) 5 - 40			
	a	b	c	Δa	a	b	c	Δa
Curva/Parâmetros								
Franco argilo-arenosa	1589	0,0015	11	----	1589	0,0015	11	----
1,40 Mg m <sup>-3</sup>	1969	0,02	8,2	1020	2039	0,1	7	850
<b>1,31 Mg m<sup>-3</sup></b>	<b>1969</b>	<b>0,02</b>	<b>8,2</b>	<b>0</b>	<b>2039</b>	<b>0,1</b>	<b>7</b>	<b>0</b>
1,19 Mg m <sup>-3</sup>	1969	0,02	8,2	-1380	2039	0,1	7	-1200



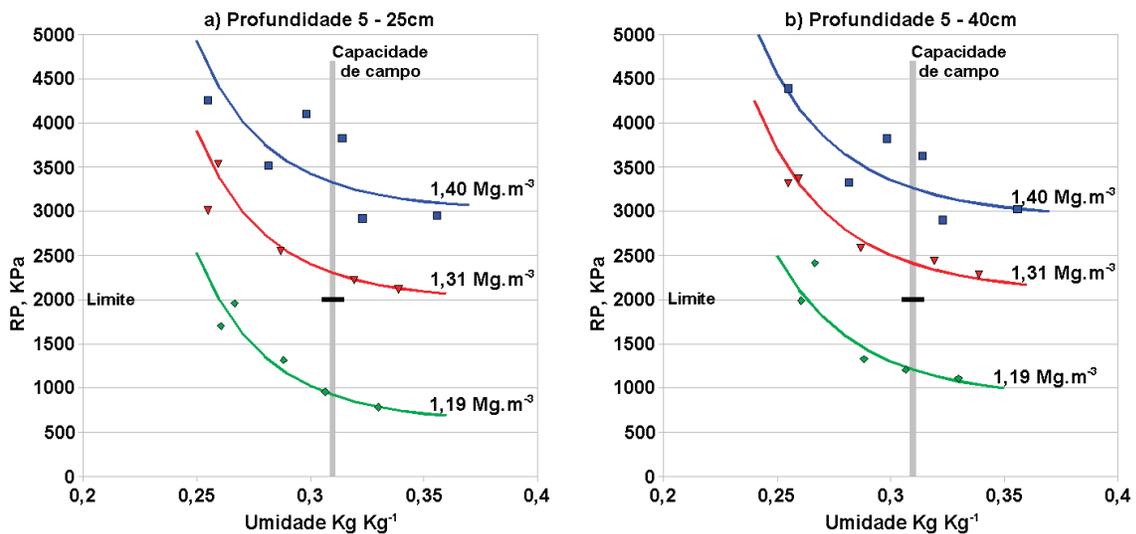
**Figura 01.** Resistência à penetração em função da umidade gravimétrica nas 12 classes de solo americanas calculadas pela equação de Dexter A.R. (2007). (sa = areia, si = silte, cl= argila e l = franco).



**Figura 02.** Curva dos valores médios para a classe de solo argilosa e curva real obtida em campo a partir de cinco pontos de RP em umidades diferentes sobre solo argiloso.



**Figura 03, a - b.** Resistência à penetração medida a campo em duas profundidades sobre argissolo, e estimada pela curva da equação proposta em função do teor de água, para diferentes níveis de densidade do solo.



**Figura 04, a - b.** Resistência à penetração medida a campo em duas profundidades sobre nitossolo e estimada pela curva da equação proposta em função do teor de água, para diferentes níveis de densidade do solo.